



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XX

EDİTÖR
Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ



İKSAD
Publishing House

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XX

EDİTÖR

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ

YAZARLAR

Prof. Dr. Aslı KAÇAR

Prof. Dr. Çiğdem KÜÇÜK

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

Doç. Dr. Bülent TOPRAK

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ

Dr. Burcu OMUZBÜKEN

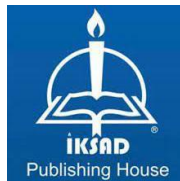
Arş. Gör. Melike KÖSE

İbrahim CANBEY

İshak BAYYİĞİT

Mehmet Ramazan BOZHÜYÜK

Meral ÖDEMİŞ



Copyright © 2025 by iksad publishing house

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

Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-343-3

Cover Design: İbrahim KAYA

October / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

BÖLÜM 1

DENİZEL EKOSİSTEMLER: MİKROBİYAL BİYOAKTİF MOLEKÜLLER

Prof. Dr. Aslı KAÇAR

Dr. Burcu OMUZHÜKEN.....	3
--------------------------	---

BÖLÜM 2

Matricaria chamomilla L.: FİTOKİMYASAL BİLEŞENLERİ, BİYOLOJİK ETKİLERİ ve UYGULAMA ALANLARI

İbrahim CANBEY.....	37
---------------------	----

BÖLÜM 3

MİKORİZA VE BİTKİ SAĞLIĞI

Meral ÖDEMİŞ

Prof. Dr. Çiğdem KÜÇÜK

Doç. Dr. Bülent TOPRAK.....	71
-----------------------------	----

BÖLÜM 4

Salvia Officinalis L. (TIBBİ ADAÇAYI): FİTOKİMYASI, BİYOLOJİK ETKİLERİ, YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR DERLEME

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ.....	91
---------------------------------	----

BÖLÜM 5

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ

Mehmet Ramazan BOZHÜYÜK.....	121
------------------------------	-----

BÖLÜM 6

REJENERATİF (YENİLEYİCİ) TARIM UYGULAMALARI

Mehmet Ramazan BOZHÜYÜK.....	137
------------------------------	-----

BÖLÜM 7

MEYVELERDE RENK OLUŞUMU: ETKİLİ FAKTÖRLER

İshak BAYYIĞIT.....	149
---------------------	-----

BÖLÜM 8

TARLA BİTKİLERİNDE BİYOSTİMÜLANT UYGULAMALARININ ÖNEMİ

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

Arş. Gör. Melike KÖSE.....165

ÖNSÖZ

Bilim ve teknolojiye yaşanan hızlı gelişmeler, tarım, ormancılık ve su ürünleri alanlarında da köklü dönüşümleri kaçınılmaz kılmaktadır. Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve gıda güvenliği gibi küresel sorunlar, bu üç temel disiplinin önemini her geçen gün daha da artırmaktadır. Ziraat bilimi, verimliliği ve kaliteyi yükseltmeye yönelik yenilikçi uygulamalar sunarken; ormancılık, ekosistemlerin korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi ve karbon dengesi açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Su ürünleri bilimi ise hem beslenme güvenliği hem de sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği için stratejik katkılar sağlamaktadır.

Elinizdeki bu kitap, farklı üniversitelerden ve araştırma kurumlarından değerli bilim insanlarının katkılarıyla hazırlanmış, ziraat, orman ve su ürünleri bilim dallarını bütüncül bir yaklaşımla ele alan güncel araştırma sonuçlarını bir araya getirmektedir. Kitapta yer alan bölümler, hem temel bilimsel bilgi hem de uygulamaya dönük sonuçlar içermekte olup, akademisyenler, öğrenciler, araştırmacılar, tarıma dayalı sanayiciler ve uygulayıcılar için önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Bu eserin hazırlanmasında amaçlanan, yalnızca mevcut bilgilerin aktarılması değil; aynı zamanda genç araştırmacılara yeni ufuklar açmak, disiplinler arası iş birliklerini teşvik etmek ve sektörel sorunlara çözüm önerileri sunmaktır. Böylelikle, ülkemizin tarım, ormancılık ve su ürünleri alanlarındaki gelişimine katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

Katkılarını sunan tüm yazarlarımıza ve emek veren herkese gönülden teşekkür eder, bu kitabın bilimsel camiaya ve ilgili tüm sektörlerle yararlı olmasını ümit ederim.

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ
Editör

BÖLÜM 1

DENİZEL EKOSİSTEMLER: MİKROBİYAL BİYOAKTİF MOLEKÜLLER

Prof. Dr. Aslı KAÇAR¹

Dr. Burcu OMUZZBÜKEN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385498>

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, asli.kacar@deu.edu.tr, orcid id: 0000-0002-8705-3695

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, burcuomuzbuken@gmail.com, orcid id: 0000-0002-6681-7174

1. GİRİŞ

Yaşamın Dünya üzerinde yaklaşık 4 milyar yıl önce okyanuslarda başladığı genel olarak kabul görmektedir (Tanaka vd., 2022). Denizel ortamlar sıcaklık, tuzluluk, basınç, pH, oksijen, ışık vb. gibi çevresel parametreler açısından kendine özgü nitelikler taşımakta olup (Moghaddam vd., 2021), bu durum denizel organizmaların, benzersiz yapısal ve işlevsel özelliklere sahip, çeşitli yeni biyoaktif moleküller üretmesini teşvik etmektedir (Chbel vd., 2021). Ayrıca, denizel ekosistemler oldukça zengin bir biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yapmaktadır (Moghaddam vd., 2021; Scott, 2024).

Sucul ekosistemlerde yapılan araştırmalarda, genetik ve metabolik çeşitliliğin büyük bir kısmının mikrobiyal kökenli olduğu ortaya konmuştur (Tanaka vd., 2022). Bu bağlamda, mikrobiyal çeşitlilik ve mikrobiyal kaynaklı biyoaktif moleküller; besin takviyeleri, ilaçlar ve diğer ticari potansiyele sahip bileşikler açısından dikkate değer bir kaynak niteliği taşımaktadır (Moghaddam vd., 2021). Doğal ürünler, enzimler ve reseptörler gibi biyomoleküllerle etkileşime girerek geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi sergileyebilir (Tanaka vd., 2022). Bu moleküller; polimerik maddeler, antitümör, immüностimülatör, anti-inflamatuvar, antibakteriyel, antifouling ve antioksidan aktiviteler gibi özellikleri sayesinde gıda, sağlık ve ilaç sanayii başta olmak üzere çeşitli endüstriyel sektörlerde büyük önem taşımaktadır (Chbel vd., 2021). Bu nedenle, denizel yaşam formları biyoteknolojik inovasyon için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Scott, 2024).

Denizel biyoteknoloji, bilim ve teknolojiadaki son gelişmeler ışığında, çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere biyoaktif moleküllerin ve bu moleküllerin eşsiz özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla denizel organizmaların araştırıldığı hızla gelişen bir disiplindir. Denizel organizmalar, ekstrem çevresel koşullara adaptasyon sağlamak için karmaşık fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar geliştirmiştir. Bunlar, geniş işlevlere sahip çeşitli biyomoleküllerin sentezlenmesine olanak tanımıştır. Bu moleküller arasında, özellikle ikincil (sekonder) metabolitler biyoteknolojik uygulamalar açısından dikkat çekici bir potansiyele sahiptir.

Denizel organizmalar tarafından ekolojik gerekçeler için üretilen bu moleküller, benzersiz kimyasal yapıları ve biyolojik aktiviteleri sayesinde, diğer organizmalara, patojenlere ve çevresel stres faktörlerine karşı kimyasal

savunma işlevi görmektedir. Aynı zamanda ekosistem işleyişinde ve türler arası etkileşimlerde merkezi roller üstlenmektedirler. İkincil metabolitlerin düşük konsantrasyonlarda yüksek biyoaktivite sergilemeleri, onları farmasötik, biyomedikal ve endüstriyel uygulamalar için son derece değerli biyolojik kaynaklar hâline getirmektedir (Scott, 2024).

Özellikle denizel bakteriler, büyük yapısal çeşitliliğe sahip biyoaktif ikincil metabolitlerin sentezi konusundaki kapasiteleriyle öne çıkmaktadır. Okyanusların farklı derinliklerinde, Örneğin Mariana Çukuru'ndan (-10.994 m), derin deniz soğuk su habitatları ve hidrotermal bacalar gibi ekstrem ortamlar dahil olmak üzere denizel ekosistemlerin çeşitli bölgelerinde benzersiz biyokimyasal yeteneklere sahip mikroorganizmalar keşfedilmiştir (Moghaddam vd., 2021).

Son yıllarda, daha önce omurgasız canlıların metabolitleri olarak kabul edilen birçok molekülün aslında onların bakteriyel simbiyontları tarafından üretildiği ortaya konmuştur (Andryukov vd., 2019). Ayrıca, genellikle Porifera (süngerler) ve Coelenterata (mercanlar) şubelerine ait olan denizel makroorganizmaların biyokütlelerinin %30'una kadar simbiyotik mikroorganizmaları barındırdığı da belirlenmiştir. Bu simbiyotik mikrobiyal topluluklar, genellikle konak dışı koşullarda kültürü yapılamayan türlerden oluşmakta olup, genomik ve metagenomik analizlerle birçok doğal molekülün biyosentezinden sorumlu oldukları açıkça ortaya konmuştur (Moghaddam vd., 2021).

Denizel bakterilerden izole edilen birçok molekül, özgün kimyasal yapıları ve biyolojik aktiviteleri nedeniyle yeni antimikrobiyal ajanların keşfine önemli katkılarda bulunmuştur. Bu bileşiklerin üretim mekanizmalarının ve biyoteknolojik potansiyelinin aydınlatılması, modern biyoteknolojide öncü araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca yeni antibiyotiklerin geliştirilmesinde umut vadeden bir yol olmakla kalmayıp, aynı zamanda patojen bakterilerin yaşamsal aktivitelerinin kontrol altına alınmasında potansiyel bir hedef olarak değerlendirilmektedir (Andryukov vd., 2019).

Denizel moleküllerin yapısını çözümlmeye yönelik etkili yaklaşımlardan biri, çevredeki değişimlerin mikrobiyal gen ekspresyonlarına yansımaları temel alan transkriptomik ve proteomik yöntemlerin uygulanmasıdır. Bu omik teknolojileri, dizileme ve veri paylaşımındaki

teknolojik ilerlemeler sayesinde geniş ölçekli çalışmalara kolaylıkla entegre edilebilmektedir (Nayfach vd., 2021, Wang vd., 2016). Söz konusu yaklaşımlar, model mikrobiyal topluluklar (Amin vd., 2015), alg patlamaları (Nowinski ve Moran, 2021), oligotrofik okyanus bölgeleri (Poretsky vd., 2009; Sowell vd., 2019) ve küresel kapsamlı okyanus araştırmaları (Salazar vd., 2019) gibi farklı ekosistemlerde metabolit dinamiklerinin ortaya konmasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Ferrer-González vd., 2021; Schroer vd., 2023) (Şekil 1).

Denizel bakteriler, yapısal olarak benzersiz ve biyoaktif doğal ürünlerin son derece değerli ancak hâlâ büyük ölçüde keşfedilmemiş kaynaklarıdır (Moghaddam vd., 2021). Bu kitap bölümünde, denizel organizmalar tarafından sentezlenen biyomoleküllerin kimyasal ve işlevsel çeşitliliği ele alınmakta; özellikle son yıllarda keşfedilen yapısal olarak yeni doğal ürünlere odaklanan güncel araştırmalar vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, kamu ve özel sektör paydaşlarının ilgisini çekebilecek potansiyele sahip doğal ürünleri tanımlamak amacıyla örnek organizmalara yer verilmiştir. Ayrıca, denizel mikroorganizmaların başlıca filumlarının biyoaktif bileşik üretim kapasitesi; bu kaynaklardan sürdürülebilir biçimde yüksek değerli ürünlerin elde edilmesini mümkün kılan gelişmiş teknolojiler ve yaklaşımlar çerçevesinde tartışılmıştır.



Şekil 1: Denizel bakterilerin izolasyonu ve biyomolekül araştırmaları (Kişisel arşiv, 2025)

1.1. Denizel Bakteriler

Okyanuslar, denizel ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olan ve küresel biyogeokimyasal döngülerde temel roller üstlenen çeşitli mikrobiyal türler tarafından yoğun bir şekilde kolonize edilmiştir. Denizel ortam, yüksek bakteri bolluğu ve zengin taksonomik çeşitliliği ile dikkat çekmektedir. Güncel metagenomik çalışmalar, denizel bakteri topluluklarının başlıca Cyanobacteria, Alphaproteobacteria, Flavobacteria, Deferribacteres, Deltaproteobacteria ve Gammaproteobacteria gibi gruplardan oluştuğunu ortaya koymuştur (Chbel vd., 2021).

Denizel ekoloji ve doğal moleküller üzerine yapılan araştırmalarda, bakteri taksonomisi, ekolojik roller ve metabolik çeşitlilik arasında güçlü korelasyonlar olabileceğini öne sürmektedir (Moghaddam vd., 2021). Denizel bakteriler, rekabetin yoğun olduğu zorlu sucul koşullarda hayatta kalabilmek için biyofilmler içerisinde, antimikrobiyal özellikler de dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif moleküller sentezlemektedir (Chbel vd., 2021). Bu biyofilm yapıları, patojenik mikroorganizmalarla etkileşimde üstünlük sağlayarak bakterilerin çevresel streslere karşı direnç kazanmasında rol oynamaktadır. Özellikle simbiyotik bakterilerin ve mikrobiyal toplulukların analizleri, insan sağlığı ve biyoteknolojik uygulamalar için değerlendirilebilecek yeni ve özgün biyosentetik yolların ve doğal ürünlerin keşfi açısından büyük potansiyele sahiptir (Moghaddam vd., 2021).

Denizel bakteriler tarafından sentezlenen peptitlerin; antimikrobiyal, antitümöral, antiviral ve antiinflamatuvar etkiler dahil olmak üzere geniş biyolojik aktivite spektrumlarına sahip olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, deniz kaynaklı ekzopolisakkaritler; antifungal ve antifouling aktivitelerin yanı sıra, immünomodülatör etkiler ve emülsiyon stabilizasyon kapasitesi gibi işlevsel özellikler de sergilemektedir. Bazı biyofilmler, su ürünleri yetiştiriciliğinde büyüme performansının artırılması ve su kalitesinin iyileştirilmesi gibi olumlu etkiler yaratırken; bazıları ise hem akuakültür sistemleri hem de gıda ve sağlık sektörleri açısından potansiyel riskler oluşturabilmektedir. Ayrıca, denizel bakteriler tarafından üretilen biyoaktif moleküller; zararlı mikroorganizmaların yüzeylere tutunması ve çoğalmasını engelleyerek, ekonomik kayıpların azaltılması ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi açısından umut vadeden biyolojik ajanlar olarak da değerlendirilmektedir (Chbel vd., 2021).

Denizel ortamda yaygın olarak bulunan bakteriyel cinslerden biri olan *Bacillus*, lipopeptitler, polipeptitler, makrolaktonlar, yağ asitleri, poliketidler, lipoamidler ve izokumarinler gibi yapısal açıdan oldukça çeşitli ikincil metabolitleri üretme kapasitesine sahiptir. Bu yapısal çeşitlilik, *Bacillus* izolatlarının antikanser, antimikrobiyal ve antialgal gibi geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi sergilemesini sağlar (Hamdache vd., 2011; Baruzzi vd., 2011). Denizel ortamda en sık tanımlanan türlerden olan *Bacillus* türleri, sıvı kültür ortamlarında hızlı büyüme yetenekleri ve zorlu çevre koşullarına karşı dayanıklı sporlar oluşturma özellikleri sayesinde, çeşitli fitopatogenlere karşı da etkili biyolojik kontrol ajanları olarak öne çıkmaktadır. Özellikle *Bacillus subtilis* tarafından sentezlenen antibiyotiklerin kimyasal yapıları, biyosentetik yolları ve biyolojik işlevleri araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Stein, 2005).

Tarımda pestisitlerin yoğun kullanımı ve endüstriyel faaliyetlerin bir sonucu olarak çevreye yayılan toksik atıklar, toprak ve su ortamlarında ağır metallerin (örneğin Pd, Hg, Cu, Cd, Cr, Co) birikimine neden olmaktadır. Bu birikim, yalnızca bitkisel üretim süreçlerini değil, aynı zamanda sucul ekosistemlerdeki tüm organizmaların sağlığını da tehdit etmektedir. Her ne kadar eser miktarda ağır metal iyonları, hücresel metabolizma için gerekli olsa da, yüksek konsantrasyonlarda bu elementler toksik etki göstererek hücre bütünlüğünü tehdit etmektedir (Mondol vd., 2013). Bunlara karşın, bazı denizel bakteri türleri, yüksek düzeyde ağır metal maruziyetine karşı doğal olarak direnç ve tolerans geliştirmiştir. Denizel kökenli bakteriler, karasal ortamlara kıyasla daha ekstrem çevresel koşullarda gelişme eğiliminde olduklarından, ağır metallerin detoksifikasyonu açısından önemli biyolojik kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Dash, 2013). Bu bakterilerin ağır metallere karşı geliştirdiği direnç mekanizmaları genellikle biyolojik birikim, metal iyonlarıyla kompleksleşme ve indirgeme vb., süreçleri kapsamaktadır. Özellikle indirgeme yoluyla, toksik metallerin daha az toksik formlara dönüştürülmesi, deniz bakterilerinin çevresel biyoremediasyondaki potansiyelini artırmaktadır (Mondol vd., 2013).

Denizel *Bacillus* izolatları, etki mekanizmalarına sahip çeşitli biyoaktif ikincil metabolitleri üretme yetenekleri sayesinde, insan, hayvan ve bitki patojenlerine karşı etkili ve çevre dostu mücadele stratejilerinin

geliştirilmesinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Her ne kadar *Bacillus* cinsine ait izolatlardan elde edilen ikincil metabolitler üzerine çeşitli çalışmalar bulunsun da (Hamdache vd., 2011; Stein, 2005), denizel *Bacillus* türlerinden elde edilen biyoaktif moleküllere dair kapsamlı raporlar sınırlıdır (Mondol vd., 2013).

Ekstrem çevresel koşullarına adapte olmuş ve bu koşullar altında hayatta kalabilen mikroorganizmaları ifade eden Ekstremofiller, yüksek sıcaklıklarda (termofiller) veya düşük sıcaklıklarda (psikrofiller), yüksek tuzluluk seviyelerinde (halofiller), ekstrem pH değerlerinde (asidofiller ve alkalofiller), oksijensiz ortamlarda (anaeroblar), yüksek hidrostatik basınç altında (piezofiller), ultraviyole radyasyona maruz kalan bölgelerde ya da birden fazla ekstrem koşulun bir arada bulunduğu ortamlarda (poliektremofiller; örneğin termoasidofiller ve termohalofiller) yaşayabilirler. Özellikle derin okyanuslar gibi ortamlarda, basınç 10 MPa'nın üzerinde olabilir (yaklaşık 1000 m derinlik), bu durumlarda sıcaklıklar ya oldukça düşük (2–3 °C) ya da hidrotermal bacalara yakın bölgelerde olduğu gibi oldukça yüksek (400 °C veya daha fazla) olabilmektedir. Bu ekstrem koşullarda psikro-piezofilik ya da termo-piezofilik mikroorganizmalar yaşamlarını sürdürebilir (Limoli vd., 2015, Karygianni vd., 2020). Bu adaptasyonlar, söz konusu organizmaların hücre zarı lipitleri, enzimleri ve biyopolimerlerinin, yaşadıkları aşırı koşullara uyum sağlamak üzere özel yapısal ve fonksiyonel özellikler taşımasını gerektirir (Sharma vd., 2019). Özellikle yüksek sıcaklıklarda yaşamın sürdürülebilmesi, ekstremofillerin suyun kaynama noktasının çok üzerindeki sıcaklıklarda dahi biyolojik faaliyetlerini sürdürebilmelerini sağlayan moleküler mekanizmaların varlığını gündeme getirmiştir. Termal strese karşı geliştirilen bu adaptasyon stratejileri; DNA, RNA, proteinler, ribozomlar, hücre zarları ve diğer biyopolimerler gibi tüm hücresel bileşenlerin kararlılığını sağlayacak şekilde çok yönlüdür (Azad vd., 2017).

Termofilik mikroorganizmalar ise, özellikle denizel sıcak su kaynakları ve hidrotermal menfezlerdeki yaşam formları açısından dikkat çekicidir. Bu organizmalar, yüksek sıcaklıklarda işlev gösterebilen ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek enzimler ve biyopolimerler üretme kapasiteleriyle öne çıkmaktadır (Azad vd., 2017). Bu çerçevede, hipertermofilik Arkelerin keşfi, evrimsel biyolojide çığır açmış ve yaşamın üç ana evrimsel kolundan biri olan Arke (Archaea) domainin tanımlanmasına

katkı sağlamıştır (Lebeaux vd., 2014). Hipertermofillerin yaşadığı ekosistemler, Dünya'nın erken dönemlerinde hakim olan çevresel koşulları yansıtmakta ve ilkel yaşamın izlerini sürmek için uygun ortamlar sunmaktadır (Adnan vd., 2020).

Buna karşın, geleneksel olarak yaşam için elverişsiz kabul edilen düşük sıcaklık koşulları da mikrobiyal yaşamın geliştiği önemli ekstrem ortamlardır. Düşük sıcaklıklarda mikrobiyal yaşam üzerine yapılan çalışmalar görece yenidir. Ancak günümüzde, gerek prokaryotlar gerekse ökaryotlar dahil olmak üzere çeşitli canlı gruplarının, bu soğuk ortamlarda hayatta kalmalarını mümkün kılan fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyon mekanizmalarına sahip olduğu yaygın biçimde kabul görmektedir (Alshammari vd., 2019).

1.1.1. Mikrobiyal Biyomoleküller

Modern ve genellikle hedef odaklı yaklaşımların ön planda olduğu günümüz ilaç keşfi süreçlerinde denizel organizmalardan izole edilen doğal ürünler de, ilaç keşfi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu alandaki öncül keşiflerden biri, Karayipler'de bir sünger türü olan *Cryptotethya crypta*'dan elde edilen nükleozid bileşikleri spongouridin ve spongothymidin olmuştur. Bu bileşikler, antiviral ilaçların geliştirilmesinde öncü yapılar olarak kullanılmış ve Ara-A gibi önemli ilaçların temelini oluşturmuştur (Bergmann ve Feeney, 1951). Bununla birlikte, deniz kaynaklı farmasötik araştırmaların gerçek anlamda başlaması, *Plexaura homomalla* adlı Karayip gorgonianında prostaglandinlerin keşfiyle gerçekleşmiştir. Bu lipid türevleri, inflamatuvar süreçlerde temel biyolojik aracı moleküller olarak tanımlanmış ve denizlerden ilaç keşfi için önemli bir dönüm noktası olmuştur (Weinheimer ve Spraggins, 1969). Son yıllarda, teknolojik gelişmeler sayesinde araştırmacılar, daha derin deniz seviyelerinde yaşayan organizmalara erişme imkânı da bulmuştur. Buna ek olarak, denizel ikincil metabolitlerin genellikle oldukça karmaşık olan kimyasal yapılarını aydınlatmak amacıyla geliştirilen ileri spektroskopi teknikleri, "denizden ilaç" konseptine yönelik araştırmalara büyük ivme kazandırmıştır (Proksch vd., 2003; Wiese ve Imhoff, 2019; Bollinger vd., 2020).

Denizel bakteriler, ikincil metabolitlerin önemli üreticileridir ve bu bileşikler genellikle yüksek basınç, sıcaklık, tuzluluk oranları ile mikro

besinlerin sınırlı olduğu ekstrem denizel koşullara yanıt olarak sentezlerler (Chan vd., 2009). İlaç keşfinde denizel doğal moleküllerin potansiyeli özellikle dikkat çekicidir; mevcut ilaçların %50'sinden fazlası doğal moleküllerden üretilmiştir (Newman ve Cragg, 2020). Bu organizmalardan süngerler, knidaryalar, bryozoanlar ve tunikatlar bilhassa, çeşitli farmakolojik özelliklere sahip zengin biyoaktif molekül kaynakları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, denizel organizmalarla ilişkili simbiyotik mikrobiyal topluluklar, biyoaktif moleküllerin üretimine önemli ölçüde katkıda bulunarak potansiyel ilaç adayları havuzunu daha da genişletmektedir (Scott, 2024). Denizel mikroorganizmalar, antimikrobiyal, antioksidan, antitümör, antiinflamatuvar, antivirüs, antihipertansif ve antidiyabetik aktivite gibi çok çeşitli aktiviteler sergileyen moleküllerin başlıca üreticileridir (Barzkar vd., 2019). Organizmalarca sentezlenen bu metabolitler savunma, kimyasal sinyalleşme ve konak-mikroorganizma etkileşimleri için kullanılmaktadır (Piel vd., 2004; Schirmer vd., 2005). İkincil metabolitler ile gen ekspresyonu üzerine mevcut çalışmalar, genellikle hedef genlerin heterolog mikroorganizmalara veya büyük ölçekli genomik dizileme projelerine dayanmaktadır (Conway, 2012).

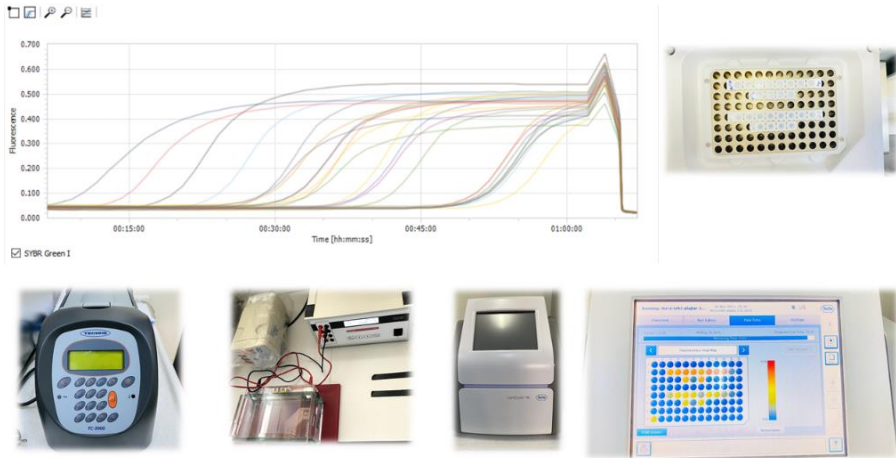
Oligotrofik koşullara adapte olmuş denizel bakteriler, besin açısından zengin ortamlara uyum sağlamış bakterilerden genetik ve metabolik düzeyde belirgin şekilde ayrılmaktadır. Bu bakteriler, enzimatik mekanizmalarını çevresel koşullara göre uyarlayabilme yetenekleri sayesinde, antimikrobiyal, antioksidan ve antitümör özellikler gösterebilen; farmasötik açıdan yüksek potansiyele sahip yeni biyoaktif moleküller üretebilmektedir (Calcabrini vd., 2017). Bu özellikleri nedeniyle denizel bakteriler, endüstriyel uygulamalarda stabilizatör veya balık ürünlerinde koruyucu ajan olarak da değerlendirilmektedir (Bollinger vd., 2020).

Günümüzde, antimikrobiyallere direncin sağlık ve ekonomi üzerindeki ciddi etkileri, insanlığın karşı karşıya olduğu büyük bir endişe ve küresel tehdit kaynağını oluşturmaktadır (Dadgostar, 2019). Bu nedenle, yeni antibiyotiklerin keşfedilmesi, her zamankinden daha fazla önem kazanmıştır (Hoffman, 2020; Aminov, 2010). Son yıllarda, denizel doğal moleküller ilaç keşfinde hayati bir rol oynamaktadır (Atasanov vd., 2021). Özellikle, bakteri ve fungus gibi mikroorganizmalar ikincil metabolitler için büyük bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Singh vd., 2019; Barzkar vd., 2019). Günümüzde, 22.000'den fazla biyoaktif mikrobiyal ikincil metabolit tanımlanmıştır ve

bunların çoğu ilaç araştırmalarında büyük rol oynamaktadır. Bu metabolitler, biyosentetik gen kümeleri (BGC'ler) adı verilen çok çeşitli gen kümeleri tarafından sentezlenir. Bu kümeler, spesifik enzimatik sistemler tarafından kodlanarak metabolit üretimini sağlar. Günümüze kadar 1.500'den fazla BGC deneysel olarak karakterize edilmiş ve ürünleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Ancak yapılan analizler, henüz tanımlanmamış çok sayıda gen kümesi ailesi olduğunu göstermektedir. Tahminlere göre, biyosferde yaklaşık 6.000 farklı bakteriyel BGC ailesi bulunduğu öngörülmektedir. Bu kümelerin tahmini için en yaygın kullanılan platformlardan biri olan antiSMASH (antibiotics & Secondary Metabolite Analysis Shell), 1 Ağustos 2020 itibarıyla 24.776 farklı tür veya suşa ait toplam 172.395 BGC'yi kapsayan 46 farklı BGC ailesi rapor etmektedir. En yaygın BGC türleri arasında ribozomal olmayan peptid sentazlar (NRPS) (%23), poliketid sentazlar (PKS) (%17), ribozomal olarak sentezlenen ve translasyon sonrası modifiye edilen peptidler (RiPP'ler) (%9), bakteriyosin biyosentezinden sorumlu kümeler (%13) ve terpen sentazları (%12) yer almaktadır (Moghaddam vd., 2021). En popüler BGC'ler, PKS-I ve PKS-II adı verilen gen kümeleri dahil olmak üzere poliketid sentazları kodlayanlar olarak bilinmektedir (Tran vd., 2019). Özellikle Actinobacteria filumuna ve Bacillaceae familyasına ait bakterilerin, antimikrobiyal aktivitelere sahip çok sayıda poliketid ürettiği tespit edilmiştir (Sedeek vd., 2022; Olshevska vd., 2019).

Mikrobiyal doğal ürünler, farmasötik öncül bileşiklerin keşif için benzersiz bir kaynak olmaya devam etmektedir ancak, klasik yöntemler ile bu bileşiklerin araştırılması sürecinde, benzerlerinin yeniden keşif oranı da yüksektir. Bakteriyel ve fungal dizileme çalışmaları ile, birçok suşun biyosentetik potansiyelinin, fermentasyon ile gözlemlenenden çok daha büyük olduğunu göstermektedir. Bu tür açığa çıkmamış (cryptic) yol izlerinin ifadesini teşvik etmek, mikroorganizmalardan elde edilebilen kimyasal çeşitliliği en üst düzeye çıkarmamızı sağlayacaktır. Laboratuvar koşullarında moleküler veya kültürel temelli yaklaşımlar kullanılarak cryptic metabolik yol izlerine erişilebilmektedir (Şekil 2). Son yıllarda moleküler yöntemler ile tanımlanan ikincil metabolitler lunalidler A ve B, oksilipinler, kladokromlar F ve G, nygerone A, chaetoglobosin-542, -540 ve -510, sphaerolone, dihidrosphaerolone, mutolide ve pestalone'nin izolasyonudur. Bunların yanı

sıra moleküler yöntemleri kullanmanın diğer bir avantajı bilinen ikincil metabolitlerin (örn. penisilin ve basitrasın) üretiminin arttırılmasında, kimyasal yapının açığa çıkarılması, doğal ürün çeşitliliğini artırmanın etkili bir yolu olduğunu kanıtlamaktadır. Kültüre bağlı yaklaşımların uygulanmasında, ortam koşullarında, pH'da, sıcaklıkta veya oksijen düzeyindeki çok küçük değişiklikler, mikroorganizmaların metabolik profilini tamamen değiştirebilmektedir (Bode vd., 2002; Pettit, 2009). Doğal ortamlarda rekabet gücünü artıran metabolitleri kodlayabilen potansiyel olarak ilginç gen kümeleri, laboratuvar ortamında aktivite gösteremeyebilmektedir. Ayrıca, kültürel koşullarda fiilen sentezlenen doğal ürünlerin sayısından daha fazla sayıda bakteri ve fungal biyosentetik ikincil metabolit gen kümeleri örneği de moleküler yöntemler ile bulunmaktadır. Bu gen kümeleri, kuşkusuz, ilaç keşfi için muazzam bir yeni biyoaktif bileşen rezervuarı barındırmaktadır (Pettit, 2011).



Şekil 2: Denizel mikroorganizmaların genetik analizleri (Kişisel arşiv, 2023)

Denizel bakterilerin bir diğer biyoteknolojik önemi ise biyoremediasyon (biyolojik temizleme) alanında kullanımlarıdır. Petrol sızıntılarının biyoremediasyonunda kritik bir rol oynadığı bilinen denizel bakteri olan *Alcanivorax borkumensis* buna örnek verilebilir (Schneiker vd., 2006). Bu organizma, bir tür biyosüpfaktan üretir ve yüksek biyoteknolojik özelliğe sahip esterazlar ve monooksijenazları kodlayan birkaç gen bölgesine

sahiptir (Tchigvintsev vd., 2015). Deniz kökenli birkaç *Acinetobacter* türünün de yararlı yüzey aktif özelliklere sahip glikolipoproteinler (Peele vd., 2016) gibi biyosüpfaktan ürettiği tespit edilmiştir (Mnif ve Ghribi, 2015). Bu metabolitler arasında yer alan lipopeptitler, bazı denizel kökenli *Bacillus* türleri tarafından hidrofobik ve düşük suda çözünürlüğe sahip substratların taşınmasını kolaylaştırmak ve biyo-yararlanımlarını artırmak amacıyla biyosüpfaktan olarak üretilmektedir (Naughton vd., 2017).

Aspergillus türleri ile yapılan çalışmalara bakıldığında ise, bu türlerin zengin birer ikincil metabolit kaynağı olduğu; tür başına 30-50 farklı poliketid sentaz (PKS) ve ribozomal olmayan peptid sentaz (NRPS) gen kümelerini barındırabildikleri belirtilmiştir (Schneider vd., 2008, Payne vd., 2006). Denizel bir aktinomiset türü olan *Salinispora tropica*, genomunun çok büyük bir bölümünü (yaklaşık %10'unu) ikincil metabolit oluşumuna ayırdığı bilinmektedir (Udwary vd., 2007). Bir başka örnek olarak, Ivermektin türevi ilaçların bilinen bir üreticisi olan *Streptomyces avermitilis* (Omura vd., 2001) genomunun %6'dan fazlası ikincil metabolit biyosentezinde işlev alan genler içermektedir.

Bacillus subtilis suşu tarafından sentezlenen metabolitlerin, gıda koruma (bozulmaya neden olan mayaların kontrolü) ve bitki hastalıklarının biyolojik mücadelesi (özellikle fungal patojenlere karşı) gibi alanlarda potansiyel uygulama alanları bulunmaktadır. Makrolaktinler ise esas olarak denizel bakteriler tarafından üretilen, lakton halkası içeren doğal poliketid yapılar olup PKS-I (poliketid sentaz tip I) sistemi aracılığıyla biyosentezlenmektedir. Bu bileşiklerin antibakteriyel, antifungal, antiviral, antikanser, antiinflamatuvar ve anti-anjiyojenik gibi çeşitli biyolojik aktiviteleri olduğu bildirilmiştir. Özellikle *B. subtilis* tarafından sentezlenen Makrolaktin N'nin, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği ve bu etkisini peptid deformilaz enzimini inhibe ederek gerçekleştirdiği rapor edilmiştir (Yoo vd., 2006).

2. DENİZEL BİYOMOLEKÜLLERİN BAZI KİMYASAL SINIFLARININ ARAŞTIRILMASI

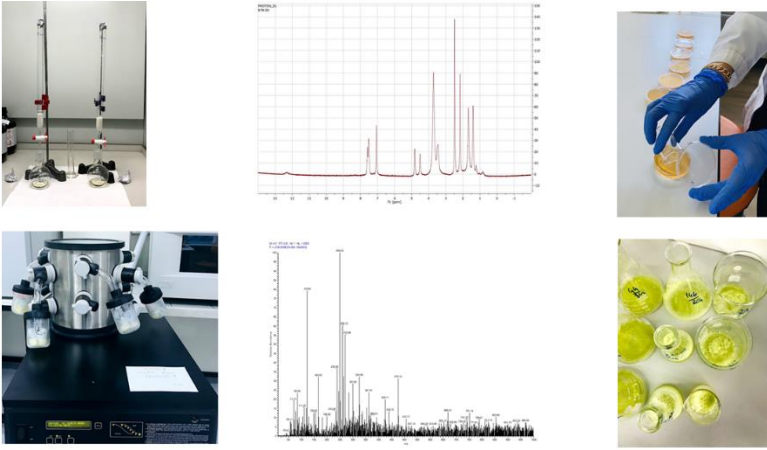
Denizel organizmalar ile yürütülen araştırmalar, mikrobiyal kaynaklardan ekstrakte edilen biyomoleküllerin kimyasal etkinliğini ortaya

çıkarmayı amaçlamaktadır. Ekstrakte edilmiş biyomoleküllerin mikroorganizmalar kökenli olması durumunda, büyük ölçekli fermentasyon teknolojileri uygulanarak, bu organizmalardan yüksek miktarlarda doğal ürün elde edilebilmektedir (Kelecom, 2002). Bu potansiyellerin ortaya çıkarılmasında kimyasal analizlere başvurulur. Bu analizlere başlıca metabolomik analizler denmektedir. Metabolomik, metabolomdaki küçük molekül boyutlu metabolitlerin (<1500 Da) tanımlanmasında ve miktar tayininde yararlanılan bir araştırma alanıdır. Karmaşık biyolojik sistemlerde biyokimyasal süreçlerin mekanizmalarının ortaya çıkarılmasını kolaylaştırmaktadır (Bowen ve Northen, 2010).

Metabolomik araştırma alanı, fonksiyonel genomik (Saito ve Matsuda, 2010), biyobelirteç keşfi (Griffiths vd., 2010), çevresel ve biyolojik stres çalışmaları (Rosenblum vd., 2005) dâhil olmak üzere farklı çalışma konularında kullanılmaktadır. Metabolomun yapısal karmaşıklığı yanı sıra, dinamik doğası sayesinde, tüm biyomolekül spektrumunu açığa çıkarmak için fazla sayıda analitik platformların kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Bu platformlar arasında nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ve kütle spektrometrisi (MS) en yaygın kullanılanlardır (Xiao vd., 2012).

NMR spektroskopisi, organizmalardan elde edilen yeni biyomoleküllerin yapı tayini ve bunların kimyasal analizleri için uygulanan bir yöntemdir (Witkowski ve Wawer, 2013). NMR spektrumları, tanımlanması hedeflenen moleküldeki, kimyasal yapıları farklı olan her bir karbon veya hidrojen atomunun farklı tepe noktaları ile gösterilmektedir (Reynolds, 2017).

Yapı tayininde en sık kullanılan bir diğer yöntem olan sıvı kromatografisinin (LC) kütle spektroskopisine (MS) bağlanması (LC/MS) ile, tanımlanması istenen örneğin yapı karmaşıklığını, biyomoleküllerin birbirbirinden ayırmasına yol açarak azaltmakta, biyomolekülün tanımlanmasını ve miktarının belirlenmesini kolaylaştırmaktadır (Xiao vd., 2012) (Şekil 3).



Şekil 3: Denizel mikroorganizmaların ikincil metabolitlerinin izolasyon ve yapı tayini (Kişisel arşiv, 2023)

Yapısı önceden belirlenmemiş metabolomik analizlerde biyomolekülün tanımlanması, öncelikle kitle tabanlı tarama ve sonrasında manuel doğrulama yoluyla yapılmaktadır. Çalışma prensibi aşamalandırıldığında; öncelikle ilgili moleküler iyonun tespit edilen m/z değeri veritabanlarında taranır (Han ve Jiang, 2009; Cui vd., 2008; Guillarme vd., 2007). Gerçekleştirilen sorgu sonucu m/z değerine karşın belirli bir tolerans aralığında tespit edilen moleküler ağırlıklara sahip biyomoleküller, varsayılan tanımlamalar olarak veritabanlarından elde edilir. Ardından, bu varsayılan tanımlamalardan elde edilen bileşiklere, örnek ile yan yana bir tandem MS (MS/MS) uygulanır. Bu bileşiklerin okunan MS/MS spektrumları ve alıkonma süreleri örnekteki ilgili molekül yapılarıyla karşılaştırarak, tanımlamaları gerçekleştirilebilmektedir (Xiao vd., 2012). Ancak, başta denizel bakterilerden elde edilen biyomoleküller olmak üzere denizel kökenli mikroorganizmalardan elde edilen biyomoleküller ile ilgili çalışmalar az sayıdadır.

2.1. Alkaloidler

Alkaloidler, bir veya daha fazla ana nitrojen atomu içeren bir grup doğal bileşiktir. Deniz kökenli birçok organizma da dahil olmak üzere çok çeşitli organizmalar tarafından üretilir (Fattorusso ve Tagliatela-Scafati, 2007).

Alkaloidler çoğunlukla triptofan veya aspartik asit gibi amino asitlerden biyosentezlenmektedir (Moghaddam vd., 2021).

Denizel alkaloidler, karmaşık ve spesifik kimyasal yapılara sahip olabilmektedir. Bunun yanı sıra, biyolojik aktiviteleri açısından bu bileşimler çeşitlilik göstermektedirler. Denizel kökenli alkaloidlerin oldukça önemli tıbbi özellikleri vardır, bu özellikler fungus gelişimi engelleyici, virüsün tutunmasını engelleyen ve anti-tümör özellikli ilaçlar olarak hali hazırda uygulanmaktadır. Organizmalardan ekstraksiyon aracılığıyla elde edilen ve tanımlanan deniz kökenli alkaloidler sınırlı sayıda olması, bu bileşiklerin klinik açıdan önemlerinin araştırmalarını ve endüstriyel potansiyelinin ortaya çıkarılmasını kısıtlamaktadır (Zhou ve Huang, 2020). Denizel organizma kaynaklı siklik peptitler, indol alkaloidler, azotlu bileşimler, amidler ve aminler şeklinde tespit edilmiştir. Ancak deniz kökenli olup, yapısı hala tam olarak bilinmeyen farklı heterosiklik yapılara sahip çok sayıda bileşiğin varlığı öngörülmektedir (Omuzbükten, 2022).

2.2. Fenolikler ve Flavonoidler

Fenolik bileşikler algler, mikroorganizmalar ve kara kökenli organizmalar tarafından ikincil metabolitler olarak üretilmektedir. Deniz kökenli organizmaların bu bileşiklerini neden ürettikleri hakkında birçok hipotez yer almaktadır. Fenolik bileşiklerin, deniz ortamının ekstrem ortam koşullarına karşı bir savunma mekanizması olarak, organizmalar tarafından üretildiği görüşü en çok kabul gören fikirlerden biri olarak hala geçerliliğini sürdürmektedir (Getachew vd., 2020). Fenolik bileşiklerin bir alt grubu olan flavonoidler ise, düşük moleküler ağırlıklı ikincil metabolitler olarak tanımlanır (Kumar ve Pandey, 2013). Yapılan çalışmalar, deniz kökenli organizmalardan elde edilen flavonoidlerin de biyolojik aktivitelerde avantaj oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenlerle özellikle farmasötik ürünler olarak kullanımları önem kazanmaktadır (Martins vd., 2019). Çalışmalar, multihidroksil flavonoid bir bileşik olarak bilinen kuvarsetin gibi bazı doğal biyomoleküllerin özellikle kan şekerini düşürmeyle ilgili önemlerini ortaya koymuştur (Chen vd., 2009).

2.3. Karotenoidler

Karotenoidler veya tetraterpenoidler, ilgili antioksidan rolleri olan fotosentetik bakterilerden, alglardan ve bitkilerden izole edilen önemli sarı, kırmızı ve turuncu renkli pigmentlerdir. Fizyolojik olarak, oksidatif stres patolojik dejeneratif süreçlerde ve yaşlanmada, aterosklerozda, kanserde, sıtımda, nörodejeneratif hastalıklarda ve artritte rol oynar. Bu nedenle, karotenoidler oksidatif stresin etkilerini ve serbest radikallerin baskılanmasını ve/veya temizlenmesini önleme, geciktirme veya nötralize etme yeteneklerini kanıtlamışlardır. Beta karoten ve likopenin cilt ve retinadaki ultraviyole oksidatif hasarı iyileştirdiği bildirilmiştir (Murray vd., 2013). Başka bir karotenoid olan astaksantin, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı, nöropatik ağrı, yaşlanma, depresyon ve otizm gibi nörolojik hastalıklara karşı çok hedefli bir farmakolojik ajan olarak giderek artan bir ilgi kazanmıştır. Nörodejenerasyonla mücadele etmek için anti-inflamatuvar, antioksidatif ve anti-apoptotik özellikleri nedeniyle nöroprotektif etkiler göstermiştir (Fakhri vd., 2019).

2.4. Terpenoidler

Günümüzde çok sayıda farklı yapısal ailede gruplandırılmış 50.000'den fazla terpenoid (izoprenoidler olarak da bilinir) izole edilmiştir (Cane ve Ikeda, 2002). Organizmalardaki uçucu yağların temel bileşenlerini oluşturmaktadırlar. Bu bileşenler izoprenoid grubuna ait olarak bilinir (Ghorai vd., 2012). Çoğunlukla denizel ve karasal ökaryotlardan izole edilmesine rağmen, son yıllardaki araştırmalar giderek artan bir şekilde prokaryotik kökenli yeni terpenoidleri, özellikle Gram pozitif Actinomycetes'i ortaya çıkarmıştır (Helfrich vd., 2019). Aslında, bakteriyel kaynaklı siklik terpenlerin çoğunluğu, hedeflenen küresel genomik ve metabolomik yaklaşımları ile yakın zamanda ortaya çıkarılmıştır, özellikle denizel bakteriler ise terpenoidleri araştırmak için henüz keşfedilmemiş bir biyosentetik potansiyele sahiptir (Rudolf ve Chang, 2020).

2.5. Polisakkaritler

Polisakaritler, çoğunlukla glikoz polimerleri olan ve glikozidik bağlarla bağlanan yüksek moleküler ağırlıklı karbonhidrat molekülleridir. Çeşitli

biyolojik aktiviteleri için doğal polimerlerin uygulamalarını talep eden çeşitli endüstrilerde artan bir ilgi görmektedirler. Örneğin, denizel bakteri türü olan *Poseidonocella sedimentorum* KMM 9023T'den izole edilen sülfatlanmış bir Opolisakkarit, yüksek antikanser aktivitesi göstermiştir. İnsan kolorektal adenokarsinomu HT-29, insan meme adenokarsinomu MCF-7 ve insan malign melanomu SK-MEL-5 hücrelerinin koloni oluşumunu engeller (Kokoulin vd., 2018). Antikanser terapötik özellikleri, deniz bakterisi *Cobetia litoralis* KMM 3880 3880T'den izole edilen sülfatlanmış lipopolisakkarit durumunda olduğu gibi, diğer karbonhidrat türleri için de gösterilmiştir. İnsan melanomu SK-MEL-28 ve kolorektal karsinom HTC-116 hücrelerinin koloni oluşumunu engellediği bilinmektedir (Kokoulin vd., 2016).

2.6. Peptitler

Son zamanlarda, peptidik yapıdaki birçok biyolojik olarak aktif bileşiğin biyofilm gelişimini bozma yetenekleri kanıtlanmıştır. Bunlar, dünya çapında ekonomik kayıpları azaltmak için su ürünleri yetiştiriciliği ve gıda endüstrilerinde biyofilm önleme stratejisini temsil etmektedir (Wang vd., 2017). Örneğin, *Pseudoalteromonas* sp. suşu tarafından üretilen alterosin adlı bir peptit molekülünün, *Paracoccus* sp. suşu, *Vibrio* sp. ve *Vibrio tapetis*'in biyofilm oluşturma yeteneğini bozduğu belirlenmiştir (Rodrigues vd., 2014). Aynı şekilde, başka *Pseudoalteromonas* sp. suşları da, *Paracoccus* sp., *Algibacter* sp., *Alteromonas* sp., *Micrococcus* sp. ve *Colwellia* sp. biyofilmleri üzerinde etkili olmuştur (Klein vd., 2011). Ek olarak, deniz canlı yüzeyleriyle ilişkili birçok mikroorganizmanın, biyofilm bakterilerinin ve mikroalglerin yapışmasını engelleyen ve midye, çok kıllı solucan, ascidian ve makroalg sporlarının larva formlarına karşı inhibe edici aktiviteler gösteren antifouling aktiviteli peptitler salgıladıkları bildirilmiştir (Satheesh vd., 2016).

2.6.1. Antibakteriyel Peptitlerin Antimikrobiyal Etki Mekanizmaları

Son yıllarda, çeşitli denizel bakterilerden farklı yapısal özelliklere ve antibakteriyel etki mekanizmalarına sahip çok sayıda ikincil metabolit izole edilmiştir (Kang vd., 2013; Mondol vd., 2013; Böhringer vd., 2017; Gokulan vd., 2014; Andryukov vd., 2018). Karasal ekosistemlerden farklı olarak, deniz kaynaklı antimikrobiyal peptit üreticilerinin büyük çoğunluğunu Gram-pozitif

bakteri suşları oluşturmaktadır (Wang vd., 2019; Pinu vd., 2017). İzole edilen bu antimikrobiyal bileşiklerin çoğu, geniş bir mikrobiyal spektruma karşı hızlı öldürücü etki gösterebilmektedir. Özellikle >100 amino asit dizisinden oluşan büyük moleküler yapıdaki antimikrobiyal proteinler, çeşitli hedeflere karşı litik aktivite göstermektedir. Bu proteinler; besin moleküllerine bağlanarak (Giang vd., 2015; Gao vd., 2017) hücre yüzeyi yapılarının parçalanmasına neden olarak (Kers vd., 2018), DNA'yı bozarak (Phelan vd., 2013), mikrobiyal hücre zarının bütünlüğünü ve işlevini bozarak, peptidoglikan sentezini (Rivetti vd., 2014) ve hücre içi protein sentez yollarını inhibe ederek antimikrobiyal etkilerini göstermektedir (Chen ve Qian, 2017).

Antibakteriyel peptid sınıfına ait araştırmalar için, APD3 (Wang vd., 2015), ANTIMIC (Brahmachary vd., 2004), CyBase (Wang vd., 2007) ve StraPep (Wang vd., 2018) gibi biyoinformatik veri tabanları tanımlanmıştır. Bu veri tabanlarının kullanımı, elde edilen bileşiklerin antibakteriyel etkinliklerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Denizel bakterilerden ikincil metabolitlerin izolasyonu ve karakterizasyonu henüz erken aşamalarda olmasına rağmen, elde edilen veriler bu bileşiklerin, özellikle balık hastalıklarının kontrolü açısından oldukça umut verici antimikrobiyal ajanlar olabileceğini göstermektedir. Bu bulgu, su ürünleri yetiştiriciliğinin küresel gıda üretimindeki artan payı ve dünya balıkçılığının giderek büyüyen rolü göz önüne alındığında özel bir önem taşımaktadır (Bibi vd., 2017). Ayrıca, denizel kaynaklı metabolitler; doğal gıda koruyucuları, tıbbi ve veteriner kullanım için terapötik ajanlar ya da bitki koruma uygulamalarında önemli ajanlar olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir (Giordano vd., 2015). Bu bileşiklerin antitümör, antiviral ve antifungal etkilerinin de oldukça dikkat çekici ve gelecek vadeden nitelikte olduğu rapor edilmiştir (Andryukov vd., 2019).

Tıbbi açıdan değerli yeni antibiyotiklerin keşfi ve geliştirilmesi, modern biyoteknolojik yaklaşımlar çerçevesinde, ribozomal olmayan peptit sentezinin doğal mekanizmalarının uygulanmasına dayanmaktadır (Pinu vd., 2017). Bu tür metabolitlerin üretim süreçlerini karasal ve denizel bakterilerde incelemek, yalnızca temel bilimsel bilgi açısından değil, aynı zamanda uygulamaya dönük biyoteknolojik stratejilerin geliştirilmesi bakımından da büyük önem taşımaktadır. Ribozomal olmayan peptit sentez yolları, insan patojenlerinde

çoklu ilaç direnci ile ilişkilendirilen mikrobiyal izolatların ortaya çıkmasında etkili olabilir. Bu açıdan, peptit sentaz enzimlerinin aktivitesi ve bu süreci yöneten gen kümeleri, ilaçlara dirençli bakteri türlerinin neden olduğu enfeksiyonların tedavisinde yeni hedefler olarak değerlendirilmektedir (Wang vd., 2018).

Denizel bakteriler ve ikincil metabolitleri, modern biyoteknolojide öne çıkan yaklaşımlar arasında ribozomal olmayan sentez yollarını hedefleyerek hibrit peptitlerin tasarımı ve üretimi yer almaktadır. Bu hedefli biyosentetik müdahaleler, ya ribozomal olmayan sentez genlerinin manipülasyonu yoluyla hibrit peptit sentazların elde edilmesini ya da metabolik mühendislik teknikleri kullanılarak istenilen yapıya sahip yeni peptitlerin üretilmesini kapsamaktadır. Bu strateji, yalnızca yeni nesil antibiyotiklerin geliştirilmesine yönelik umut verici bir yaklaşım sunmakla kalmaz, aynı zamanda patojenik bakterilerin ekzokrin aktivitesini ve dolayısıyla canlılıklarını kontrol altına alma potansiyeli nedeniyle terapötik anlamda önemli bir hedef oluşturmaktadır (Nguyen vd., 2019). Son yıllarda denizel bakterilerinden izole edilerek test edilen aktif antimikrobiyal ajanların çeşitliliği, bu mikroorganizmaların ikincil metabolitlerinin yüksek farmakolojik potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Bu peptitlerin biyolojik etkilerinin ve üretim mekanizmalarının daha ayrıntılı olarak incelenmesinin, önümüzdeki yıllarda bilimsel ve endüstriyel açıdan verimli sonuçlar doğurması beklenmektedir. (Andryukov vd., 2019).

Sonuç olarak; bakteriler, arkeler, funguslar gibi denizel mikroorganizmalar, günümüzde hala keşfedilmemiş yeni moleküllerin ve bunların biyosentetik özelliklerinin bir kaynağını temsil etmektedir. Yeni metabolitlerin yapısal tanımlanmasına ek olarak, biyosentezlerinin açıklığa çıkarılması, biyosentetik yolu anlamak ve nihayetinde metaboliti kullanmak için önemli bir ön koşuldur. Özellikle genomik, proteomik ve moleküler biyolojideki ilerlemeler, bu yolları tasarlamak ve optimize etmek için bize benzersiz bir fırsat sunar ve bu da genellikle değiştirilmiş biyoaktivitelere sahip yeni biyoaktif moleküllerin varlığı ile sonuçlanır. Mevcut bilgi ve biyoteknolojik metodolojilerin zenginliğine rağmen, denizel ortamlardaki biyomoleküllerin keşfi ve yapı tayinlerinin ayrıntılı olarak ortaya koyulması için daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Adnan, M., Patel, M., Deshpande, S., Alreshidi, M., Siddiqui, A. J., Reddy, M. N., Emira, N., & De Feo, V. (2020). Effect of *Adiantum philippense* extract on biofilm formation, adhesion with its antibacterial activities against foodborne pathogens, and characterization of bioactive metabolites: An in vitro–in silico approach. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 823. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00823>
- Alshammari, E., Patel, M., Sachidanandan, M., Kumar, P., & Adnan, M. (2019). Potential evaluation and health fostering intrinsic traits of novel probiotic strain *Enterococcus durans* F3 isolated from the gut of fresh water fish *Catla catla*. *Food Science of Animal Resources*, 39, 844–861. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e70>
- Amin, S. A., Hmelo, L. R., Van Tol, H. M., Durham, B. P., Carlson, L. T., Heal, K. R., et al. (2015). Interaction and signalling between a cosmopolitan phytoplankton and associated bacteria. *Nature*, 522, 98–101. <https://doi.org/10.1038/nature14488>
- Aminov, R. I. (2010). A brief history of the antibiotic era: Lessons learned and challenges for the future. *Frontiers in Microbiology*, 1, 134. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2010.00134>
- Andryukov, B., Mikhailov, V., & Besednova, N. (2019). The biotechnological potential of secondary metabolites from marine bacteria. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(7), 176. <https://doi.org/10.3390/jmse7070176>
- Andryukov, B. G., Zaporozhets, T. S., & Besednova, N. N. (2018). Promising strategies for finding new means of combating infectious diseases. *Antibiotics and Chemotherapy*, 63, 44–55.
- Azad, C. S., Saxena, M., Siddiqui, A. J., Bhardwaj, J., Puri, S. K., Dutta, G. P., Anand, N., Saxena, A. K., & Anand, N. (2017). Synthesis of primaquine glyco-conjugates as potential tissue schizontocidal antimalarial agents. *Chemistry and Biology & Drug Design*, 90, 254–261. <https://doi.org/10.1111/cbdd.12952>
- Baruzzi, F., Quintieri, L., Morea, M., & Caputo, L. (2011). Antimicrobial compounds produced by *Bacillus* spp. and applications in food. In A. M. Vilas (Ed.), *Science against microbial pathogens: Communicating*

- current research and technological advances* (pp. 1102–1111). Formatex.
- Barzkar, N., Tamadoni Jahromi, S., Poorsaheli, H. B., & Vianello, F. (2019). Metabolites from marine microorganisms, micro, and macroalgae: Immense scope for pharmacology. *Marine Drugs*, 17(8), 464. <https://doi.org/10.3390/md17080464>
- Bergmann, W., & Feeney, R. J. (1951). Contributions on the study of marine sponges. XXXII. The nucleosides of sponges. *Journal of Organic Chemistry*, 16(6), 981–987. <https://doi.org/10.1021/jo01146a023>
- Bibi, F., Faheem, M., Azhar, E. I., Yasir, M., Alvi, S. A., Kamal, M. A., Ullah, I., & Naseer, M. I. (2017). Bacteria from marine sponges: A source of new drugs. *Current Drug Metabolism*, 18(1), 11–15. <https://doi.org/10.2174/1389200217666161214143904>
- Bode, H. B., Bethe, B., Höfs, R., & Zeeck, A. (2002). Big effects from small changes: Possible ways to explore nature's chemical diversity. *Chembiochem*, 3(7), 619–627. [https://doi.org/10.1002/1439-7633\(20020703\)3:7<619::AID-CBIC619>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1439-7633(20020703)3:7<619::AID-CBIC619>3.0.CO;2-9)
- Bollinger, A., Thies, S., Knieps-Grünhagen, E., Gertzen, C., Kobus, S., Höppner, A., Ferrer, M., Gohlke, H., Smits, S. H. J., & Jaeger, K. E. (2020). A novel polyester hydrolase from the marine bacterium *Pseudomonas aestusnigri*—Structural and functional insights. *Frontiers in Microbiology*, 11, 114. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00114>
- Bowen, B. P., & Northen, T. R. (2010). Dealing with the unknown: Metabolomics and metabolite atlases. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 21(9), 1471–1476. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2010.04.003>
- Böhringer, N., Fisch, K. M., Schillo, D., Bara, R., Hertzner, C., Grein, F., Eisenbarth, J. H., Kaligis, F., Schneider, T., Wägele, H., et al. (2017). Antimicrobial potential of bacteria associated with marine sea slugs from North Sulawesi, Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1092. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01092>
- Brahmachary, M., Krishnan, S. P. T., Koh, J. L. Y., Khan, A. M., Seah, S. H., Tan, T. W., Brusica, V., & Bajic, V. B. (2004). ANTIMIC: A database of antimicrobial sequences. *Nucleic Acids Research*, 32(Database issue), D586–D589. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh040>

- Cane, D. E., & Ikeda, H. (2012). Exploration and mining of the bacterial terpenome. *Accounts of Chemical Research*, 45(3), 463–472. <https://doi.org/10.1021/ar2002862>
- Calcabrini, C., Catanzaro, E., Bishayee, A., Turrini, E., & Fimognari, C. (2017). Marine sponge natural products with anticancer potential: An updated review. *Marine Drugs*, 15(10), 310. <https://doi.org/10.3390/md15100310>
- Chan, Y. A., Podevels, A. M., Kevany, B. M., & Thomas, M. G. (2009). Biosynthesis of polyketide synthase extender units. *Natural Product Reports*, 26, 90–114. <https://doi.org/10.1039/B801658P>
- Chen, D., & Qian, X. (2017). *A brief history of bacteria: The everlasting game between humans and bacteria* (p. 296). World Scientific Publishing Company.
- Chen, L., Wang, J. J., Zhang, G. G., Song, H. T., & Qin, L. P. (2009). A new cerebroside from *Gynura divaricata*. *Natural Product Research*, 23(14), 1330–1336. <https://doi.org/10.1080/14786410902836677>
- Chbel, A., Delgado, A. S., Soukri, A., & El Khalfi, B. (2021). Marine biomolecules: A promising approach in therapy and biotechnology. *European Journal of Biological Research*, 11(1), 122–133. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4384158>
- Conway, D. V. P. (2012). *Marine zooplankton of southern Britain. Part 2: Arachnida, Pycnogonida, Cladocera, Facetotecta, Cirripedia and Copepoda* (A. W. G. John, Ed.). Marine Biological Association of the United Kingdom. <https://doi.org/10.13140/2.1.4704.4800>
- Cui, Q., Lewis, I. A., Hegeman, A. D., Anderson, M. E., Li, J., Schulte, C. F., Westler, W. M., ve diğerleri. (2008). Metabolite identification via the Madison metabolomics consortium database. *Nature Biotechnology*, 26(2), 162–164. <https://doi.org/10.1038/nbt0208-162>
- Dadgostar, P. (2019). Antimicrobial resistance: Implications and costs. *Infection and Drug Resistance*, 12, 3903–3910. <https://doi.org/10.2147/IDR.S234610>
- Dash, H. R., Neelam, M., Chakraborty, J., Kumari, S., & Das, S. (2013). Marine bacteria: Potential candidates for enhanced bioremediation. *Applied*

- Microbiology and Biotechnology*, 97, 561–571.
<https://doi.org/10.1007/s00253-012-4555-6>
- Fakhri, S., Aneva, I. Y., Farzaei, M. H., & Sobarzo-Sánchez, E. (2019). The neuroprotective effects of astaxanthin: Therapeutic targets and clinical perspective. *Molecules*, 24(14), 2640.
<https://doi.org/10.3390/molecules24142640>
- Fattorusso, E., & Tagliatalata-Scafati, O. (Eds.). (2007). *Modern alkaloids*. Wiley.
- Ferrer-González, F. X., Widner, B., Holderman, N. R., Glushka, J., Edison, A. S., Kujawinski, E. B., et al. (2021). Resource partitioning of phytoplankton metabolites that support bacterial heterotrophy. *The ISME Journal*, 15, 762–773. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-00847-3>
- Gao, X. Y., Liu, Y., Miao, L. L., Li, E. W., Hou, T. T., & Liu, Z. P. (2017). Mechanism of anti-*Vibrio* activity of marine probiotic strain *Bacillus pumilus* H2, and characterization of the active substance. *AMB Express*, 7, 23. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0324-9>
- Getachew, A. T., Jacobsen, C., & Holdt, S. L. (2020). Emerging technologies for the extraction of marine phenolics: Opportunities and challenges. *Marine Drugs*, 18(8), 389. <https://doi.org/10.3390/md18080389>
- Ghorai, N., Chakraborty, S., Guchhait, S., Saha, S. K., & Biswas, S. (2012). Estimation of total terpenoids concentration in plant tissues using a monoterpene, Linalool as standard reagent. *Protocol Exchange*. <https://doi.org/10.1038/protex.2012.055>
- Giang, C. N. D., Sebesvari, Z., Renaud, F., Rosendahl, I., Minh, Q. H., & Amelung, W. (2015). Occurrence and dissipation of the antibiotics sulfamethoxazole, sulfadiazine, trimethoprim, and enrofloxacin in the Mekong Delta, Vietnam. *PLoS ONE*, 10(7), e0131855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131855>
- Giordano, D., Coppola, D., Russo, R., Verde, C., Denaro, R., Giuliano, L., Lauro, F. M., & Di Prisco, G. (2015). Marine microbial secondary metabolites: Pathways, evolution and physiological roles. *Advances in Microbial Physiology*, 66, 357–428.
<https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2015.05.002>

- Gokulan, K., Khare, S., & Cerniglia, C. (2014). Metabolic pathways. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 561–569). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00231-7>
- Griffiths, W. J., Koal, T., Wang, Y., Kohl, M., Enot, D. P., & Deigner, H. P. (2010). Targeted metabolomics for biomarker discovery. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(52), 5426–5445. <https://doi.org/10.1002/anie.200905579>
- Guillarme, D., Nguyen, D. T. T., Rudaz, S., & Veuthey, J. L. (2007). Recent developments in liquid chromatography—Impact on qualitative and quantitative performance. *Journal of Chromatography A*, 1149(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.014>
- Hamdache, A., Lamarti, A., Aleu, J., & Collado, I. G. (2011). Non-peptide metabolites from the genus *Bacillus*. *Journal of Natural Products*, 74, 893–899. <https://doi.org/10.1021/np100950s>
- Han, X., & Jiang, X. (2009). A review of lipidomic technologies applicable to sphingolipidomics and their relevant applications. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(1), 39–52. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200800117>
- Helfrich, E. J. N., Lin, G.-M., Voigt, C. A., & Clardy, J. (2019). Bacterial terpene biosynthesis: Challenges and opportunities for pathway engineering. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 15, 2889–2906. <https://doi.org/10.3762/bjoc.15.281>
- Hoffman, P. S. (2020). Antibacterial discovery: 21st century challenges. *Antibiotics*, 9(4), 213. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9040213>
- Kang, H. K., Seo, C. H., & Park, Y. (2015). Marine peptides and their anti-infective activities. *Marine Drugs*, 13(1), 618–654. <https://doi.org/10.3390/md13010618>
- Karygianni, L., Ren, Z., Koo, H., & Thurnheer, T. (2020). Biofilm matrixome: Extracellular components in structured microbial communities. *Trends in Microbiology*, 28(8), 668–681. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.03.016>
- Klein, G. L., Soum-Soutéra, E., Guede, Z., Bazire, A., Compère, C., & Dufour, A. (2011). The anti-biofilm activity secreted by a marine

- Pseudoalteromonas* strain. *Biofouling*, 27(9), 931–940. <https://doi.org/10.1080/08927014.2011.622278>
- Kokoulin, M. S., Kuzmich, A. S., Kalinovsky, A. I., Tomshich, S. V., Romanenko, L. A., Mikhailov, V. V., et al. (2016). Structure and anticancer activity of sulfated O-polysaccharide from marine bacterium *Cobetia litoralis* KMM 3880T. *Carbohydrate Polymers*, 154, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.099>
- Kokoulin, M. S., Kuzmich, A. S., Kalinovsky, A. I., Tomshich, S. V., Romanenko, L. A., Mikhailov, V. V., & Komandrova, N. A. (2016). Structure and anticancer activity of sulfated O-polysaccharide from marine bacterium *Cobetia litoralis* KMM 3880T. *Carbohydrate Polymers*, 154, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.036>
- Kelecom, A. (2002). Secondary metabolites from marine microorganisms. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74(1), 151–170. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652002000100012>
- Kers, J. G., Velkers, F. C., Fischer, E. A. J., Hermes, G. D. A., Stegeman, J. A., & Smidt, H. (2018). Host and environmental factors affecting the intestinal microbiota in chickens. *Frontiers in Microbiology*, 9, 235. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00235>
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 162750. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Lebeaux, D., Ghigo, J.-M., & Beloin, C. (2014). Biofilm-related infections: Bridging the gap between clinical management and fundamental aspects of recalcitrance toward antibiotics. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 78, 510–543. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00013-14>
- Limoli, D. H., Jones, C. J., & Wozniak, D. J. (2015). Bacterial extracellular polysaccharides in biofilm formation and function. *Microbiology Spectrum*, 3(3), 223–247. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.MB-0011-2014>
- Martins, B. T., da Silva, M. C., Pinto, M., Cidade, H., & Kijjoa, A. (2019). Marine natural flavonoids: Chemistry and biological activities. *Natural Product Research*, 33(22), 3260–3272. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1470514>

- Mnif, I., & Ghribi, D. (2015). High molecular weight bioemulsifiers: Main properties and potential environmental and biomedical applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31, 691–706. <https://doi.org/10.1007/s11274-015-1825-6>
- Moghaddam, J. A., Jautzus, T., Alanjary, M., & Beemelmans, C. (2021). Recent highlights of biosynthetic studies on marine natural products. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 19, 123–140. <https://doi.org/10.1039/d0ob01677b>
- Mondol, M. A. M., Shin, H. J., & Islam, M. T. (2013). Diversity of secondary metabolites from marine *Bacillus* species: Chemistry and biological activity. *Marine Drugs*, 11(8), 2846–2872. <https://doi.org/10.3390/md11082846>
- Murray, P. M., Moane, S., Collins, C., Beletskaya, T., Thomas, O. P., Duarte, A. W. F., *et al.* (2013). Sustainable production of biologically active molecules of marine-based origin. *New Biotechnology*, 30(6), 839–850. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.03.010>
- Naughton, L. M., Romano, S., O’Gara, F., & Dobson, A. D. W. (2017). Marine bacteria-derived bioactive molecules: New hope for drug discovery? *Frontiers in Microbiology*, 8, 1494. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01494>
- Nayfach, S., Roux, S., Seshadri, R., Udvary, D., Varghese, N., Schulz, F., *et al.* (2021). A genomic catalog of Earth’s microbiomes. *Nature Biotechnology*, 39, 499–509. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0718-6>
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3), 770–803. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285>
- Nguyen, T. V., Alfaro, A. C., Young, T., Green, S., Zarate, E., & Merien, F. (2019). Itaconic acid inhibits growth of a pathogenic marine *Vibrio* strain: A metabolomics approach. *Scientific Reports*, 9, 5937. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42485-0>

- Nowinski, B., & Moran, M. A. (2021). Niche dimensions of a marine bacterium are identified using invasion studies in coastal seawater. *Nature Microbiology*, 6, 524–532. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-00853-y>
- Omura, S., Ikeda, H., Ishikawa, J., Hanamoto, A., Takahashi, C., Shinose, M., ve diğerleri. (2001). Genome sequence of an industrial microorganism *Streptomyces avermitilis*: Deducing the ability of producing secondary metabolites. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(21), 12215–12220. <https://doi.org/10.1073/pnas.211433198>
- Omuzbükten, B. (2022). *Denizel bakterilerin beta glukozidaz inhibitörü üretiminin araştırılması* (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Olishevskaya, S., Nickzad, A., & Déziel, E. (2019). *Bacillus* and *Paenibacillus* secreted polyketides and peptides involved in controlling human and plant pathogens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 1–27. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9541-0>
- Payne, D. J., Gwynn, M. N., Holmes, D. J., & Pompliano, D. L. (2006). Drugs for bad bugs: Confronting the challenges of antibacterial discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, 6(1), 29–40. <https://doi.org/10.1038/nrd2201>
- Peele, K. A., Ch, V. R. T., & Kodali, V. P. (2016). Emulsifying activity of a biosurfactant produced by a marine bacterium. *3 Biotech*, 6, 177. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0505-z>
- Pettit, R. K. (2011). Small-molecule elicitation of microbial secondary metabolites. *Microbial Biotechnology*, 4(4), 471–478. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2010.00196.x>
- Pettit, G. R., Knight, J. C., Herald, D. L., Pettit, R. K., Hogan, F., Mukku, V. J., Hamblin, J. S., Dodson, M. J., & Chapuis, J. C. (2009). Antineoplastic agents. 570. Isolation and structure elucidation of bacillistatins 1 and 2 from a marine *Bacillus silvestris*. *Journal of Natural Products*, 72(2), 366–371. <https://doi.org/10.1021/np800642d>
- Phelan, R. W., Barret, M., Cotter, P. D., O'Connor, P. M., Chen, R., Morrissey, J. P., Dobson, A. D., O'Gara, F., & Barbosa, T. M. (2013). Subtilomycin: A new lantibiotic from *Bacillus subtilis* strain MMA7 isolated from the

- marine sponge *Haliclona simulans*. *Marine Drugs*, 11(6), 1878–1898.
<https://doi.org/10.3390/md11061878>
- Piel, J., Hui, D., Wen, G., Butzke, D., Platzer, M., Fusetani, N., *et al.* (2004). Antitumor polyketide biosynthesis by an uncultivated bacterial symbiont of the marine sponge *Theonella swinhoei*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(46), 16222–16227.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0405976101>
- Pinu, F. R., Villas-Boas, S. G., & Aggio, R. (2017). Analysis of intracellular metabolites from microorganisms: Quenching and extraction protocols. *Metabolites*, 7(4), 53. <https://doi.org/10.3390/metabo7040053>
- Poretsky, R. S., Hewson, I., Sun, S. L., Allen, A. E., Zehr, J. P., & Moran, M. A. (2009). Comparative day/night metatranscriptomic analysis of microbial communities in the North Pacific subtropical gyre. *Environmental Microbiology*, 11, 1358–1375.
<https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01863.x>
- Proksch, P., Ebel, R., Edrada, R. A., Wray, V., & Steube, K. (2003). Bioactive natural products from marine invertebrates and associated fungi. In W. E. G. Müller (Ed.), *Marine Molecular Biotechnology: Sponges (Porifera)* (pp. xx–xx). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-06012-3>
- Reynolds, W. F. (2017). Natural product structure elucidation by NMR spectroscopy. In S. Badal & R. Delgoda (Eds.), *Pharmacognosy fundamentals, applications and strategies* (29th ed., pp. 567–596). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00029-9>
- Rivetti, I., Frascchetti, S., Lionello, P., Zambianchi, E., & Boero, F. (2014). Global warming and mass mortalities of benthic invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 9(12), e115655.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115655>
- Rodrigues, S., Paillard, C., Dufour, A., & Bazire, A. (2014). Antibiofilm activity of the marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp. 3J6 against *Vibrio tapetis*, the causative agent of Brown Ring Disease. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 7(1), 45–51.
<https://doi.org/10.1007/s12602-014-9178-5>

- Rosenblum, E. S., Viant, M. R., Braid, B. M., Moore, J. D., Friedman, C. S., & Tjeerdema, R. S. (2005). Characterizing the metabolic actions of natural stresses in the California red abalone, *Haliotis rufescens* using ¹H NMR metabolomics. *Metabolomics*, 1, 199–209. <https://doi.org/10.1007/s11306-005-4428-3>
- Rudolf, J. D., & Chang, C. Y. (2020). Bacterial terpene biosynthesis. *Natural Product Reports*, 37(4), 425–463. <https://doi.org/10.1039/C9NP00024G>
- Saito, K., & Matsuda, F. (2010). Metabolomics for functional genomics, systems biology, and biotechnology. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 463–489. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.043008.092035>
- Salazar, G., Paoli, L., Alberti, A., Huerta-Cepas, J., Ruscheweyh, H.-J., Cuenca, M., et al. (2019). Gene expression changes and community turnover differentially shape the global ocean metatranscriptome. *Cell*, 179(5), 1068–1083. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.10.014>
- Satheesh, S., Ba-Akdah, M. A., & Al-Sofyani, A. A. (2016). Natural antifouling compound production by microbes associated with marine macroorganisms—A review. *Electronic Journal of Biotechnology*, 21, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2016.01.002>
- Schirmer, A., Gadkari, R., Reeves, C. D., Ibrahim, F., DeLong, E. F., & Hutchinson, C. R. (2005). Metagenomic analysis reveals diverse polyketide synthase gene clusters in microorganisms associated with the marine sponge *Discodermia dissoluta*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(8), 4840–4849. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.8.4840-4849.2005>
- Schneider, K., Nachtigall, J., Hänchen, A., Nicholson, G., Goodfellow, M., Süßmuth, R. D., et al. (2009). Lipocarbazoles, secondary metabolites from *Tsukamurella pseudospumae* Acta 1857 with antioxidative activity. *Journal of Natural Products*, 72(10), 1768–1772. <https://doi.org/10.1021/np900356c>
- Schneiker, S., dos Santos, V. A. P. M., Bartels, D., Bekel, T., Brecht, M., Buhrmester, J., Chernikova, T. N., Denaro, R., Ferrer, M., Gertler, C., Goesmann, A., Golyshina, O. V., Kaminski, F., Khachane, A. N., Lang, S., Linke, B., McHardy, A. C., Meyer, F., Nechitaylo, T., ... Golyshin, P. N. (2006). Genome sequence of the ubiquitous hydrocarbon-degrading

- marine bacterium *Alcanivorax borkumensis*. *Nature Biotechnology*, 24(8), 997–1004. <https://doi.org/10.1038/nbt1232>
- Scott, L. T. (2024). The potential of marine biotechnology. *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/potential-marine-biotechnology-leneka-t-rhoden-mba-mpm-bsc-hons--hz7jf/> (Erişim tarihi: 29.04.2025)
- Schroer, W. F., Kepner, H. E., Uchimiya, M., Mejia, C., Rodriguez, L. T., Reisch, C. R., & Moran, M. A. (2023). Functional annotation and importance of marine bacterial transporters of plankton exometabolites. *ISME Communications*. <https://doi.org/10.1038/s43705-023-00244-6>
- Sedeek, A. M., Ismail, M. M., Elsayed, T. R., & Ramadan, M. A. (2022). Evaluation of the marine bacterial population in the Great Bitter Lake, Egypt, as a source of antimicrobial secondary metabolites. *Fermentation*, 8(7), 309. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070309>
- Sharma, D., Misba, L., & Khan, A. U. (2019). Antibiotics versus biofilm: An emerging battleground in microbial communities. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 8, 76. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0533-3>
- Shoda, M. (2000). Bacterial control of plant diseases. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 89, 515–521. [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(00\)80055-2](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(00)80055-2)
- Singh, B. P., Rateb, M. E., Rodriguez-Couto, S., De Lourdes Teixeira De Moraes Polizeli, M., & Li, W. J. (2019). Editorial: Microbial secondary metabolites: Recent developments and technological challenges. *Frontiers in Microbiology*, 10, 914. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00914>
- Sowell, S. M., Wilhelm, L. J., Norbeck, A. D., Lipton, M. S., Nicora, C. D., Barofsky, D. F., et al. (2009). Transport functions dominate the SAR11 metaproteome at low-nutrient extremes in the Sargasso Sea. *The ISME Journal*, 3, 93–105. <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.92>
- Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: Structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, 56, 845–857. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x>
- Tanaka, Y., Nishikawa, M., Kamisaki, K., Hachiya, S., Nakamura, M., Kuwazuru, T., Tanimura, T., Soyano, S. K., & Takeda, K. (2022).

- Marine-derived microbes and molecules for drug discovery. *Inflammation and Regeneration*, 42(18). <https://doi.org/10.1186/s41232-022-00207-9>
- Tchigvintsev, A., Tran, H., Popovic, A., Kovacic, F., Brown, G., Flick, R., *et al.* (2015). The environment shapes microbial enzymes: Five cold-active and salt-resistant carboxylesterases from marine metagenomes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 2165–2178. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6151-3>
- Tran, P. N., Yen, M. R., Chiang, C. Y., Lin, H. C., & Chen, P. Y. (2019). Detecting and prioritizing biosynthetic gene clusters for bioactive compounds in bacteria and fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(8), 3277–3287. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09694-z>
- Udwary, D. W., Zeigler, L., Asolkar, R. N., Singan, V., Lapidus, A., Fenical, W., *et al.* (2007). Genome sequencing reveals complex secondary metabolome in the marine actinomycete *Salinispora tropica*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(25), 10376–10381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0700962104>
- Wang, R., Zhao, H., Pan, X., Orfila, C., Lu, W., & Ma, Y. (2019). Preparation of bioactive peptides with antidiabetic, antihypertensive, and antioxidant activities and identification of α -glucosidase inhibitory peptides from soy protein. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1848–1856. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1038>
- Wang, M., Carver, J. J., Phelan, V. V., Sanchez, L. M., Garg, N., Peng, Y., *et al.* (2016). Sharing and community curation of mass spectrometry data with Global Natural Products Social Molecular Networking. *Nature Biotechnology*, 34, 828–837. <https://doi.org/10.1038/nbt.3597>
- Wang, G., Li, X., & Wang, Z. (2015). APD3: The antimicrobial peptide database as a tool for research and education. *Nucleic Acids Research*, 44(D1), D1087–D1093. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1278>
- Wang, C. K., Kaas, Q., Chiche, L., & Craik, D. J. (2007). CyBase: A database of cyclic protein sequences and structures, with applications in protein discovery and engineering. *Nucleic Acids Research*, 36(Database issue), D206–D210. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm1005>

- Wang, J., Yin, T., Xiao, X., He, D., Xue, Z., Jiang, X., & Wang, Y. (2018). StraPep: A structure database of bioactive peptides. *Database*, 2018, bay038. <https://doi.org/10.1093/database/bay038>
- Wang, L. L., Hao, S., Zhang, S., Guo, L. J., Hu, C. Y., Zhang, G., Gao, B., Zhao, J. J., Jiang, Y., Tian, W. G., *et al.* (2017). PTEN/PI3K/AKT protein expression is related to clinicopathologic features and prognosis in breast cancer with axillary lymph node metastases. *Human Pathology*, 61, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.humpath.2016.07.022>
- Weinheimer, A. J., & Spraggins, R. L. (1969). The occurrence of two new prostaglandin derivatives (15-epi-pGA2 and its acetate, methyl ester) in the gorgonian *Plexaura homomalla*. *Chemistry of Coelenterates. Tetrahedron Letters*, 10(15), 5185–5188. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)88918-8](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)88918-8)
- Wiese, J., & Imhoff, J. F. (2019). Marine bacteria and fungi as promising source for new antibiotics. *Drug Development Research*, 80(1), 24–27. <https://doi.org/10.1002/ddr.21475>
- Witkowski, S., & Wawer, I. (2013). NMR spectroscopy in drug and natural product analysis. In V. Andrushko & N. Andrushko (Eds.), *Stereoselective synthesis of drugs and natural products*. <https://doi.org/10.1002/9781118596784.ssd049>
- Xiao, J. F., Zhou, B., & Ransom, H. W. (2012). Metabolite identification and quantitation in LC-MS/MS-based metabolomics. *Trends in Analytical Chemistry*, 32(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.08.009>
- Yoo, J., Zheng, C., Lee, S., Kwak, J., & Kim, W. (2006). Macrolactin N, a new peptide deformylase inhibitor produced by *Bacillus subtilis*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 16(19), 4889–4892. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2006.07.039>
- Zhou, S., & Huang, G. (2020). The synthesis and biological activity of marine alkaloid derivatives and analogues. *RSC Advances*, 10, 31909–31931. <https://doi.org/10.1039/D0RA05856D>

BÖLÜM 2

***Matricaria chamomilla* L.: FİTOKİMYASAL BİLEŞENLERİ, BİYOLOJİK ETKİLERİ ve UYGULAMA ALANLARI**

İbrahim CANBEY¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385502>

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye. ibrahim.canbey.gmuh@gmail.com, orcid id: 0000-0003-2568-0885

1. *Matricaria chamomilla* L.’NİN TANIMI ve ÖZELLİKLERİ

Papatya, insanlığın bildiği en eski tıbbi bitkilerden biridir (Srivastava vd., 2010). Önemli bir papatya türü olan *Matricaria chamomilla* L., Asteraceae familyasına mensup iyi bilinen bir tıbbi ve aromatik bitkidir (Akram vd., 2024). Bitki, *Matricaria recutita* L. ve *Chamomilla recutita* L. Latince isimleriyle de bilinmektedir (Sharafzadeh ve Alizadeh, 2011; Höferl vd., 2020; Abbas vd., 2021). Bu papatya türü, yaygın şekilde Alman papatyası olarak adlandırılır (Tsivelika vd., 2018; Masłowski vd., 2021). Bunun yanı sıra mavi papatya, papatya, Macar papatyası, *Matricaria*, kokulu papatya, gerçek papatya ve yabani papatya isimleriyle de bilinir (Al-Snafi ve Hasham, 2023).

Tıbbi ve hoş kokulu özellikleri sayesinde “tıbbi bitkilerin yıldızı” olarak anılmaktadır (Jeshni vd., 2015; Ali vd., 2020). Bu bitkinin adı, Yunanca “Chamos” (yer, toprak) ve “Melos” (elma) kelimelerinden türetilmiştir (Sharafzadeh ve Alizadeh, 2011; Murti vd., 2012). Yunanca “chamaimelon” kelimesi, “yer elması” anlamına gelmektedir (Akram vd., 2024). Bu ifadeler, papatya bitkisinin yavaş büyüme özelliğine ve taze çiçeklerinin elma benzeri kokusuna atıfta bulunmaktadır (Sharafzadeh ve Alizadeh, 2011).

Yıllık veya kısa ömürlü çok yıllık, tüysüz bir bitki olan *M. chamomilla*’nin gövdesi, 10 cm - 60 cm boyunda, dik, çizgili ve üst kısımlarda oldukça dallıdır. Disk çiçekleri çok sayıda, sarı renkte ve tübüler yapıdadır (Marković vd., 2020; Al-Snafi ve Hasham, 2023). Bitkinin çiçekleri, yoğun bir aromatik kokuya sahiptir (Satyal vd., 2015). Papatya, tohumdan fide yoluyla veya doğrudan ekim yoluyla yetiştirilebilir (Mohammad vd., 2010). Bu bitkinin yetiştiriciliğine yönelik tarımsal uygulamalar, sürekli olarak geliştirilmektedir (Yassein vd., 2021).

Tüm toprak türlerinde yetişebilen, soğuğa dayanıklı bir bitki türü olan *M. chamomilla*, güney ve doğu Avrupa ile kuzey ve batı Asya’ya özgü olup günümüzde dünyanın her yerinde yayılım göstermektedir (El Mihyaoui vd., 2022; Saeedi vd., 2024). Papatya, ekonomik değeri yüksek bir tıbbi bitkidir (Yassein vd., 2021). Macaristan’da, düşük verimli topraklarda da bol miktarda yetişen papatya, bu bölgelerde yaşayan dar gelirli halk için önemli bir gelir kaynağı haline dönüşmüştür (Singh vd., 2011). Yüksek tıbbi ve endüstriyel önemi sayesinde papatya yetiştiriciliği, birçok bölgede yaygın olarak gerçekleştirilmektedir (Yassein vd., 2021). Türkiye’de de doğal olarak yetişen

bu tür, mayıs papatyası olarak adlandırılır ve önemli bir tıbbi ve aromatik bitki olarak nitelendirilir (Baser, 2006). Türkiye’de bir bölgede kırlarda açmış olan papatya örnekleri, Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İlkbaharda kırlarda açmış papatyalar.

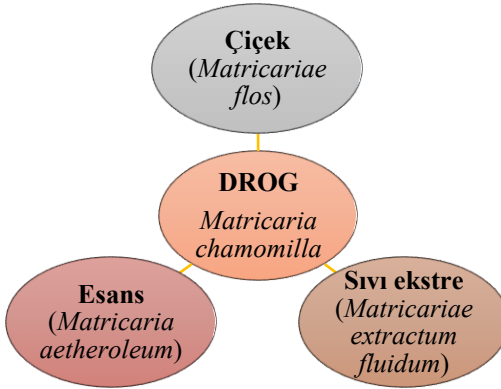
Mayıs papatyası, duyuşal özelliklerinin yanı sıra sağık üzerinde biyolojik özelliklere de sahip olduğı için ayrıca tıbbi papatya olarak tanımlanır ve *M. chamomilla* L.’nin esasen kurutulmuş çiçeklerine tıbbi papatya denilmektedir (Şekil 2) (Baser, 2006). Kurutulmuş çiçekleri, sahip olduğı tıbbi özelliklerine katkıda bulunan birçok terpenoit ve flavonoit bileşiklerini içerir. Tıbbi bileşenleri kuru çiçeklerden elde edebilmek amacıyla çözücü olarak su, etanol veya metanol kullanılır ve bu şekilde hazırlanan ekstreler sırasıyla; sulu, etanolik (alkollü) ve/veya metanolik ekstraktlar olarak adlandırılmaktadır (Srivastava vd., 2010).



Şekil 2. Papatyanın kurutulmuş çiçekleri.

Kurutulmuş çiçeklerden bileşiklerin elde edilmesinde, yöntem kadar kurutma işlemi de çok önemli bir parametredir. Papatyanın 35°C ila 95°C arasındaki farklı sıcaklıklarda kurutulmasının, UY'ın verimi ve bileşimi üzerinde önemli değişimlere yol açtığı ve 95°C'de uygulanan kurutma işleminde çiçeklerin istenmeyen bir karamel rengini aldığı ifade edilmiştir (Abbas vd., 2021).

Papatyanın hem kurutulmuş çiçek başları hem de bunlardan elde edilen uçucu yağı (UY'ı), tıbbi drog olarak kullanılmaktadır (Höferl vd., 2020). Papatyanın drog olarak kullanımında, farmakopede (Avrupa için) bu amaçla üç formunun (Şekil 3) değerlendirildiği bildirilmiştir (Baser, 2006).



Şekil 3. *M. chamomilla*'nın drog olarak kullanılan formları (Baser, 2006 kaynağındaki bilgiler ışığında oluşturulmuştur).

M. recutita L., esasen UY'ı için yetiştirilir (Jeshni vd., 2015). Bitkinin çiçekleri ve yaprakları, UY içerir (Costescu vd., 2008). UY'lar, genel olarak distilasyon yöntemiyle edilir, ancak farklı yöntemler de kullanılabilir (Gamal El-Din vd., 2022; Żukowska ve Durczynska, 2024; Canbey, 2025a; Canbey, 2025b; Ince vd., 2025). Özellikle UY'ın damıtılması amacıyla papatyanın çiçekleri, toplu olarak Almanya'ya ihraç edilir (Singh vd., 2011). Bitkinin UY'ı, monoterpenlerden ziyade seskiterpen bileşiklerden oluşmaktadır (Şahin vd., 2023). Papatyanın UY'ındaki majör bileşik, prokamazulen olup bu fitokimyasal, yüksek sıcaklık altında kamazulen bileşiğine dönüşür (Costescu vd., 2008). Kamazulen gibi bir diğer majör fitokimyasallar, α -bisabolol (terpenoit) ve bunun oksit türevleridir (Abad vd., 2013). Ayrıca, bitkinin UY'ındaki bir diğer önemli terpenoit, β -farnesendir (El Mihyaoui vd., 2022).

Terpenoitler, doğada yaygın olarak bulunan ve mevalonat ile isopentenil pirofosfattan türeyen lipofilik sekonder metabolitler sınıfını oluşturmaktadır (Kamatou ve Viljoen, 2010).

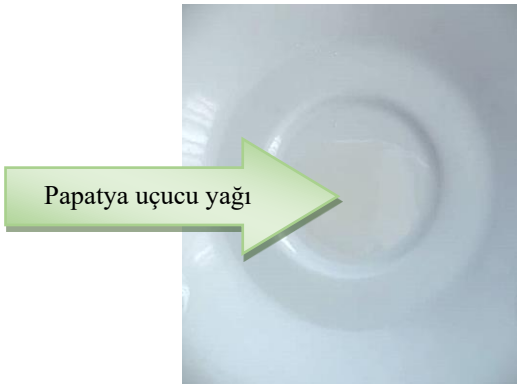
Papatyanın tıbbi ve farmakolojik etkileri, öncelikle antispazmodik, antimikrobiyal ve dezenfektan özellikleri sayesinde UY içeriği ile ilişkilendirilmektedir (Shams-Ardakani vd., 2006; Murti vd., 2012). Bu bağlamda, papatyanın UY'ı ve çiçekli başları antienflamatuvar, antibakteriyel, antiseptik, spazm giderici ve sedatif amaçlarla kullanılmaktadır (Akram vd., 2024). Genel olarak papatyanın UY'ı, çoğunlukla gıda, kozmetik ve ilaç sanayilerinde değerlendirilmektedir (Shams-Ardakani vd., 2006; Mohammad, 2011; Ghasemi vd., 2016a; Homami vd., 2016).

Papatya, UY'nın yanı sıra bitkisel çay üretimi ve farmakolojik ve kozmetik alanlardaki kullanımlar için ticari olarak birçok ülkede yetiştirilir (Akram vd., 2024). Papatya çiçekleri bitki çayları, kozmetik ürünler, alkollü içecekler ve fırıncılık ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yerli kimya ve gıda endüstrilerinde papatyaya olan talep giderek artmaktadır (Abbas vd., 2021). *M. chamomilla* çiçekleri, çeşitli ticari ürünlerde kullanılan aromatik, renklendirici ve tat verici özelliklere sahiptir (Eddin vd., 2022). Bu tür, en yaygın tek bileşenli bitki çaylarından (ptisan) biri olarak bilinmektedir. Kurutulmuş çiçek başlarından demlenen papatya çayı, geleneksel olarak tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Abad vd., 2013). Ayrıca, Avrupa'da papatya çiçeği ekstrelerinden elde edilen tablet formlarında ürünler pazarlanmakta ve çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Singh vd., 2011).

Bitkinin çiçek başlarından elde edilen UY; aroma verici ve renklendirici özellikleri ile karakterize edilmekte ve bu özellikleri sayesinde; merhemler, unlu mamuller, şekerlemeler, içecekler ve bitki çayları gibi ticari ürünlerde endüstriyel anlamda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Ayrıca günümüzde içecekler, deterjanlar, parfümler, saç bakım ürünleri, infüzyonlar, losyonlar ve sabunlar dahil olmak üzere çeşitli papatya içerikli ticari ürünler piyasada bulunmaktadır (Abad vd., 2013).

2. *Matricaria chamomilla* L.'nin FİTOKİMYASAL BİLEŞENLERİ ve BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

M. chamomilla L., çiçek başlarından hidrodestilasyonla elde edilen aromatik özellikte UY'a sahip bir bitki türüdür (Zengin vd., 2023). Papatya çiçek başının bileşiminde, kütlece yaklaşık %0,5 ila %1,5 oranında UY bulunmaktadır (Murti vd., 2012). Bitkiden buharla distilasyon yöntemiyle %0,5-%1,5 oranlarında elde edilen UY miktarının Avrupa Farmakopesi'nde, 0,4 ml/kg'ın altına düşmesi istenilmez (Baser, 2006). Genel olarak *M. chamomilla*'nın UY'ı mavi renklidir (Gupta vd., 2010; Satyal vd., 2015; Zengin vd., 2023). İçerdiği kamazulen bileşiği sayesinde mavi renkte olan UY, zamanla oksidasyona uğrayarak önce yeşile, ardından kahverengiye dönüşebilmektedir (Srivastava vd., 2010; Satyal vd., 2015). Ancak, Türkiye'deki mayıs papatyası varyetelerinin UY'ları açık sarı renklidir (Şekil 4) (Baser, 2006).



Şekil 4. Papatyanın UY örneği.

M. chamomilla; genel olarak yağlar, steroller, triterpenler, flavonoidler, saponinler, tanenler, alkaloidler, şekerler, proteinler, müsinler, seskiterpenler, kumarinler, poliasetilenler, fenil karboksilik asitler, amino asitler, fitosteroller, kolin ve mineral maddeler gibi birçok önemli besin unsurunu ve biyoaktif bileşiği içermektedir (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Fito-kimyasal analizler, apigenin ve luteolin gibi flavonoidler ve bunların glikozitleri ile herniarin ve umbelliferon gibi kumarinler bulunduğunu göstermektedir (Höferl vd., 2020). Papatyanın kuru çiçeklerinden standartlaştırılmış ekstratlar, en etkili biyoaktif bileşenlerden biri olan apigenini %1,2 oranında bulundurmaktadır. Çay

formunda olanlar gibi sulu ekstratlar ise, serbest apigenin bakımından oldukça düşük düzeylerde bileşen içerirken, apigenin-7-O-glukozit bakımından yüksek içeriğe sahiptir (Srivastava vd., 2010).

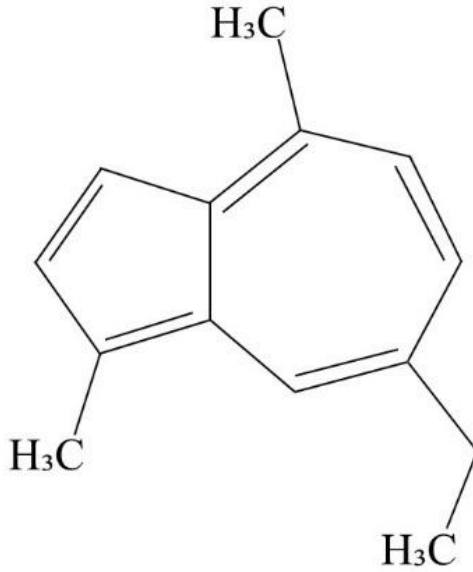
Araştırmacılar, Alman papatyasının farmakolojik etkisinin esas olarak içerdiği UY'larla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Sharafzadeh ve Alizadeh, 2011; Höferl vd., 2020). Özellikle UY'ı oluşturan ve tıbbi açıdan en önemli bileşik grubu; α -bisabolol, bisabolol oksitleri ve kamazulenden meydana gelmektedir. (Shams-Ardakani vd., 2006). Ayrıca, β -farnesen ve farnesol gibi bileşikler de baskın şekilde bulunmaktadır (Şahin vd., 2023). Bunlara ek olarak bitkinin bileşiminde; tanenler, anthemik asit, kolin, polisakkaritler ve fitoöstrojenler gibi diğer biyoaktif bileşenler de yer almaktadır. Bu fitokimyasallar, papatyanın farmakolojik etkilerinden sorumlu olan temel bileşenler olarak değerlendirilmektedir (Ghasemi vd., 2016a). Daha detaylı bir şekilde ifade edilirse; *M. chamomilla* L.'nin etkin bileşenleri, Şekil 5'de gösterildiği şekildedir:

Terpenoitler	• α -bisabolol, α -bisabolol oksit A ve B, kamazulen ve çeşitli seskiterpenler
Kumarinler	• Umbelliferon
Flavonoitler	• Luteolin, apigenin ve kuersetin
Spiroeterler	• En-yn disikloeter

Şekil 5. *M. chamomilla* L.'nin temel etkin bileşenleri (Murti vd., 2012 ve Ghasemi vd., 2016a kaynaklarındaki bilgiler ışığında oluşturulmuştur).

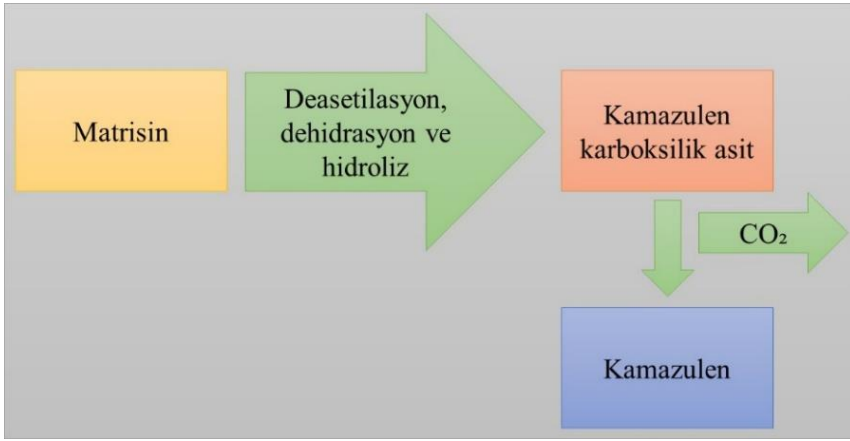
2.1. Kamazulenin Biyolojik Etkileri ve Kullanım Alanları

Kamazulen (1,4-dimetil-7-etilazulen), moleküler formülü $C_{14}H_{16}$ olan bisiklik doymamış bir hidrokarbondur (Şekil 6) (Gabbanini vd., 2024). Bu bisiklik seskiterpenoit polialken bileşiği, dünyada sınırlı sayıda bitki yapısında bulunmakta olup dünyada kamazulen kaynağı olarak en çok yetiştirilen bitki, *M. recutita* L.'dir (Erbaş vd., 2023).



Şekil 6. Kamazulen bileşiğinin kimyasal yapısı (Şahin vd., 2023 kaynağından bakılarak çizilmiştir).

Kamazulen, bitkilerden doğal olarak elde edilen bir bileşik olmayıp termal etkiye maruz kalma sonucunda bitki içerisinde oluşmaktadır (Erbaş vd., 2023). Renkli bir azulen türevidir olan kamazulen, buhar distilasyonu sırasında renksiz bir seskiterpen olan matrisinin termal bozunmasıyla oluşan mavi-mor renkli bir bileşiktir (Höferl vd., 2020; Gabbanini vd., 2024). Matrisin, seskiterpen yapılı bir laktondur (Şahin vd., 2023). Buharla distilasyon yöntemiyle kolayca kamazulen karboksilik aside ve daha sonra kamazulene dönüşür (Şekil 7) (Gabbanini vd., 2024). Ayrıca, kamazulen, saf matrisin bileşiğinin oral yolla alınmasının ardından oluşmaktadır (Şahin vd., 2023).



Şekil 7. Kamazulen bileşiğinin oluşum mekanizması (Gabbanini vd., 2024 kaynağındaki bilgiler ışığında oluşturulmuştur).

Kamazulen, bileşiminde bulunduğu UY'a derişimine bağılı olarak mavi bir renk kazandırmaktadır (Erbaş vd., 2023). Bu bileşiğin neden olduğı koyu mavi renk, kamazulen içeren UY'ların ilgi görmesinde ve değerin belirlenmesinde temel bir nitelik olarak kabul edilmektedir (Gabbanini vd., 2024). Ancak hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilen UY, depolama sırasında zamanla okside olarak istenmeyen koyu sarı renge dönüşebilir (Srivastava vd., 2010). Çünkü kamazulen, kararsız bir bileşik olup özellikle ışık etkisiyle hızlanan bir süreçle kendiliğinden bozulma eğilimindedir (Gabbanini vd., 2024). Kararsız yapıda olmalarından dolayı kamazulen ve bisabolol bileşenleri, en iyi şekilde alkol bazlı tentür formunda muhafaza edilebilmektedir (Srivastava vd., 2010).

Bu niteliklerine ilaveten kamazulenin birçok önemli biyolojik aktivitesi bulunmaktadır (Gabbanini vd., 2024). Kamazulen içeren UY; antienflamatuvar, antikataral, antimikrobiyal, antiseptik, bakteriyostatik, dezenfektan (deodorant), gaz giderici (karminatif), sedatif ve spazmolitik özelliklere sahiptir (Erbaş vd., 2023). Yapılan bir çalışmada kamazulen bileşiğinin alkol kaynaklı karaciğer hasarına karşı koruyucu etki gösterdiği ve etanol kaynaklı karaciğer hasarına karşı, oksidatif stresi azaltma ve inflamasyonu önleme yoluyla anlamlı düzeyde hepatoprotektif etki sergilediği ifade edilmiştir (Wang vd., 2020). Ayrıca, bitkisel ilaçlar ve kozmetik ürünlerinde antienflamatuvar ajan olarak değerlendirilmektedir (Erbaş vd., 2023). Papatyanın geleneksel tıpta enflamatuvar hastalıklara karşı başarılı bir

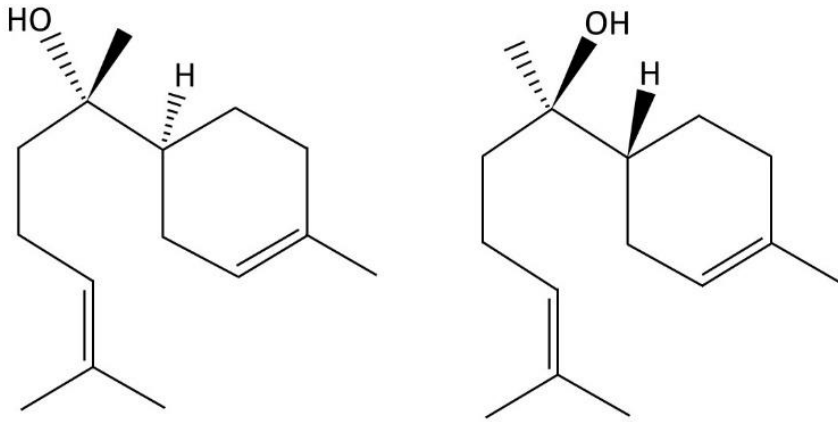
şekilde kullanılması, kamazulen ve matrisin bileşiklerinin varlığıyla ilişkilendirilmiştir (Şahin vd., 2023). Bu tip biyolojik özellikleri sayesinde kamazulen; kozmetik, aromaterapi, gıda, tıp ve tarım gibi birçok endüstride farklı amaçlarla kullanılan çok yönlü bir bileşiktir (Şekil 8) (Erbaş vd., 2023).

Kozmetik	Kamazulen, cilt ve saç bakım ürünlerinde özellikle antienflamatuvar ve antioksidan etkileri sayesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda, cilt tahrişlerini ve iltihaplanmayı azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca cildin nem dengesini korur ve saçların sağlıklı bir şekilde uzamasına katkıda bulunur. Bunun yanı sıra mavi renge sahip olması, kozmetik ürünlerinde renklendirici olarak değerlendirilmesine olanak tanır.
Aromaterapi	Kamazulen, UY'lar ve aromaterapi ürünlerinde sıkça kullanılan bir bileşiktir. Stresin azaltılmasına ve zihinsel sakinliğin sağlanmasına katkıda bulunur ve baş ağrısı, migren ve uykusuzluk gibi rahatsızlıklara karşı etkilidir.
Tıp	Kamazulen, bazı alternatif tıp uygulamalarında da kullanılmaktadır. Özellikle antienflamatuvar ve analjezik özellikleri sayesinde romatizmal hastalıkların tedavisinde ve cilt tahrişleri ile yaraların iyileştirilmesinde tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra astım, bronşit ve alerjik reaksiyonlar gibi solunum yolu rahatsızlıklarının tedavisinde de bu bileşikten faydalanılmaktadır.
Gıda Endüstrisi	Kamazulen, gıda ürünlerinde aroma verici ve renklendirici madde olarak değerlendirilebilmektedir. Özellikle dondurma, kek, pasta ve şekerleme üretiminde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.
Tarım	Kamazulen, doğal bir pestisit olarak zararlı böcek ve organizmaların kontrolünde kullanılabilir. Özellikle tarım ürünlerinde zararlıların kontrolü ve tarımsal endüstride geniş çaplı kullanımı söz konusudur.

Şekil 8. Kamazulen bileşiğinin farklı alanlarda kullanımları (Erbaş vd., 2023 kaynağındaki bilgiler ışığında oluşturulmuştur).

2.2. α -Bisabololün Biyolojik Etkileri ve Kullanım Alanları

Alfa-bisabolol (α -bisabolol), monosiklik bir seskiterpen alkoldür (Alves Gomes Albertti vd., 2018) ve dünya genelinde en yaygın kullanılan bitkisel bileşenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Ramazani vd., 2022). α -Bisabolol, birçok yenilebilir ve süs bitkisinin UY'larından doğal olarak elde edilmektedir (Eddin vd., 2022). α -Bisabolol, doğal olarak oluşur ve ilk olarak 20. yüzyılda *M. chamomilla* türünden izole edilmiştir (Kamatou ve Viljoen, 2010; Alves Gomes Albertti vd., 2018). Bileşik, papatyanın çiçek tomurcuklarında bol miktarda bulunur (Eddin vd., 2022). α -Bisabolol, daha sonraları *Eremanthus erythropappus*, *Smyrniopsis aucheri* ve *Vanillosmopsis* türleri gibi diğer aromatik bitkilerde de tespit edilmiştir. Yakın dönemde ise, Güney Afrika'ya özgü bir bitki türü olan *Salvia runcinata*'nın UY'ında başlıca bileşen olarak belirlenmiştir (Kamatou ve Viljoen, 2010). İki kiral merkezin olmasından dolayı, bitki türlerinde dört adet stereoisomer tespit edilmiş olup bisabololün en biyoaktif formu, (4S, 8S) konfigürasyonuna sahip olan (-)- α -bisabololdür. Şekil 9'da α -bisabololün (-) ve (+) formlarının kimyasal yapıları gösterilmektedir (Alves Gomes Albertti vd., 2018).



Şekil 9. (-)- α -bisabolol (sol) ve (+)- α -bisabolol (sağ) bileşiklerinin kimyasal yapıları (Alves Gomes Albertti vd., 2018 kaynağından bakılarak çizilmiştir).

Seskiterpenler, geleneksel tıpta kullanılan çeşitli tıbbi bitkilerde bulunan aktif bileşenler olarak tanımlanmış olup anti-infektif, antioksidan, antienflamatuvar, antikanser ve antikolinesteraz gibi geniş bir biyolojik aktivite yelpazesine sahiptir (Kamatou ve Viljoen, 2010; Eddin vd., 2022). Bu

bağlamda α -bisabololün antikanser, antinosiseptif, nöroprotektif, kardiyoprotektif ve antimikrobiyal özellikler dahil olmak üzere çok sayıda farmakolojik etkisi bulunmaktadır (Eddin vd., 2022). Ayrıca analjezik ve antibiyotik özellikler de sergileyen α -bisabololün (Kamatou ve Viljoen, 2010); oksidatif stres, enflamatuvar hastalıklar, enfeksiyonlar, nörodejeneratif bozukluklar, kanserler ve metabolik hastalıkların önlenmesinde çeşitli terapötik ve biyolojik etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Ramazani vd., 2022). Bunlara ilaveten antitümoral bir bileşik olan α -bisabolol, güçlü bir pro-apoptotik moleküldür ve farelerde meme tümör kütesinin azalmasını sağlamaktadır (Chirumbolo, 2015).

α -(-)-Bisabolol, dekoratif kozmetikler, ince kokular, şampuanlar ve diğer kişisel bakım ürünlerinde kullanılır (Kamatou ve Viljoen, 2010). Bisabololün kozmetik endüstrisi tarafından yüksek oranda değerlendirilmesinde; antibakteriyel, antienflamatuvar, cilt yatıştırıcı ve yara iyileştirici özellikleri etkili olmaktadır (Alves Gomes Albertti vd., 2018). Benzer şekilde bisabolol, cilt yatıştırıcı etkileri, iyi belgelenmiş dermal emilimi ve uygulamasını takiben ciltte irritasyon veya fotosensitivite oluşturmaması nedeniyle birçok kozmetik formülasyonda cilt kondisyonlayıcı ajan olarak kullanılmaktadır (Eddin vd., 2022). Özellikle yara iyileştirici ve cilt permeasyonunu (geçirgenliğini) artırıcı etkileri sayesinde, sıklıkla balsam ve tıraş sonrası losyonlar gibi cilt bakım ürünlerine katkı maddesi olarak ilave edilmektedir (Alves Gomes Albertti vd., 2018). Kozmetik endüstrisi haricinde ev temizlik ürünleri ile deterjanlar gibi ürünlerde ve farmasötik formülasyonlarda kullanılmaktadır. Farmasötik alandaki başlıca kullanım alanı, antienflamatuvar, antispazmodik, anti-alerjik, ilaç permeasyonunu artırıcı ve antiparaziter özellikleriyle ilişkilidir. Özellikle α -bisabolol veya bisabolol bakımından zengin yağların antienflamatuvar ajan olarak kullanımı, oldukça yaygındır (Kamatou ve Viljoen, 2010).

2.3. *M. chamomilla*'nın Uçucu Yağında Tespit Edilen Bileşikler

Papatyanın fitokimyasal kompozisyonunda değişimler görülebilmektedir (Eddin vd., 2022). Çevresel koşullar ve stres faktörleri, papatyanın etkin bileşenlerinde değişikliklere yol açabilmektedir (Sharafzadeh ve Alizadeh, 2011). Papatyanın UY'ının kimyasal bileşimi; coğrafi bölgeler, çevresel koşullar, bitki türleri, genetik faktörler, kurutma yöntemleri, ekstraksiyon teknikleri, salisilik asit konsantrasyonları ve biyogübre olarak

siyanobakteriyel süspansiyonların kullanımı gibi parametrelerden önemli ölçüde etkilenmektedir (El Mihaoui vd., 2022). Bilimsel bir çalışmada; toprağın fizikokimyasal özelliklerine dayanarak papatyadaki UY konsantrasyonunun ve veriminin tahmin edilebileceği ifade edilmiş ve bu durumun, papatya yetiştiriciliğine elverişli alanların belirlenmesi ve UY verimine yönelik planlamaların yapılması bakımından önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır (Khakipour vd., 2023).

Buna ilaveten, yapılan bir çalışmada; kuraklık stresi uygulanan papatya örneklerinde, kontrol grubuna kıyasla UY içeriğinin ve yağ kalitesinin arttığının gözlemlendiği bildirilmiştir. Özellikle orta düzeyde kuraklık stresi (yani, tarla kapasitesinin %70’inde sulama olan) hem bitkinin gelişimi desteklemiş hem de UY verimini arttırmıştır. Ayrıca bu şartlarda papatya yağının kalitesinde iyileşme olduğu belirlenmiş ve tüm bu parametreler dikkate alındığında, Alman papatyasında yüksek verim ve üstün kaliteli UY elde edebilmesi için toprak neminin tarla kapasitesinin %70’i düzeyinde tutulması gerektiği önerilmiştir (Farhoudi vd., 2014). Başka bir çalışmada da; orta düzeyde kuraklığa dirençli bir tıbbi bitki olarak önerilebileceği sonucuna varılmıştır (Baghalian vd., 2011).

Başka bir çalışmada kurutma yöntemlerinin, papatyanın UY bileşenlerine olan etkisi incelenmiştir. UY’daki major bileşenler; α -bisabolol oksit A (%33,0–%50,5), (Z)-tonghaosu (%10,0–%18,7), α -bisabolol oksit B (%8,2–%15,4), α -bisabolone oksit A (%5,4–%14,6) ve kamazulen (%1,9–%5,2) olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan kurutma yöntemlerinin, majör bileşenlerin içeriği üzerinde belirgin etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. En düşük alfa-bisabolol oksit A düzeyinin, güneşte kurutma sonrasında; en düşük alfa-bisabolol oksit B oranının ise, güneş enerjili kurutma sonrasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, taze çiçeklere kıyasla, kurutma sürecinde (Z)-tonghaosu miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra güneş enerjili kurutma yönteminin, diğer kurutma metotlarına nazaran daha yüksek oranda (%3,0) kamazulen içeriğini koruduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bulgular neticesinde, gölgede kurutma koşullarının, diğer kurutma yöntemlerine oranla daha yüksek alfa-bisabolol içeriğine sahip UY bileşimini muhafaza ettiği belirlenmiştir (Abbas vd., 2021).

Bir diğer çalışma, kullanılan farklı ekstraksiyon metotlarının *M. recutita* L.’nin UY bileşenleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasına yönelik yapılmıştır.

Çalışma kapsamında; İran'da yetiştirilen papatyanın uçucu bileşenleri; mikrodalga kullanımı, pilot tesis ve laboratuvar ölçeğinde olmak üzere farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilmiş ve UY bileşenleri, gaz kromatografisi (GC) ve gaz kromatografisi/kütle spektrometrisi (GC/MS) teknikleri ile tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre toplam 34 bileşen belirlenmiş olup incelenen yöntemler arasında niteliksel ve niceliksel açıdan anlamlı farklılıklar olduğu ifade edilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle elde edilen örneklerde α -bisabolol oksit A (%42,3), kamazulen (%15,1), α -bisabolol oksit B (%9,6) ve (Z,Z)-farnesol (%8,1); laboratuvar ölçeğinde elde edilen örneklerde cis-pinokamfon (%73,5) ve α -bisabolol oksit A (%7,9); pilot tesis yönteminde, α -bisabolol oksit A (%62,1), kamazulen (%10,2) ve (Z,Z)-farnesol (%8,3) ve ısıtma düzeneğine sahip pilot sistemde α -bisabolol oksit A (%50,5), E- β -farnesen (%12,8) ve kamazulen (%12,3) majör bileşikler olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre α -bisabolol oksit A ve kamazulen içeriğinin yüksek olmasından dolayı en uygun ekstraksiyon yönteminin pilot tesis yöntemi olduğu yorumu yapılmıştır (Homami vd., 2016).

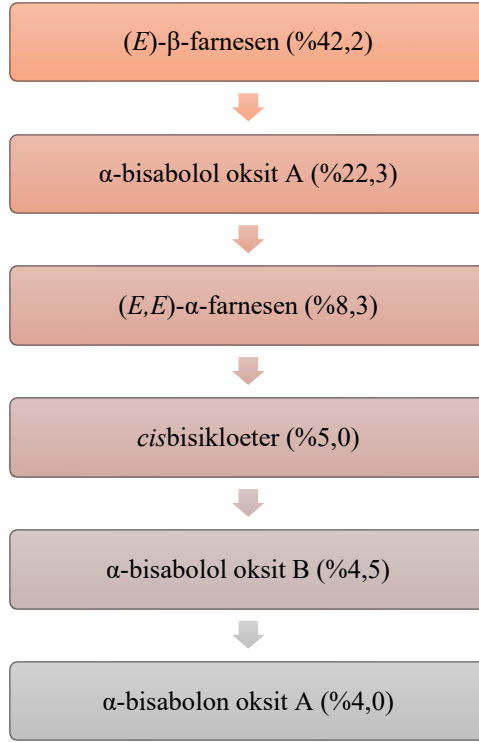
Bunun yanı sıra başka bir çalışmada; UY içeriği ile bisabolol oksit A oranı bakımından, genotip-çevre (iklim) etkileşiminin önemli ölçüde etkili olduğu iddia edilmiştir (Gosztola vd., 2010). Bir diğer çalışmada ise; 30 günlük fidelerin toprağa ekim tarihinin (E)- β -farnesen, α -bisabolol oksit A, α -bisabolon oksit ve spatulenol bileşikler üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğu belirlenmiştir (Mohammad vd., 2010).

Yapılan başka bir çalışmada, farklı ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen papatya UY'ndaki bileşikler GC ile tespit edilmiş ve analiz sonuçlarına göre distilasyon yoluyla elde edilen örneklerde en yüksek oranda bulunan bileşiklerin β -bisabolol oksit A ve β -bisabolol oksit B; süperkritik akışkan ekstraksiyonu ve Soxhlet ekstraksiyonu ile elde edilen örneklerde ise, majör bileşiklerin β -bisabolol oksit A ve pentakosan oldukları tespit edilmiştir (Zengin vd., 2023).

Bir diğer çalışmada; *M. chamomilla*'nın taze çiçeklerinden hidrodestilasyon yoluyla elde edilen geri kazanım yağları ile UY'ları, kültürel mirasın korunmasına yönelik çevresel amaçlar doğrultusunda incelenmiştir. Bu bağlamda örneklerdeki bileşikler, GC/MS cihazında tespit edilmiştir. Analizi sonuçlarına göre, UY'daki majör kimyasal bileşiklerin sırasıyla; (Z)- β -farnesen (%27), D-limonen (%15,25) ve α -bisabolol oksit A (%14,9) oldukları tespit

edilmiştir. Geri kazanım yağı örneklerinde ise; α -bisabolol oksit A (%18,6), D-limonen (%8,82) ve α -bisabolol oksit B (%7,13) başlıca bileşenler olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre *M. chamomilla*'nın taze çiçeklerinden elde edilen UY'ların ve geri kazanım yağlarının çevre dostu biyofungusitler olarak potansiyel kullanımının olabileceği vurgulanmıştır (EL-Hefny vd., 2019).

Bundan başka; yapılan başka bir çalışmada, Nepal'de toplanan bitkinin hidrodestilasyon yöntemiyle UY'ı elde edildikten sonra GS-MS ile analizi neticesinde UY'daki majör bileşenlerin, Şekil 10'daki gibi oldukları tespit edilmiştir (Satyal vd., 2015).

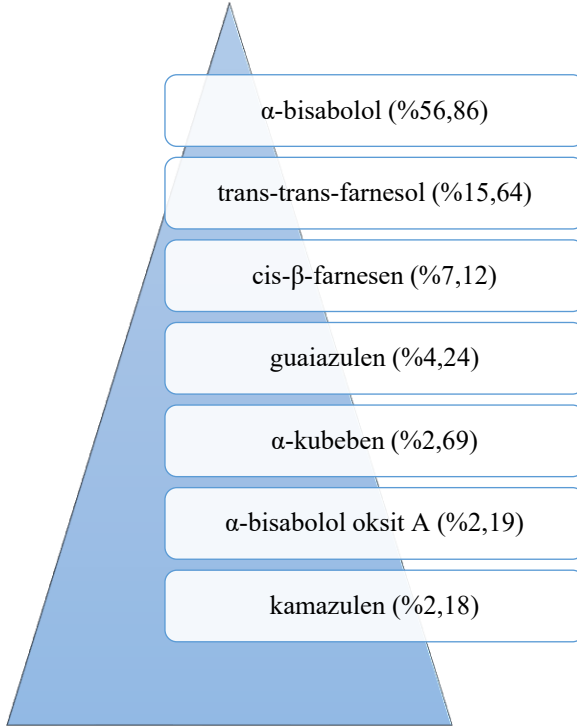


Şekil 10. GC-MS sonuçlarına göre analiz edilen *M. chamomilla*'nın UY'ındaki majör bileşikler (Satyal vd., 2015).

Bir diğer araştırmada; *M. chamomilla* L.'nin toprak üstü aksamından hidrodestilasyonla elde edilen UY'da, majör bileşenler olarak α -bisabolol oksit A (%25,01) ve α -bisabolol oksit B (%9,43) tespit edilmiştir. Aynı çalışmada ayrıca bu bileşikler; spatulenol, cis-en-yn-disikloeter ve α -bisabolen oksit

A'nın sırasıyla; %8,49; %7,42 ve %7,17 oranlarıyla takip ettiği belirlenmiştir (Shams-Ardakani vd., 2006).

Buna ilaveten, başka bir çalışmada; *M. chamomilla* L.'nin UY'ında Şekil 11'de gösterilen ana bileşikler tespit edilmiştir (Tolouee vd., 2010).



Şekil 11. Papatyanın UY'ında tespit edilen majör bileşikler (Tolouee vd., 2010).

Ayrıca yine aynı çalışmada; *M. chamomilla* L.'nin çiçeğinden elde edilen UY'ın *Aspergillus niger* üzerindeki antifungal aktivitesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, *A. niger*'in büyümesi, yağ konsantrasyonunun artışıyla doz bağımlı olarak yaklaşık %92,50'ye varan maksimum oranda inhibe edilmiştir. Morfolojik değişikliklerin, bitkinin UY'ının mantarın plazma membranıyla doğrudan etkileşime girerek hücre geçirgenliği üzerinde oluşturduğu etkiden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre; *M. chamomilla* L. UY'ının mantar kaynaklı kontaminasyonun önlenmesi ve depolanan gıda ile diğer hassas materyallerin bozulmasının engellenmesinde potansiyel bir ajan olabileceği kanaatine varılmıştır (Tolouee vd., 2010).

Bunun yanı sıra yapılan diğer bilimsel çalışmalarda, tespit edilen majör UY bileşikleri, Şekil 12’de gösterilmektedir.

Majör UY bileşikleri (Stanojevic vd., 2016)	Majör UY bileşikleri (Ayoughi vd., 2011)
• β-farnesen (%29,8) • α-bisabolol ve oksitleri (%15,7) • α-farnesene (%9,3) • kamazulen (%6,4) • germakrin D (%6,2) • spiroeter (%5,6)	• (E)-β-farnesen (%24,19) • guaiazulen (%10,57) • α-bisabolol oksit A (%10,21) • α-farnesen (%8,7) • α-bisabolol (%7,27)

Şekil 12. Papatyanın UY’ında tespit edilen majör bileşikler.

3. *Matricaria chamomilla* L.’nin BİYOLOJİK ETKİLERİ ve ÇEŞİTLİ UYGULAMA ALANLARI

M. chamomilla L., köklü bir geçmişe sahip, yaygın olarak kullanılan ve kapsamlı şekilde belgelenmiş önemli bir tıbbi bitkidir. Hipokrat, Dioskorides, Galen, İbn-i Sina ve tıp tarihi boyunca önde gelen diğer bilginler tarafından da zikredilmiştir. Flavonoidler ve diğer fenolik bileşikler, UY, polisakkaritler, amino asitler, yağ asitleri ve mineral elementler gibi farklı biyolojik aktif bileşen sınıfları, papatyanın önemli biyolojik fonksiyonlar sergilemesini sağlar (Kabiri vd., 2019). Genel olarak *M. chamomilla*; dermatolojik, antikanser, üreme sistemi üzerine etkili, antiülserojenik, antidiyareik, spazmolitik, antiparaziter, antialerjik, anksiyolitik, sedatif, antidepresan, antikonvülsan, hipotansif, hipolipidemik, hafıza güçlendirici ve daha birçok biyolojik etkiye sahiptir (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Şekil 13’te papatyanın önemli biyolojik özellikleri gösterilmektedir.

Antioksidan etki	Antimikrobiyal aktivite
Antiparazitik ve insektisidal etkiler	Antidiyabetik aktivite
Antikanserojen ve antienflamatuvar etkiler	Analjezik ve antipiretik etkiler
Endişe-kaygı dindirici antidepresan	Antihipertansif aktivite
Antialerjik etki	Mide koruyucu etki

Şekil 13. *M. chamomilla*'nin önemli biyolojik etkileri (El Mihaoui vd., 2022 kaynağındaki bilgiler ışığında oluşturulmuştur).

M. recutita L., dünya genelinde yetiştirilen ve halk hekimliğinde yaygın olarak bilinen tıbbi bir bitki türüdür (Mohammad, 2011; Singh vd., 2011; Murti vd., 2012; Homami vd., 2016; Eddin vd., 2022; Saeedi vd., 2024). Papatya, binlerce yıldır bitkisel tedavilerde kullanılmakta olup Antik Mısır, Yunan ve Roma uygarlıklarında da bilinmekteydi (Singh vd., 2011). Papatyaya ilişkin ilk yazılı kayıt, Antik Mısır dönemine dayanmaktadır (Marković vd., 2020). Eski Mısırlılar, söz konusu bitkiyi güneş tanrısının kutsal bir armağanı olarak kabul etmiş ve ateş ile güneş çarpmasını hafifletmek amacıyla kullanmışlardır (Murti vd., 2012). Ayrıca, ezilmiş papatya çiçek başlarının, cilt iltihabını hafifletmek, dermatiti önlemek ve kozmetik preparatlarda kullanmak amacıyla değerlendirildiği belirtilmiştir (Marković vd., 2020). Altıncı yüzyılda ise bitki; uykusuzluk, bel ağrısı, nevroz, romatizma, çeşitli dermatolojik rahatsızlıklar,

hazımsızlık, gaz şikayetleri, baş ağrısı ve gut hastalığının tedavisinde kullanılmıştır (Murti vd., 2012).

Günümüzde geleneksel halk hekimliğinde oldukça tercih edilen bir bitki olan *M. recutita* L.'nin çok yönlü tedavi edici, kozmetik ve besleyici özellikleri, yıllara dayanan geleneksel kullanım ve bilimsel araştırmalarla ortaya konmuştur (Jeshni vd., 2015). Papatya infüzyonu, geleneksel olarak sinirleri yatıştırmak, anksiyeteyi azaltmak, histeri, kabuslar, uyku bozuklukları ve uykusuzluk gibi rahatsızlıkların tedavisinde uygulanmıştır. Ayrıca, özellikle bebekler ve küçük çocuklarda gastrointestinal rahatsızlıkların giderilmesinde ve grip ile bronşit tedavisinde de kullanılmıştır. Bunun yanı sıra akne tedavisinde de kullanımı yaygındır (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Genel melankoli ve anksiyete durumlarının tedavisinde, papatya çiçeklerinden elde edilen UY'ların buharının solunması önerilmektedir (Akram vd., 2024).

Papatya, dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Murti vd., 2012). Papatya çiçekleri, yüzyıllar boyunca antienflamatuvar, analjezik, antimikrobiyal, spazmolitik ve sedatif özelliklerinden faydalanılmak üzere kullanılmıştır (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Başlıca kullanım alanları; yatıştırıcı, anksiyolitik ve spazm çözücü olarak değerlendirilmesi ile hafif deri tahrişleri ve iltihaplanmalarının tedavisidir (Murti vd., 2012; Kazemi vd., 2024). Faydalı etkileri sayesinde *M. chamomilla*, deri inflamasyonlarının tedavisinde sıvı veya yarı katı formülasyonlar ile banyo katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir (Zengin vd., 2023). Bu amaçla özellikle harici kullanımlarda iyileşmesi güç yaralarda, apselerde, hemoroitlerde, genital hastalıklarda ve bebeklerin cildini yumuşatmak amacıyla da tercih edilmiştir (Al-Snafi ve Hasham, 2023). Benzer şekilde haricen kompres şeklinde göz şişliği ve cilt iltihabı ile enfeksiyonlarının giderilmesinde kullanılmaktadır (Marković vd., 2020). Bunlara ilaveten, Papatya UY'ı, aromaterapi ve kozmetik (saç bakım ürünlerinde vb.) yaygın olarak kullanılan bir bileşendir (Srivastava vd., 2010; Akram vd., 2024).

Papatya; gıda, farmasötik, hijyen ve kozmetik endüstrilerinde çok sayıda kullanım alanına sahip, dünyadaki en önemli tıbbi bitkilerden biridir (Ghasemi vd., 2016b; Saeedi vd., 2024). Bitki, dünya ticaretinde önemli bir tıbbi bitki olup özellikle ilaç ve sağlık sektörlerinde çok çeşitli uygulamalara sahiptir (SoloUKi vd., 2008). Papatya preparatları; saman nezlesi, inflamasyon, kas spazmları, adet düzensizlikleri, uykusuzluk, ülserler, yaralar, gastrointestinal

sistem bozuklukları, romatizmal ağrılar ve hemoroit gibi birçok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Srivastava vd., 2010).

Papatya çiçeği, tentür formunda çocuklarda ishal tedavisinde kullanılmaktadır (Akram vd., 2024). İshalin, bulantının ve mide ağrısı ile ilişkili rahatsızlıkların giderilmesinde papatya, dahili olarak başlıca infüzyon şeklinde (1 yemek kaşığı drog, 1 L soğuk su içerisinde bekletilir, ısıtılmaz) kullanılmaktadır (Singh vd., 2011). Bundan başka, herhangi bir hastalık veya apseye bağlı olarak gelişen yüz şişliği gibi dış şişlik durumlarında ise, papatya çiçekleri sıklıkla lapa veya sıcak kompres şeklinde uygulanmaktadır (Akram vd., 2024). Ancak, papatya çayı ile yapılan göz banyosu alerjik konjonktivite yol açabilmektedir. Bu tür infüzyonlarda bulunan *M. chamomilla* polenleri, söz konusu alerjik reaksiyonlardan sorumlu alerjenlerdir (Singh vd., 2011).

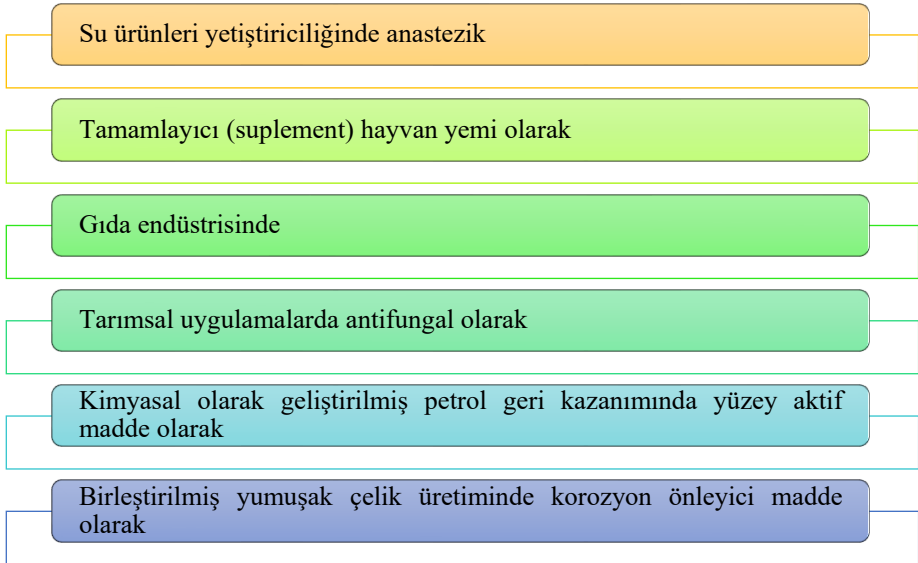
Bunların yanı sıra papatya ekstresi; diş ağrısı, kulak ağrısı ve nevrалji tedavisinde farmakolojik formülasyonlarda da kullanılmaktadır (Akram vd., 2024). Ayrıca, ağız hijyen ürünlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Zengin vd., 2023). Harici kullanımlarında ise, toz halindeki drog, iyileşmesi geciken yaralara, cilt döküntülerine, zona ve çıban gibi enfeksiyonlara, hemoroitlere ve ağız, boğaz ve göz iltihaplarına uygulanabilmektedir (Singh vd., 2011).

Papatyanın yaygın şekilde değerlendirildiği bir diğer form, bitkisel çay halidir (Kazemi vd., 2024). Papatya çayı, dünyanın en yaygın tüketilen bitkisel çaylarından biridir. Piyasada ayrıca, saf papatya çiçeği tozu veya diğer yaygın tıbbi bitkilerle karışım halinde hazırlanmış papatya çayı poşetleri de bulunmaktadır (Srivastava vd., 2010). Bitkisel çay olarak kullanımından önce, papatyanın ön hazırlıklara tutulması gerekir. Bu bağlamda, bitkisel çay olarak tüketilebilmesi için papatyanın çiçekli baş kısmı kurutulur ve bundan 3 gram alınarak üzerine yaklaşık 150 ml kaynar su dökülür ve 10 dakika bu şekilde bekletilir (infüzyon tekniği) (Baser, 2006). Şekil 14'te papatyadan bitkisel çay hazırlanma süreci gösterilmektedir. Papatya ekstresi içeren bitki çayı, dünya genelinde çok sayıda kişi tarafından düzenli olarak tüketilmektedir (Akram vd., 2024). Bitki çayı formunda yaygın şekilde soğuk algınlığı, mide rahatsızlıkları ve hafif sedasyon amacıyla ağızdan alınarak tüketilmektedir (Marković vd., 2020). Ayrıca ağız ve boğaz mukozalarının iltihaplanması durumunda, bu çay infüzyonu ağız çalkalama suyu veya gargara olarak kullanılabilir (Akram vd., 2024).



Şekil 14. Papatyadan bitkisel çay hazırlanması (infüzyon tekniği).

M. chamomilla, sahip olduğu bu etkileri sayesinde hem bitki halinde hem de UY'ı şeklinde birçok alanda kullanım olanağı bulunmaktadır. Bu kapsamda, papatyanın endüstriyel boyutta önemli kullanımları mevcuttur (El Mihaoui vd., 2022). Şekil 15'te papatyanın bazı önemli kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 15. *M. chamomilla*'nın endüstriyel boyuttaki bazı önemli kullanım alanları (El Mihaoui vd., 2022).

M. chamomilla'nın UY'ı ve ekstraktları farklı şekillerde enkapsüle edilmekte olup bu amaçla; silika nanopartiküller, gümüş nanopartiküller, kitosan nanokapsülleri ve aljinat mikrokapsülleri kullanılmaktadır. Bu tip enkapsülasyon işlemleri, bitkiye ait metabolitlerin biyolojik özelliklerini geliştirmekte ve Şekil 16'da sunulan niteliklerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (El Mihyaoui vd., 2022).



Şekil 16. *M. chamomilla*'nın metabolitlerinin enkapsüle edilmesiyle geliştirilen biyolojik özellikleri ve kullanım alanları (El Mihyaoui vd., 2022).

Papatyanın, gıda takviyesi şeklinde tüketimi yaygın bir uygulamadır (Kazemi vd., 2024). Alman papatyasının UY'ının, ekstraktlarının ve distilatlarının gıda ürünlerinde kullanılmaları, genel olarak güvenli kabul edilmektedir (Sepp vd., 2024). Özellikle antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri açısından *M. chamomilla*'nın UY'ının değerli olduğu yapılan bir çalışmada gösterilmiş ve elde edilen sonuçlara göre bitkinin antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelere sahip değerli biyoaktif bileşikler için potansiyel bir kaynak olduğunu belirlenmiştir. Bu bağlamda aynı çalışma kapsamında, bitkinin UY'ının gıda sektöründe doğal ve güvenli gıda koruyucusu olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu anlaşılmıştır (Ferhat vd., 2025).

Bir diğer araştırmada ise, *M. chamomilla*'nın toz (infüzyon) formu, ekmeklere ilave edilmiş ve ekmeklerin besin değerlerinin anlamlı oranda arttığı

ve bunların, kontrol grubundaki ekmek örnekleri ile benzer duyuşal özellikleri koruduğunu belirlenmiştir. Özellikle %30 oranında bitkinin eklenmesinin, ekmeğin besin profili ve antioksidan özelliklerini arttırdığı, duyuşal özelliklerin geleneksel ekmeklere yakın seviyede kaldığı gözlemlenmiştir. Antioksidan özelliği üzerinde bitkide bulunan polifenollerin etkili olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak papatyanın, besin değerini artırırken duyuşal özellikleri geleneksel ekmeğe yakın seviyede tutabilen fonksiyonel bir ingrediyen olarak potansiyelinin olduğu yorumu yapılmıştır (Kerbab vd., 2025).

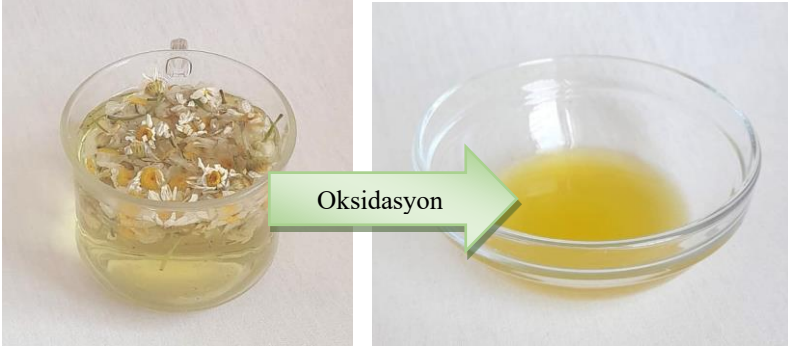
Papatya, farklı tekniklerle işlenerek farklı formlarda piyasaya arz edilmektedir. Özellikle damıtma neticesinde elde edilen UY ve papatyanın aromatik suyu, farklı ambalajlarda satışa sunulmaktadır. Bu ürünler, ambalajında da belirtileceği üzere genellikle saçlar için kullanılmakta ve saçların doğal olarak renginin açılması sağlanmaktadır. Damıtık aromatik papatya suyunda olduğu gibi, papatyanın UY'ı da çoğunlukla karartılmış şişelere konulduktan sonra ambalajlanarak satışa sunulmaktadır (Şekil 17). Papatyanın UY'ı ve damıtılmış aromatik suyu, oksidasyona karşı hassas ürünler oldukları için bu tip ambalajlar içerisinde uygun şekilde muhafaza edilmektedirler (Canbey, 2025a).



Şekil 17. Papatya UY'ının muhafaza edildiği karartılmış şişe örneği.

M. chamomilla L. ve bundan hazırlanan papatya çayı, doğal antioksidan bileşikleri içermektedir. Özellikle seskiterpenler, kumarinler ve flavonoits gibi doğal biyoaktif bileşikleri içerirler. Bunlardan kumarinler ve flavonoitler sıcak suda çözünebilir niteliktedir (Sami vd., 2015). Bu özelliklerine rağmen, papatya

çayında süreli bekletme neticesinde oksidasyona bağlı renk, istenmeyen bazı değişimler görülebilmektedir. Bununla ilgili olarak Şekil 18’de, infüzyon yöntemiyle hazırlanmış papatya çayı ve bunun üç gün boyunca açık bir kapta oda sıcaklığında bekletilmesi sonucunda vuku bulan oksidasyona bağlı renk değişimi görülmektedir. Oksidasyon neticesinde; renkte koyulaşma ile bulanıklaşma, acıcılıkta azalma (yapısında koyulaşma) ve kokuda bozulmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 18. Papatya çayı (sol) ve okside olmuş hali (sağ).

Papatyadan elde edilen ürünler, bunlarla sınırlı kalmayıp bundan başka, çeşitli firmalara ait instant papatya çayı üretimi ve satışı bulunmaktadır. İstant papatya çayının hazırlanması oldukça basit olup bu amaçla, ilk olarak bardağa kaynar su dökülmekte ve üzerine özel süzgeçli kılıfıyla birlikte instant çay ilave edilerek beklenmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. İçime hazır instant papatya çayı örneği.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Papatya, Asteraceae familyasına mensup, UY içeren, hoş kokulu önemli bir tıbbi ve aromatik bitki türüdür. Papatyanın birçok türü olmakla birlikte, bunlar arasında en yaygın şekilde bilineni, *Matricaria chamomilla* L.'dir. *M. chamomilla* L., yaygın şekilde Alman papatyası, tıbbi papatya ve mayıs papatyası olarak bilinir. Önemli bir UY kaynağı olan bu türün, çiçeklerinden damıtma yoluyla esansiyel yağ eldesi sağlanır. UY'ında birçok önemli majör ve minör bileşikler içerilmektedir. Bunlar, biyoaktivite üzerinde önemli rol oynarlar.

Bu tür, içermiş olduğu biyoaktif bileşikler ve hoş kokusu sayesinde birçok alanda kullanım olanağı bulmaktadır. Biyoaktivite yönünden özellikle UY'ındaki majör bileşikler olan kamazulen, α -bisabolol, α -bisabolon oksit, farnesen, α -bisabolol oksit A ve B etkili olmaktadır. Bu bileşikler, papatyaya tıbbi, farmakolojik ve biyolojik özellikler (antioksidan, antimikrobiyal, antienflamatuvar, ağrı dindirici vb.) kazandırır. Bu özellikleri sayesinde birçok alanda değerlendirilir ve başta, halk hekimliği olmak üzere tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır. Özellikle banyo sularına katılarak ciltte oluşan iltihaplanmaların giderilmesinde ve ağız hijyeninin sağlanmasında gargara şeklinde kullanımı mevcuttur. Bundan başka, ekstrakt olarak hazırlanan formları (kapsül veya sıvı şekillerde) kremlerde, merhemlerde, jellerde tahriş olmuş ve çatlamış deri tedavilerinde kullanılmaktadır. Buna ilaveten, solunum yolu iltihaplanmalarında, yaraların iyileştirilmesinde ve diş etlerinde oluşan ağrıların dindirilmesinde kullanımı mevcuttur. Bu özelliklerinin yanı sıra, UY'ının ve ekstraktlarının özellikle antimikrobiyal ve antioksidan özellikler sergilemesi, papatyanın birçok alanda kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu özelliklerinden yola çıkılarak gıdaların, doğal yolla muhafaza edilmesi amacıyla ilgili klinik ve laboratuvar çalışmaları yaygınlaştırılabilir. Özellikle farklı formlardaki enkapsülasyon işlemleriyle bitkinin antibakteriyel ve antifungal özellikleri geliştirilmekte ve doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımının önü açılmaktadır.

Bundan başka hoş kokusu sayesinde losyonlarda, deterjanlarda, kremlerde, şampuanlarda, ağız gargaralarında, sabunlarda ve parfümlerde kullanılır ve bitkisel çay olarak değerlendirilir. Bitkisel çay olarak kurutulmuş çiçeklerinden infüzyon tekniğiyle hazırlanabileceği gibi, instant çay şeklinde firmalara ait ürünlerden de temin edilebilir. Bundan başka, damıtma neticesinde

UY'ı ve damıtık aromatik suyu, ayrı ayrı ambalajlanarak satışa sunulmaktadır. Bunun yanı sıra endüstriyel boyutta; hayvan yemi supplementi olarak, tarımsal uygulamalarda antifungal olarak, kompoze yumuşak çelik üretiminde antikorozyif madde olarak ve gıda sanayinde çeşitli uygulamaları mevcuttur.

Bütün bu özellikleri ve kullanım alanları dikkate alındığında; neredeyse tüm toprak türlerinde yetişebilmesi ve soğuğa dayanıklı bir bitki türü olması, papatyanın biyolojik ve ticari yönden değerini arttırmaktadır. Doğal olarak yetişmesinin yanı sıra seçilen bölgelerde yetiştiriciliği yapılarak ve yakın lokasyonlara ilgili fabrika ve işletmeler inşa edilerek endüstriyel çapta kullanım alanları genişletilebilir.

ÖNEMLİ NOT

Bu çalışmada sunulmuş olan bilgiler, sadece bilgilendirme amaçlı olup tavsiye niteliği taşımamaktadır. Herhangi bir sağlık sorununun teşhis ve tedavisi, mutlaka uzman hekimlerin bilgisi ve kontrolü dahilinde gerçekleştirilmelidir!

KAYNAKÇA

- Abad, M. J., Bedoya, L. M., & Bermejo, P. (2013). Chapter 14 - Essential Oils from the Asteraceae Family Active against Multidrug-Resistant Bacteria. *Fighting Multidrug Resistance with Herbal Extracts, Essential Oils and Their Components*, pp. 205-221.
- Abbas, A. M., Seddik, M. A., Gahory, A.-A., Salaheldin, S., & Soliman, W. S. (2021). Differences in the Aroma Profile of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) after Different Drying Conditions. *Sustainability*, 13, 1-9.
- Akram, W., Ahmed, S., Rihan, M., Arora, S., Khalid, M., Ahmad, S., Ahmad, F., Haque, S. & Vashishth, R. (2024). An updated comprehensive review of the therapeutic properties of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *International Journal of Food Properties*, 27(1), 133-164.
- Ali, A. E., Ali, S. M. E. H., EL-Rhman, S. A. E. A., Mohamed, M. A. E., & Khiders, T. O. (2020). Brine-shrimp lethality bioassay of different extracts of the medicinal plant *Matricaria* (chamomilla) flowers. *Journal of Medicine and Healthcare*, 4(6), 1-4.
- Al-Snafi, A. E. & Hasham, L. F. (2023). Bioactive constituents and pharmacological importance of *Matricaria chamomilla*: A recent review. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(02), 079-098.
- Alves Gomes Albertti, L., Delatte, T. L., Souza de Farias, K., Galdi Boaretto, A., Verstappen, F., van Houwelingen, A., Cankar, K., Carollo, C. A., Bouwmeester, H. J. & Beekwilder, J. (2018). Identification of the Bisabolol Synthase in the Endangered Candeia Tree (*Eremanthus erythropappus* (DC) McLeisch). *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-7.
- Ayoughi, F., Marzegar, M., Sahari, M. A., & Naghdibadi, H. (2011). Chemical Compositions of Essential Oils of *Artemisia dracunculus* L. and Endemic *Matricaria chamomilla* L. and an Evaluation of their Antioxidative Effects. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(1), 79-88.
- Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-sigaroodi, F., & Paknejad, F. (2011). Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(2), 201-207.

- Baser, K. H. C. (2006). Mayıs Papatyası (*Matricaria chamomilla* L.). *Bağbahçe*, 16-17.
- Canbey, İ. (2025a). *Mentha spicata* L. ve *Mentha piperita* L. Türlerinin Uçucu Yağ Kompozisyonları, Biyolojik Aktiviteleri ve Uygulama Alanları. *UBAK International Academy of Science Association Publishing House*, Ankara, pp. 1-90. ISBN: 978-625-5923-66-0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15683301>.
- Canbey, İ. (2025b). Lamiaceae Familyasına Ait Üç Önemli Tür Olan Fesleğen, Melisa ve Biberiye Bitkilerinin Uçucu Yağ Bileşenleri, Biyolojik Etkileri ve Kullanım Alanları. *UBAK International Academy of Science Association Publishing House*, Ankara, pp. 1-106. ISBN: 978-625-5923-72-1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15979305>.
- Chirumbolo, S. (2015). Alpha-bisabolol, not a matter for cancer therapy. Commentary: "Research on the immunosuppressive activity of ingredients contained in sunscreens". *Frontiers in Pharmacology*, 6, 1-3.
- Costescu, C. I., Hădărugă, N. G., Riviş, A., Hădărugă, D. I., Lupea, A. X., & Pârvu, D. (2008). Antioxidant activity evaluation of some *Matricaria chamomilla* L. extracts. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 14(2), 417-432.
- Eddin, L. B., Jha, N. K., Goyal, S. N., Agrawal, Y. O., Subramanya, S. B., Bastaki, S. M. A., & Ojha, S. (2022). Health Benefits, Pharmacological Effects, Molecular Mechanisms, and Therapeutic Potential of α -Bisabolol. *Nutrients*, 14(7), 1-30.
- EL-Hefny, M., Abo Elga, W. A. A., Al-Huqail, A. A., & Ali, H. M. (2019). Essential and Recovery Oils from *Matricaria chamomilla* Flowers as Environmentally Friendly Fungicides Against Four Fungi Isolated from Cultural Heritage Objects. *Processes*, 7, 1-12.
- El Mihaoui, A., Esteves da Silva, J. C. G., Charfi, S., Candela Castillo, M. E., Lamarti, A., & Arnao, M. B. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): Review of Ethnomedicinal Use, Phytochemistry and Pharmacological Uses. *Life*, 12, 1-41.
- Erbaş, S., Mutlucan, M., Erdoğan, Ü., & Özer, M. (2023). Chamazulene Kaynağı Bitkiler ve Üretimi. *Ispac 11th International Conference on*

- Agriculture, Animal Sciences and Rural Development. 03-05 March 2023-Mus/Türkiye, pp. 1211-1222.
- Farhoudi, R., Lee, D.-J., & Hussain, M. (2014). Mild Drought Improves Growth and Flower Oil Productivity of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.). J. Essent. Oil Bear. *Plants*, 17(1), 26–31.
- Ferhat, A., Djemoui, A., Messaoudi, M., Ferhat, M. A., Benchikha, N., Ouakouak, H., Boubekour, S., Attia, S. M., Ahmad, S. F., Atanassova, M., & Zahnit, W. (2025). Antioxidant and antibacterial activities of *Matricaria chamomilla* and *Teucrium polium* essential oils: Possible use in food preservation. *Italian Journal of Food Science*, 37(2), 23–34.
- Gabbanini, S., Neba, J. N., Matera, R., & Valgimigli, L. (2024). Photochemical and Oxidative Degradation of Chamazulene Contained in *Artemisia*, *Matricaria* and *Achillea* Essential Oils and Setup of Protection Strategies. *Molecules*, 29, 1-20.
- Gamal El-Din, M. I., Youssef, F. S., Altyar, A. E., & Ashour, M. L. (2022). GC/MS Analyses of the Essential Oils Obtained from Different *Jatropha* Species, Their Discrimination Using Chemometric Analysis and Assessment of Their Antibacterial and Anti-Biofilm Activities. *Plants*, 11, 1-18.
- Ghasemi, M., Jelodar, N. B., Modarresi, M., Bagheri, N., & Jamali, A. (2016a). Increase of Chamazulene and α -Bisabolol Contents of the Essential Oil of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Using Salicylic Acid Treatments under Normal and Heat Stress Conditions. *Foods*, 5, 1-14.
- Ghasemi, M., Modarresi, M., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N., & Jamali, A. (2016b). The Evaluation of Exogenous Application of Salicylic Acid on Physiological Characteristics, Proline and Essential Oil Content of Chamomile (*Matricaria chamomila* L.) under Normal and Heat Stress Conditions. *Agriculture*, 6(3), 1-15.
- Gosztola, B., Sárosi, S., & Németh, É. (2010). Variability of the Essential Oil Content and Composition of Chamomile (*Matricaria recutita* L.) affected by Weather Conditions. *Natural Product Communications*, 5(3), 465-470.
- Gupta, V., Mittal, P., Bansal, P., Khokra, S. L., & Kaushik, D. (2010). Pharmacological potential of *Matricaria recutita* – A review.

- International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2, 12-16.
- Homami, S. S., Jaimand, K., Rezaee, M. B., & Afzalzadeh, R. (2016). Comparative Studies of Different Extraction Methods of Essential Oil from *Matricaria recutita* L. in Iran. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 61(2), 2982-2984.
- Höferl, M., Wanner, J., Tabanca, N., Ali, A., Gochev, V., Schmidt, E., Kaul, V. K., Singh, V., & Jirovetz, L. (2020). Biological Activity of *Matricaria chamomilla* Essential Oils of Various Chemotypes. *Planta Medica International Open*, 7, e114–e121.
- Ince, B., Avşar, G., Türkseven, Ç. H., Eroğlu, P., Ayar, G., & Akyürek, M. E. (2025). Gelenekten Bilime: Çörek Otu ve Kenevir Tohumu Yağlarının Hücresel Potansiyeli. *UBAK International Academy of Sciences Association Publishing House*, pp. 1-118. ISBN: 978-625-5923-53-0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15518984>.
- Jeshni, M. G., Mousavinik, M., Khammari, I., & Rahimi, M. (2015). The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 146, 1-7.
- Kabiri, M., Kamalinejad, M., Bioos, S., Shariat, M., & Sohrabvand, F. (2019). Comparative Study of the Effects of Chamomile (*Matricaria Chamomilla* L.) and Cabergoline on Idiopathic Hyperprolactinemia: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18(3), 1612-1621.
- Kamatou, G. P. P. & Viljoen, A. M. (2010). A Review of the Application and Pharmacological Properties of a-Bisabolol and a-Bisabolol-Rich Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87, 1–7.
- Kazemi, A., Shojaei-Zarghani, S., Eskandarzadeh, P., & Hashempur, M. H. (2024). Effects of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) on sleep: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 84, 1-8.
- Kerbab, K., Sanah, I., Djeghim, F., Belattar, N., Santoro, V., D'Elia, M., & Rastrelli, L. (2025). Nutritional Composition, Physicochemical

- Properties, Antioxidant Activity, and Sensory Quality of *Matricaria chamomilla*-Enriched Wheat Bread. *Foods*, 14, 1-24.
- Khakipour, N., Torkashvand, A. M., Ahmadi, A., & Weisany, W. (2023). Prediction of chamomile essential oil yield (*Matricaria chamomilla* L.) by physicochemical characteristics of soil. *Advances in Horticultural Science*, 37(2), 209-219.
- Marković, M., Pljevljakušić, D., Kojičić, K., & Cupara, S. (2020). Ethnopharmacological application of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in the Pirot County of Southeastern Serbia. *Arhiv za farmaciju*, 70(4), 238-247
- Masłowski, M., Aleksieiev, A., Miedzianowska, J., & Strzelec, K. (2021). Potential Application of Peppermint (*Mentha piperita* L.), German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) and Yarrow (*Achillea millefolium* L.) as Active Fillers in Natural Rubber Biocomposites. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 1-25.
- Mohammad, R., Hamid, S., An, A., Norbert, D. K., & Patrick, V. D. (2010). Effects of planting date and seedling age on agro-morphological characteristics, essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) grown in Belgium. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 145-152.
- Mohammad, S. M. (2011). Study on Cammomile (*Matricaria chamomilla* L.) usage and farming. *Advances in Environmental Biology*, 5(7), 1446-1453.
- Murti, K., Panchal, M. A., Gajera, V., & Solanki, J. (2012). Pharmacological properties of *Matricaria recutita*: A review. *Pharmacologia*, 3(8), 348-351.
- Ramazani, E., Akaberi, M., Emami, S. A., & Tayarani-Najaran, Z. (2022). Pharmacological and biological effects of alpha-bisabolol: An updated review of the molecular mechanisms. *Life Sciences*, 304, 120728.
- Saeedi, M., Khanavi, M., Shahsavari, K., & Manayi, A. (2024). *Matricaria chamomilla*: an Updated Review on Biological Activities of the Plant and Constituents. *Research Journal of Pharmacognosy*, 11(1), 109–136.
- Sami, G., Khoshraftar, E., Heidary Shayesteh, T., & Ranjbar, A. (2015). The effects of Chamomile tea on antioxidative biomarkers in operating room staff. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 4(3), 98-101.

- Satyai, P., Shrestha, S., & Setzer, W. N. (2015). Composition and Bioactivities of an (E)- β -Farnesene Chemotype of Chamomile (*Matricaria chamomilla*) Essential Oil from Nepal. *Natural Product Communications*, 10(8).
- Sepp, J., Koshovyi, O., Jakstas, V., Žvikas, V., Botsula, I., Kireyev, I., Tsemenko, K., Kukhtenko, O., Kogermann, K., Heinamaki, J., & Raal, A (2024). Phytochemical, Technological, and Pharmacological Study on the Galenic Dry Extracts Prepared from German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Flowers. *Plants*, 13, 1-16.
- Shams-Ardakani, M. R., Ghannadi, A., & Rahimzadeh, A. (2006). Volatile Constituents of *Matricaria chamomilla* L. from Isfahan, Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences Winter*, 2(1), 57-60.
- Sharafzadeh, S., & Alizadeh, O. (2011). German and Roman Chamomile. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(10), 1–5.
- Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. (2011) Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. *Pharmacognosy Review*, 5(9), 82-95.
- SoloUKi, M., Mehdikhani, H., Zeinali, H., & Emamjomeh, A. A. (2008). Study of genetic diversity in Chamomile (*Matricaria chamomilla*) based on morphological traits and molecular markers. *Scientia Horticulturae*, 117(3), 281-287.
- Srivastava, J. K., Shankar, E., & Gupta, S. (2010) Chamomile: A herbal medicine of the past with a bright future (Review). *Molecular Medicine Reports*, 3(6), 895-901.
- Stanojevic, L. P., Marjanovic-Balaban, Z. R., Kalaba, V. D., Stanojevic, J. S., & Cvetkovic, D. J. (2016). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Chamomile Flowers Essential Oil (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(8), 2017–2028.
- Şahin, H., Tunç, R., Şekerciler Subaşı, F. (2023). Chamazulene Content and Hypoglycemic Potential of *Matricaria chamomilla* L. Samples Collected from Six Different Localities of Diyarbakır/Türkiye. *Commagene Journal of Biology*, 7(2), 107-112.
- Tolouee, M., Alinezhad, S., Saberi, R., Eslamifar, A., Zad, S. J., Jaimand, K., Taeb, J., Rezaee, M. B., Kawachi, M., Ghahfarokhi, M. S., & Abyaneh,

- M. R. (2010). Effect of *Matricaria chamomilla* L. flower essential oil on the growth and ultrastructure of *Aspergillus niger* van Tieghem. *International Journal of Food Microbiology*, 139(3), 127-133.
- Tsivelika, N., Sarrou, E., Gusheva, K., Pankou, C., Koutsos, T., Chatzopoulou, P., & Mavromatis, A. (2018). Phenotypic variation of wild Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) populations and their evaluation for medicinally important essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*, 80, 21-28.
- Wang, X., Dong, K., Ma, Y., Jin, Q., Yin, S., & Wang, S. (2020). Hepatoprotective effects of chamazulen against alcohol-induced liver damage by alleviation of oxidative stress in rat models. *Open Life Sciences*, 15, 251–258.
- Yassein, A. A. M., Hassan, A. A. H. A., Selim, S. M., & Abdel-Allah, E. M. (2021). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Explores Agro-Morphological and Genetic Variation Affected by Chemical Mutagen. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(2), 1-7.
- Zengin, G., Mollica, A., Arsenijević, J., Pavlić, B., Zeković, Z., Sinan, K. I., Yan, L., Cvetanović Kljaki, A., Ražić, S. A. (2023). Comparative Study of Chamomile Essential Oils and Lipophilic Extracts Obtained by Conventional and Greener Extraction Techniques: Chemometric Approach to Chemical Composition and Biological Activity. *Separations*, 10, 1-19.
- Żukowska, G. & Durczyńska, Z. (2024). Properties and Applications of Essential Oils: A Review. *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), 333–340.

BÖLÜM 3

MİKORİZA VE BİTKİ SAĞLIĞI

Meral ÖDEMİŞ¹, Prof. Dr. Çiğdem KÜÇÜK²,
Doç. Dr. Bülent TOPRAK³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385513>

¹ Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye E-mail: meralodemis53mail.com, Orcid No: 0000-0001-8750-8154

² Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye E-mail: ckucuk@harran.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-5688-5440

³ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye E-mail: bulent.toprak@ikcu.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6500-7885

GİRİŞ

Mikorizal mantarların yeryüzündeki kolonizasyonlarının milyonlarca yıl öncesine dayandığı tahmin edilmektedir. Mikorizal mantarlarla bitkiler arasında simbiyotik birlikteliğin oluşmaya başlaması, bitkilerin karasal ekosistemlerde var olmasında ve yayılmasında rol oynamıştır (Smith ve Read, 2008). Bu yüzden, “Ekosistem Mühendisleri” olarak anılan mikorizal mantarlar, bitki-toprak-su ilişkilerini doğrudan ve dolaylı etkileyerek dünyamızı şekillendirmeye devam etmektedirler (Toprak, 2022).

Mikorizal mantarlar ve bitkilerin ortaklığı, bitkinin hastalıktan korunması, toprak yapısı ve kalitesinde önemlidir (Almaca, 2014). Mikorizal bitkiler çoğunlukla daha fazla rekabetçi olup, çevresel streslere karşı toleranslı olmaktadır (Çalışkan, 2017). Mikorizalar; bitki köklerinin asimilasyonunu yaklaşık 1000 katı kadar arttırarak topraktaki su ve mineral maddeleri bitkilerin kullanımlarına sunmaktadır. Mikorizal mantarlar, toprak içerisinde fosfor (P), demir (Fe) ve benzeri besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilirliğini artıran güçlü kimyasal bileşikler salgılar (Olgaç, 2021). Ortaklık kurdukları mikorizaların yardımıyla bitkiler, kuraklık gibi olumsuz çevresel koşullardan daha az etkilenirler. Bazı mikorizal türler bitki kök bölgesine ulaşan zararlı mikroorganizmalara karşı antibiyotik benzeri maddeleri salgılayarak hastalıklara karşı bitkiyi korumaktadırlar (Demirözer & Özgönen, 2013).

Mikorizal funguslar, bitki köklerini hem bir yaşam bölgesi hem de besin kaynağı olarak kullanabilirken, aynı zamanda toprak kaynaklı patojenik mantarlarla rekabete girerek biyolojik bir mücadele ortamı oluşturmaktadırlar. Bu funguslar, patojenlerin gelişimini engellemenin yanı sıra, bitkide kitinaz ve fitoaleksin benzeri doğal bileşiklerin üretimlerini desteklerler. Böylece, bitkilerin kök hastalıklarına karşı doğal bağışıklığı artmaktadır, mikorizal köklerin yüzeyi ya da çevresi, patojenlere karşı antagonistik etkiler göstererek

yararlı mantar ve bakterileri kapsayan mikrobiyal beraberliklerin yanı sıra, fosfat gibi besin maddelerini de içermektedir (Traquair, 1995). Mikorizalar toprak biyolojisinde yoğun bir şekilde araştırılmakta ve bitki sağlığıyla ekosistem işleyişinde önemli bir rol oynamaktadır (Amaranthus, 2001). Bu bölümde Mikoriza çeşitleri, bitki ile mikoriza arasındaki ilişkiler, arbusküler mikorizanın bitki üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

2. Mikoriza Türleri

Mikorizalar, morfolojik, fizyolojik ve evrimsel faaliyetleri bakımından farklılık gösterir ve bu farklılıklara göre dört temel mikoriza sınıfı olarak sınıflandırılmıştır: Arbusküler Mikoriza (AM), Ektomikoriza (EM), Ericoid mikoriza (ErM) ve Orkide Mikorizalar (OM) (Tedersoo ve Bahram 2019).

a. Arbusküler mikorizalar; Bitki kökleri ve funguslar arasında patojenik olmayan simbiyotik ilişkidir. Çoğu kültür bitkisinde ve hemen hemen bütün bitkilerde görülür (Gosling ve ark., 2006). Kök korteksinde emici hifler (arbusküler), vesiküller (yağ ve besin depoları) ve toprağı saran miselyumlar bulunur (Gosling ve ark., 2006). Kök dışındaki AMF miselleri kök mekanizmasını sararak toprağın altına doğru ilerleyerek toprakta yayılır, bitki ile ortaklık kurarak su ve besinleri absorbe eder ve bitkiye verir; bitkinin topraktaki fosfordan yararlanmasını sağlar, hastalıklara karşı dayanıklılıklarını artırır. Bu mutualist yaşamda fungus bitkiden fotosentez ürünlerini almaktadır. Keten, mısır, buğday, sorgum, arpa, patates ve ayçiçeği mikorizal birlikteliklerden faydalanabilirler. *Crucifera*, *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae* ve *Caryophyllaceae* familyaları içinde olan bazı bitkilerin AMF ile simbiyosis oluşturmadığı özellikle kanola köklerinde kolonize olmadığı açıklanmıştır (Dalpe & Monreal 2004).

b. Ekto-mikorizalar; *Basidiomycota*, *Ascomycota* ve *Zygomycota*'ya ait birçok türü kapsar. Genellikle odunsu bitkilerin köklerinde bulgur.Hartig ağı ve rizomorf yapıları ile karakterizedir (Ediriweera ve ark., 2022). Bitki kökleri mantar mantosu ile kaplıdır ve fungusların çoğu kökün dışında kalır. Orman ağaçlarında (meşe, çam vb.) yaygındır (Van der Heijden ve ark., 2015).

c. Ericoid mikoriza; *Ericaceae* familyasına ait bitkiler (örneğin yaban mersini, vb.), genellikle asidik yada besin açısından fakir topraklarda yaşamaktadır. Bu koşullarda hayatta kalmalarını sağlayan temel uyumlardan biri, ericoid mikoriza olarak adlandırılan özel bir mantar-bitki simbiyotik ilişkidir. Bu mikorizal beraberlik, bitkinin ince lateral köklerinde, özellikle epidermis hücrelerinde, dallanmış olan hifal sarmalların meydana gelmeleriyle karakterize edilmektedir (Smith & Read, 2008).

d. Orchidaceae mikoriza; Orkideler özgün olan küçük tohumlarda az miktarda besin maddeleri depolamaktadırlar. Tohum filizlenmeden önce bitkinin alanına göre yerleşiminin olması ya da mikorizal mantarın, gelişen embriyoya karbon ve vitaminler sağlamasıdır. Klorofilsiz olan türlerde bitkilerin tüm hayatları boyunca karbon gereksinimlerini karşılamak için bu simbiyotik ilişkiye ihtiyaç duyarlar (Bolat, 2006).

3. Bitki ile mikoriza arasındaki ilişkinin kurulumu

Bitki kökleriyle mikorizalar arasındaki etkileşim oldukça karmaşıktır. Kökteki salgılar, topraktaki sporların çimlenmelerini ve gelişmekte olan hiflerinin kendine doğru yönelmelerini sağlamakta, bu da hiflerle kökler arasında bağlantı kurmaktadır. Bu temaslardan sonra hiflerle kökler arasında oluşan adhezyonla kökün dış yapısına tutunan AMF, konakçının kök zarı

boyunca ilerleyerek kök yapısında hücreler arası ve hücre içinde yayılmaya başlar (Muchovej, 2001).

Arbüsküler mikorizal mantarlar (AMF), çeşitli bitki türleri ile ortaklık oluşturmaktadır, buna karşın konukçularına özel, özgün bir tanıma veya enfeksiyon mekanizmasına sahip değildir. Bitki kökünü penetre eden hifler, hem intersellüler hem de intrasellüler olarak gelişim gösterebilmekte; ancak meristematik veya endodermik hücrelere enfekte edemezler. Konukçu hücrelerine giren hifler, hücre içerisinde yaklaşık 2-5 gün gibi kısa bir zamanda, arbuskül olarak adlandırılan, yoğun dallanmış ve emeç benzeri yapılar geliştirir (Smith & Read, 2008). Arbuskülün oluşumu, konukçu hücredeki hücresel faaliyetleri artırarak, bitki ve mantar arasında karşılıklı besin ve metabolit alışverişine olanak sağlar. Bu yapılar, 4-15 günde konukçu hücre aracılığıyla oluşumlarını tamamlanmakta ve hücre normal fizyolojik işlevleri sürdürmektedir (Smith & Read, 2008).

Arbuskül oluşumunda yada sonrasında, bazı AMF türleri intersellüler yada intrasellüler olarak vesiküller meydana getirirler. Bu yapılar lipid içeriklidir, mantar için enerji ve besin maddesi depo organı olarak işlev görür. Bitkiden gerekli oranda metabolit alınmadığında, bu depo maddeleri mantar aracılığıyla kullanılır. AMF, hem kök üzerinde hem de içinde dağılım göstererek gelişmekte olan kökleri farklı noktalardan enfekte eder. Gelişen hifler rizosferde yayılırken, kök bölgesinde ve toprakta ekstraradikal hifler de oluştururlar. Bu yapılar, topraktan besin alımı ve besinlerin köke taşınmasında önemli rol oynamaktadır (Sieverding, 1991; Peterson & Farquhar, 1994).

EM mantarların oluşturduğu seyrek dokulu fungal örtü, kökleri su stresine karşı korudukları gibi, patojen mikroorganizmalara karşı da koruyucu etki gösterir. Ayrıca, Hartig ağı yalnızca besin alışverişine aracılık etmekle kalmaz, aynı zamanda çözünür ve çözünmeyen karbonhidratlar, lipidler,

fenolik bileşikler ve polifosfatlar gibi bileşenleri de bünyesinde içerir (Peterson ve ark., 2004).

4. AMF'nin Bitki Fizyolojisi ve Sağlığı Üzerindeki Etkileri

AMF, bitki kökleriyle simbiyotik ilişki kurmasına rağmen, köklerde belirgin morfolojik değişiklikler oluşturmaz. Fakat konukçu bitkinin büyümesinde karbon fiksasyon ürünlerinin dağılımı ve mineral madde alımı gibi çeşitli fizyolojik süreçlerde önemli değişiklikler meydana getirir. Bu değişiklikler, kök hücrelerindeki biyokimyasal tepkimeleri etkileyerek membran geçirgenliğini ve kök salgılarının niteliği ile niceliğini de değiştirebilir. Bu durum, rizosferdeki mikrobiyal popülasyon yapısını da etkileyerek bitkinin çevresel stres koşullarına ve patojenlere karşı direncini artırabilir (Linderman, 1996).

4.1. Besin Maddesi Alımı

AMF'nin bitki sağlığı üzerindeki en belirgin etkisi, özellikle fosfor olmak üzere mineral madde alımını artırmasıdır. Bu artış, bitkilerin daha sağlıklı gelişmesini sağlayarak hastalıklara karşı direncini yükseltir (Linderman, 1996).

4.2. Morfolojik Yapıdaki Değişiklikler

AMF kolonizasyonu genellikle köklerde belirgin morfolojik değişim oluşturmakla birlikte, bazı bitkilerde, mikorizal köke yakın bölgelerde sararma ve endodermis tabakasında kalınlaşma gibi sınırlı yapısal farklılıklar gözlemlenmiştir (Linderman, 1988).

4.3. Kimyasal Bileşiklerdeki Değişiklikler

AMF'nin hastalık direncine katkısı, köklerin penetrasyonu sonrasında bazı bileşiklerin üretimini artırmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle arginin,

isoflavonoidler, sitokinin ve gibberellin miktarında artış görülmüştür (Caron, 1989; Muchovej, 2001). Ayrıca köklerde antifungal özellikli kitinaz enzimi konsantrasyonu yükselmekte, bu da bazı patojenlerin (örneğin *Thielaviopsis spp.*) sporulasyonunu engelleyebilmiştir (Linderman, 1996). Morandi ve ark., (1984) tarafında yapılan bir çalışmada, *Glomus intraradices* ile aşılanmış soya fasulyesi köklerinde fitoaleksinin üretiminin arttığı ve bu bileşiklerin patojen gelişimini baskıladığı belirtilmiştir (Morandi ve ark., 1984).

4.4. Abiyotik Stres Koşullarına Direnç

AMF'nin oluşturduğu ekstraradikal hifler, topraktaki fosfor, bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi elementleri absorbe ederek köke taşımaktadır. Mikoriza azot gibi hareketli besin maddelerini tutarak düşük verimli toprakların besince fakirleşmesini engeller. Topraktaki suyun alınmasını kolaylaştırarak kuraklığa karşı direnci artırır. Aynı şekilde, tuzluluğa ve ağır metal kirliliğine karşı da mikorizal bitkilerin dayanıklılığı daha yüksektir (Linderman, 1996; Schafer & Schoeneberger, 1996; Türkmen ve ark., 2008).

5. Mikorizosferdeki Mikrobiyal Etkileşim

Mikorizal bitkilerin mikorizosferinde, mikorizasız bitkilere kıyasla daha zengin bir mikrobiyal popülasyon belirlenmiştir. AMF'nin toprakta yayılan hifleri, organik bileşikler salgılayarak diğer mikroorganizmalar için besin kaynağı oluşturmaktadır. Bu maddeler, toprak parçacıklarını birbirine bağlayarak toprak yapısını düzenleyerek mikroorganizmalar için daha uygun bir ortam hazırlar. Sonuç olarak, toplam bakteri, azot bağlayan bakteri, fosfat çözücü bakteri ve aktinomiset popülasyonları toprakta mikoriza varlığında pozitif şekilde etkilenmektedir (Fitter & Garbaye, 1994; Andrade ve ark., 1998).

5.1. Toprak Kaynaklı Patojenlere Karşı Etki

AMF'nin bazı toprak kaynaklı patojenlere karşı koruyucu etkisi olduğu belirtilmiştir. Ancak bu etkinin bazı çalışmalarda patojen baskılanması, bazılarında ise etkisizlik ya da patojen aktivitesinde artış şeklinde değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir. Bu farklılıklar, simbiyotik türler, çevresel koşullar, inokulasyon zamanı ve kök kolonizasyon oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermiştir (Smith & Read, 2008).

5.2. Nematodlara Karşı Etki

AMF'nin bitki-nematod etkileşiminde hastalık şiddetini azalttığı yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Mikorizal bitkilerde gal sayısında, yumurta ve nematod yoğunluğunda azalma saptanmıştır. Ancak bu etkinin altında yatan mekanizma henüz tam olarak aydınlatılamamıştır (Sieverding, 1991). Bazı durumlarda ise, mikorizal bitkilerde hastalık şiddetinin arttığı gözlenmiştir. Bu farklılıklar, nematod türü, mikorizal mantar türü, kolonizasyon yoğunluğu ve kök salgılarındaki bileşiklerin nematod enfeksiyonunu etkilemesi gibi faktörlerle ilişkilendirilmektedir (Linderman, 1996).

6. AMF VE ABIYOTİK STRES

6.1. Kuraklık

Kuraklık stresi, bitki yaşamını fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde etkileyen karmaşık bir çevresel baskı olmaktadır. Özellikle de köklere erişen suyun azalmasıyla, transpirasyon miktarının düşmesine ve bunun sonucunda oksidatif stresin yükselmesine sebep olmaktadır (Impa ve ark., 2012; Hasanuzzaman ve ark.,2013). Kuraklık stresi, aynı zamanda enzim aktivitelerini, iyon alımlarını ve besin asimilasyonu gibi metabolik süreçleri bozarak bitkinin gelişmesini ve büyümesini olumsuz etkilemektedir (Ahanger & Agarwak, 2017; Ahanger ve ark., 2017). Bununla beraber, buğday, arpa,

mısıır, soya fasulyesi, ilek ve soğan gibi birçok bitki de, arbusküler mikorizal mantarların (AMF) kuraklık stresini hafifletici etkilerinin olduğuna dair araştırmalar yapılmıştır (Mena-Violante ve ark., 2006; Ruiz-Lozano ve ark., 2015; Yooyongwech ve ark., 2016; Moradtalab ve ark., 2019).

6.2. Tuzluluk

Toprak tuzluluğu, küresel gıda güvenliğini tehdit eden ve giderek yükselen ciddi bir çevresel sorun olarak görülmektedir. Tuzluluk stresi, vejetatif gelişimleri ve net asimilasyon miktarını olumsuz etkileyerek bitki büyümesini baskılamakta, ürün veriminde de azalmalara neden olmaktadır (Hasanuzzaman ve ark., 2013; Ahanger ve ark., 2017). Ayrıca, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimlerini teşvik ederek oksidatif stresin artmasına sebep olmaktadır (Ahmad ve ark., 2010; Ahanger & Agarwal, 2017; Ahanger ve ark., 2017). Bu nedenle, tuzlu topraklarda bitkisel üretimlerin arttırılmasına yönelik çeşitli birçok stratejiler araştırılmıştır. Bu stratejilerden biri; arbusküler mikorizal mantarların (AMF) tuzluluk şartlarında bitkiler üzerinde meydana getirdikleri olumlu etkilemektedir (Santander ve ark., 2019). Birçok araştırma, AMF'nin tuzluluk stresi altında bitki gelişimini ve verimini arttırmada etkili olduklarını ortaya koymuştur (Talaat & Shawky, 2014; Abdel Latef & Chaoxing, 2014). Örneğin, El-Nashar (2017) yaptıkları araştırmada AMF inoklasyonunun *Antirrhinum majus* (aslanagzı) bitkisinin gelişim oranını, yaprak su potansiyelini ve su kullanım verimliliklerini arttırdığını gözlemlemiştir (El-Nashar, 2017).

Wang ve ark. (2018), orta derecede tuz koşulların mikorizal aşılama ile bitkilerin sürgün ve kök yaş ve kuru ağırlıklarında, azot konsantrasyonunda önemli oranda artış olduğunu bildirmişlerdir (Wang ve ark., 2018).

6.3. Ağır Metaller

AMF, bitki savunma mekanizmalarını güçlendirerek ağır metallerle kirlenmiş olan topraklarda bitki gelişimlerini desteklemiştir (Liu ve ark., 2013; Yousaf ve ark., 2016). Ağır metallerin gıda ürünlerinde, meyvelerde, sebzelerde ve toprakta birikerek insan sağlığı bakımından ciddi riskler meydana getirdikleri bilinmektedir (Liu ve ark., 2013; Yousaf ve ark., 2016). Buğday bitkisinde AMF ile kurulan simbiyotik ilişki, alüminyum stresi koşullarında bitkinin topraktan besin alımlarını olumlu yönde etkilemiştir (Aguilera ve ark., 2014).

Kadmiyum (Cd) ve çinko (Zn) gibi ağır metallerle kirlenmiş olan topraklarda yetiştirilen bitkilerin, sürgün ve kök gelişimlerini baskılanmakta, yaprak klorozu ve hatta bitki ölümleri gözlemlenmektedir (Moghadam, 2016). Ağır metaller, AMF'nin iç ve dış hif yapılarına absorbe olup, hücre duvarına bağlanabilir, vakuollerde depolanabilir ya da sitoplazmada şelat kompleksleri meydana getirerek bitki dokularına taşınmaları engellenebilir. Bu sistemler sayesinde bitkideki metal toksisitesinin önemli oranda azaldığı belirlenmiştir (Punamiya ve ark., 2010).

6.4. Sıcaklık

Toprak sıcaklığının yükselmesi, bitkileri sürdürülebilir verim ve üretim için AMF ile ortaklığa bağlı hale getirebilir (Bunn ve ark., 2009). Sıcaklık stresi, bitkilerin canlılıklarının kaybına, tohum çimlenmesinin engellenmesine, büyüme hızının gecikmesine, biyomasın azalmasına, yaprakların solmasına ve yanmasına, meyve hasarı ile renginin solması gibi verim kayıplarına ve hücre ölümlerine sebep olabilmektedir (Wahid ve ark., 2007; Hasanuzzaman ve ark., 2013). Ayrıca, oksidatif stresin artması, bitki büyümesini ve gelişimini önemli oranda etkileyebilmektedir. Genelde, AMF ile aşılانmış bitkiler, AMF ile aşılانmamış olanlarla karşılaştırıldıklarında sıcaklık stresi altında daha iyi

gelişme göstermiştir (Gavito ve ark., 2005). Örneğin, Maya ve Matsubara (2013), *Glomus fasciculatum* 'nin bitki gelişimi ve büyümesi üzerinde yüksek sıcaklık şartlarında olumlu etkiler meydana getirdiklerini bildirmiştir (Maya ve Matsubara, 2013).

AMF soğuk stresine karşı da bitkilerin toleranslılığını artırmıştır (Birhane ve ark., 2012; Liu ve ark., 2013). Birçok araştırmada, düşük sıcaklık koşullarında AMF ile aşıl原因an bitkilerin, AMF aşıl原因anmamış bitkilerle karşılaştırıldıklarında daha iyi gelişme gösterdiği gözlemlenmiştir (Zhu ve ark., 2010; Abdel Latef & Chaoxing, 2011; Chen ve ark., 2013; Liu ve ark., 2013). Arbusküler mikoriza mantarları (AMF), bitkilerin soğuk stresle başa çıkmasına yardım ederek bitki gelişimini pozitif yönde etkiler (Birhane ve ark., 2012). Ayrıca AMF'nin, konukçu bitkide nem tutma kapasitelerini arttırabileceği (Zhu ve ark., 2010), bağışıklık sistemini güçlendirdiği, sekonder metabolitlerin sentezlerini arttırabildiği, soğuk stres koşullarında AMF ile aşıl原因an bitkilerin su kullanım verimliliklerinde de artış olduğu açıklanmıştır (Zhu ve ark., 2010; Abdel Latef ve Chaoxing, 2011).

7. SONUÇ

Mikoriza, bitki-mantar simbiyotik ilişkisinin önemli bir parçası olarak sadece bireysel bitki büyümesini değil, aynı şekilde ekosistem bütünlüğünü ve toprak sağlığını da etkilemektedirler. Mikorizal birliktelikler, bitki besin elementinin alımını arttırdığı gibi, çevresel stres faktörlerine karşı da toleransı arttırmakta ve bazı hastalıklara karşı koruyucu bir rol üstlenmektedir. Bununla beraber tarımsal uygulamalar, yüksek dozda fosforlu gübreleme ve toprak işleme benzeri insan kaynaklı işlemler mikorizal mantarların aktivitesini azaltabilmektedir. Bu nedenle, mikorizal ilişkilerin tarımsal üretim sistemlerine entegrasyonu, hem verim artışını artırmak hem de çevresel sürdürülebilirlik bakımından teşvik edilmelidirler. Gelecekte de yapılacak

araştırmalar, mikorizal türlerin daha iyi tanımlanması, yaygınlaştırılması ve biyoteknolojik uygulamalarla desteklenmeleri yönünde ilerlemelidir. Kuraklık, tuzluluk, ağır metaller ve sıcaklık gibi abiyotik stres faktörleri, bitkilerin büyüme ve gelişmelerini önemli ölçüde etkileyerek verim kayıplarına neden olmaktadır. Bununla beraber, AMF'nin stres faktörlerine karşı bitki toleranslarını artırma potansiyeli dikkat çekmektedir. Özellikle, AMF kök hacmini genişletme, su alımını artırma, oksidatif stresi azaltma ve osmatik adaptasyonu sağlamada da önemli rol oynadıkları görülmektedir. Kuraklık stresinde AMF'nin bitkilerin su alımlarını arttırarak biyomass üretimini destekledikleri, tuzluluk koşullarında ise fotosentez oranlarını iyileştirerek bitkilerin su kullanım verimliliklerini yükselttiği tespit edilmiştir. Ayrıca, ağır metal kirliliğinde, AMF 'nin bitkideki metal birikimlerini azaltarak, bitkilerde toksisiteyi düşürmekte ve bitki gelişimini de desteklediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık stresi altında ise AMF 'nin bitkilerin oksidatif stresle mücadele etme kabiliyetlerini arttırarak daha iyi bir gelişme sağladıkları görülmüştür. Sonuç olarak, AMF 'nin abiyotik streslere karşı da bitkilerin uyumunu arttırmadaki rolleri, gelecekte de daha dayanıklı ve verimli tarım mekanizmalarının kurulmalarında oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar, AMF 'nin tarımsal üretimlerde kullanılmalarını teşvik etmek için daha fazla çalışmaya gereksinim duyulduğu, bu simbiyotik ilişki de, bitkilerin stres toleranslarını arttırmada da sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Abdel Latef, A. A. H., & Chaoxing, H. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviated adverse effects of drought on growth and antioxidant defense system of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Physiology*, 168(11), 1370–1377. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.01.019>
- Abdel Latef, A. A. H., & Chaoxing, H. (2014). Mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi to alleviate salt stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.001>
- Aguilera, A., Zúñiga, R., & Jorquera, M. A. (2014). Wheat growth enhancement under aluminum stress by arbuscular mycorrhizal fungi. *Biology and Fertility of Soils*, 50(2), 215–225. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0842-4>
- Ahmad, P., Sarwat, M., & Sharma, S. (2010). Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. *Journal of Plant Biology*, 51(3), 167–173. <https://doi.org/10.1007/s12374-010-0009-z>
- Ahanger, M. A., & Agarwal, R. M. (2017). Salinity stress induced alterations in antioxidative enzymes and physiological indices in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 479–487.
- Almaca, C. (2014). Mikoriza uygulamasının bitki gelişimi üzerindeki etkileri. *Bitki Koruma Bülteni*, 54(1), 41–49.
- Amaranthus, M. (2001). The importance and conservation of mycorrhizal fungi. *Forest Mycology Research*, 11, 1–5.
- Andrade, G., Mihara, K. L., Linderman, R. G. & Bethlenfalvay, G. J. 1998. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and Soil* 202, 89–96.

- Birhane, E., Mulugeta, L., & Amede, T. (2012). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in increasing crop productivity under cold stress. *Mycorrhiza*, 22(4), 353-364.
- Bolat, İ. (2006). Mikorizal simbiyozların orkidelerdeki önemi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 57-62.
- Bunn, R., Christensen, M., & Johnson, S. (2009). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on plant responses to environmental stresses. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(1-2), 48-56.
- Caron, M. (1989). Potential use of mycorrhizae in control of soil-borne diseases. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11, 177-179.
- Çalışkan, M. (2017). Mikorizal simbiyozların bitkiler üzerindeki etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(3), 146-152.
- Chen, L., Zhai, Y., Wang, M., & Tang, M. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and stress tolerance under cold conditions. *Plant and Soil*, 373(1), 75-89.
- Dalpé, Y., & Monreal, M. (2004). Vesicular-arbuscular mycorrhizae in cropping systems. *Agriculture and Agri-Food Canada*, 1-6.
- Demirözer, O., & Özgönen, H. (2013). Mikorizaların bitki hastalıklarına etkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(2), 135-140.
- Ediriweera, A. N., Karunarathna, S. C., Yapa, P. N., Schaefer, D. A., Ranasinghe, A. K., Suwannarach, N., & Xu, J. (2022). Ectomycorrhizal Mushrooms as a Natural Bio-Indicator for Assessment of Heavy Metal Pollution. *Agronomy*, 12(5), 1041.
- El-Nashar, Y. I. (2017). AMF effects on *Antirrhinum majus* under salt stress. *Journal of Horticultural Science*, 52, 333-340.
- Fitter, A. H., & Garbaye, J. (1994). Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. *Plant and Soil*, 159, 123-132.

- Erdoğan, Z., Eraslan, E.C., Akgül, H., (2023). “Tarımsal Açıdan Önemli Olan Mikorizal Mantarların Bitki Büyüme Ve Gelişmesi Üzerine Faydaları”, Fen Bilimleri & Matematikte Güncel Araştırmalar- s:70-86.
- Gavito, M. E., Gomez, M., & Ruiz, F. (2005). The influence of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth under high temperature stress. *Symbiosis*, 39(3), 163-171.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4), 17–35. doi:10.1016/j.agee.2005.09.009
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643–9684.
- Impa, S. M., Nadarajan, S., Jagadish, S. V. K., & Wheeler, T. R. (2012). Drought stress in cereals: Mechanisms and modern breeding approaches for crop improvement. In *Plant Stress Physiology* (pp. 1–25). CABI.
- Linderman, R. G. (1988). Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. *Phytopathology*, 78(3), 366–371.
- Linderman, R. G. (1996). Mycorrhizal fungi and plant health. *Annual Review of Phytopathology*, 34, 387–412.
- Liu, Y., & He, Z. (2013). Heavy metal contamination in agricultural soils and the associated health risks of food crops: A review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(1), 29-38. <https://doi.org/10.1002/etc.2084>
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed., Academic Press. London, 889p.

- Maya, D., & Matsubara, Y. (2013). Effects of *Glomus fasciculatum* inoculation on plant growth and development under high-temperature conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(2), 120-126.
- Mena-Violante, H. G., Ocampo-Jiménez, O., Dendooven, L., Martínez-Soto, G., González-Castañeda, J., Davies, F. T., & Olalde-Portugal, V. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L.) under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 6(1), 35–42.
- Moghadam, M. R. A. (2016). Effect of heavy metals on plant physiology. *Environmental Research*, 147, 21–28.
- Morandi, D., Bailey, J. A., & Gianinazzi-Pearson, V. (1984). Defense responses in soybean roots infected with mycorrhizal fungi. *Physiological Plant Pathology*, 24(2), 141–148.
- Moradtalab, N., Weinmann, M., Walker, F., & Neumann, G. (2019). Phosphorus supply and arbuscular mycorrhizal fungi affect growth, physiology and nutrient uptake of onion under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 253, 131–140.
- Muchovej, R. M. (2001). Hormonal interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and host plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20(2), 141–153.
- Olgaç, V. (2021). Mikorizaların bitki gelişimine etkileri. *Toprak Bilimi Dergisi*, 8(2), 56–63.
- Peterson, R. L., & Farquhar, M. L. (1994). Mycorrhizas: Integrated development between root and fungus. *Mycologia*, 86, 311–326.
- Peterson, R.L., Massicotte, H.B., Melville, L.H., 2004. ‘Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology, CABI Publishing, Wallingford, UK, p:169.

- Punamiya, P., Shukla, M., & Gupta, S. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi as a tool for bioremediation of heavy metal-contaminated soil. *Bioremediation Journal*, 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/10889868.2010.512209>
- Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, Á. M., Paz, J. A., García-Mina, J. M., & Pozo, M. J. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces systemic plant resistance by priming jasmonic acid and salicylic acid signaling pathways. *Frontiers in Plant Science*, 6, 75.
- Santander, Sanhueza, Olave, Borie, Valentine, Cornejo, 2019. ‘Contribution of AMF colonization to salt stress tolerance in lettuce plants.’, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
- Schafer, M., & Schoeneberger, M. M. (1996). Interactions between mycorrhizal fungi and environmental stress. *Journal of Environmental Quality*, 25(1), 123–130.
- Sieverding, E. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *GTZ*. 371 syf.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. London, UK. 800p.
- Talaat, N. B., & Shawky, B. T. (2014). AMF role in improving plant tolerance to salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 278–284.
- Tedersoo, L., & Bahram, M. (2019). Evolutionary and ecological aspects of mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 223, 512–517.
- Toprak, B., 2022. “Mikorizal Funguslar. Şu eserde: Asan, A., Selçuk, F., Sevindik, M., Giray, G. (edt.). Genel Mikoloji, s. 333-351, Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara.
- Traquair, J. A. (1995). Mycorrhizal fungi in disease resistance. *Plant and Soil*, 172, 141–153.

- Türkmen, C., Dursun, A., & Gülser, F. (2008). Mikorizal inokulasyonun bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1–10.
- van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal Ecology and Evolution: The Past, The Present, and The Future. *New phytologist*, 205(4), 1406-1423.
- Wahid, A., Rasul, E., & Hossain, M. (2007). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in enhancing plant growth under heat stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(3), 135-140.
- Wang, Y., Wang, M., Li, Y., Wu, A., & Huang, J. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of *Chrysanthemum morifolium* under salt stress. *PLoS ONE*, 13(4), e0196408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196408>
- Yooyongwech, S., Tisarum, R., Theerawitaya, C., Cha-um, S., Samphumphuang, T., (2016). Drought tolerance in strawberry inoculated with AMF. *Scientia Horticulturae*, 198, 208–216.
- Yousaf, B., Liu, G., Wang, R., Imtiaz, M., Zia-ur-Rehman, M., Munir, M. A. M., et al. (2016). Bioavailability evaluation, uptake of heavy metals and potential health risks via dietary exposure in urban-industrial areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 22443–22453. doi: 10.1007/s11356-016-7449-8
- Zhu, X., Ma, X., & Yao, J. (2010). Mycorrhizal fungi as a key factor in increasing plant cold tolerance. *Soil Biology & Biochemistry*, 42(6), 915-920.

BÖLÜM 4

***Salvia Officinalis* L. (TIBBİ ADAÇAYI): FİTOKİMYASI, BİYOLOJİK ETKİLERİ, YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR DERLEME**

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385527>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi

GİRİŞ

Salvia cinsi (Lamiaceae) yaklaşık 900 tür içermekte olup, Akdeniz havzası bu cinsin önemli çeşitlilik merkezlerinden biridir (Walker ve ark., 2004). Bu türler arasında *Salvia officinalis* L. (tıbbi adaçayı) ekonomik açıdan en değerli ve en çok çalışılan türdür. Adaçayı, tarih boyunca geleneksel tıpta sindirim sistemi rahatsızlıkları, boğaz ağrısı, aşırı terleme ve hafıza zayıflığına karşı kullanılmış; günümüzde ise bitki çayı, farmasötik preparatlar, kozmetik ürünler ve fonksiyonel gıdalarda değerlendirilmektedir (Perry ve ark., 2001; Kennedy ve ark., 2006).

Adaçayına olan bu küresel ilginin temelinde zengin fitokimyasal yapısı bulunmaktadır. Uçucu yağında genellikle α - ve β -tujon, kamfor ve 1,8-sineol baskın bileşenlerdir (Damyanova ve ark., 2016; Jažo ve ark., 2023). Ancak bu bileşenlerin oranları genotip, coğrafi köken, mevsim, ontogenetik evre ve hasat zamanına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir (Abu-Darwish ve ark., 2013; Hazrati ve ark., 2022). Bunun yanı sıra adaçayı; rosmarinik asit, karnosik asit ve karnosol gibi fenolik bileşikler bakımından da zengindir ve bu bileşikler güçlü antioksidan, antimikrobiyal ve antiinflamatuvar etkilere sahiptir (Mot ve ark., 2022; Craft ve ark., 2017).

Biyolojik ve farmakolojik araştırmalar, adaçayı ekstrelerinin geniş bir etki spektrumuna sahip olduğunu göstermektedir. İn vitro ve in vivo çalışmalar antimikrobiyal, antifungal, antioksidan, antienflamatuvar, antidiabetik ve antikanser etkiler ortaya koymuştur (Abu-Darwish ve ark., 2013; Perry ve ark., 2001). Klinik araştırmalarda ise özellikle bilişsel performansın artırılması (asetilkolinesteraz inhibisyonu yoluyla) ve menopoza semptomlarının hafifletilmesi konularında olumlu sonuçlar bildirilmiştir (Kennedy ve ark., 2006; Wightman ve ark., 2021; Wilfried ve ark., 2021). Ancak bu verilerin standardize edilmiş doz-form çalışmalarıyla desteklenmesi gerekmektedir.

Adaçayı kullanımında güvenlik ve toksikoloji önemli bir başlık oluşturmaktadır. Thujon ve kamfor, yüksek miktarlarda toksikolojik açıdan risk taşımaktadır. Bu nedenle Avrupa İlaç Ajansı (EMA) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) gibi kurumlar bitkisel preparatlar için sınır değerler belirlemiş; ayrıca ISO 9909 standardı, Dalmaçya adaçayı (Tıbbi adaçayı) yağı için kalite kriterleri tanımlamıştır (EMA, 2016; EFSA, 2024; ISO, 1997).

Tablo 1: *Salvia officinalis* için uluslararası kalite kriterleri (EMA, EFSA, ISO)

Kurum / Standart	İçerik / Kapsam	Belirlenen Kriterler ve Notlar
EMA (Avrupa İlaç Ajansı; HMPC monografi, 2016)	İnsan kullanımı (bitkisel tıbbi ürünler)	• Tüjon sınırı: Bitmiş üründe tüjon miktarı beyan edilmeli; günlük maruziyet ≤ 6.0 mg olmalı. • Kullanım süresi: Ağızdan kullanımda tipik endikasyonlar için en fazla 2 hafta; oromukozal gargaralarda 1 hafta. • Uyarılar: Çocuk ve ergenlerde veri yetersiz; gebelik/laktasyonda kullanılmamalı. Aşırı alımda taşikardi, baş dönmesi, konvülsiyon riski; düşük tüjonlu kemotipler tercih edilmeli.
EFSA (Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi; FEEDAP görüşleri, 2024–2025)	Hayvan yemi katkıları (duyusal/flavouring ajan olarak adaçayı yağı ve tentürleri)	• Adaçayı yağı (<i>S. officinalis</i>): Komple yemlerde ornamental balıklar için 20 mg/kg’a kadar güvenli. • Kamfor: Yemlerde 5 mg/kg düzeye kadar güvenli. • İspanyol adaçayı yağı (<i>S. lavandulifolia</i>): Komple yemlerde 14 mg/kg’a kadar güvenli (metodolojik olarak <i>S. officinalis</i> için yapılan risk analizleriyle paralel). • Ek not: Kullanıcı/işçi güvenliği açısından cilt–göz iritanı, dermal/solunumsal duyarılaştırıcı olarak değerlendirilmiştir.
ISO 9909 (1997) – “Dalmaçya adaçayı yağı” (<i>Salvia officinalis</i> L.) standardı	Uçucu yağ kalite standardı (farmakope benzeri tanımlama)	• Fizikokimyasal limitler: Yoğunluk (20 °C’de 0.910–0.930), kırılma indisi (1.458–1.474), optik rotasyon (+2° ile +30°), etanolde çözünübilirlik, karbonil değeri (thujone eşdeğeri %28–%78). • Kromatografik profil: α/β-thujone, kamfor, 1,8-cineole vb. bileşenler tanımlanmalı. • Güvenlik: Alev alma noktası yaklaşık +50 °C.

Agronomik açıdan ise farklı gübreleme rejimleri, sulama programları, bitki sıklıkları ve hasat stratejilerinin verim ve bileşim üzerine etkileri Türkiye, Balkanlar ve Akdeniz’in farklı bölgelerinde detaylı olarak incelenmiştir. Yarı kurak koşullarda yapılan denemeler, özellikle azot gübrelemesi ile bitki sıklığının yağ verimi ve bileşimi üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir (İzgi ve ark., 2023; Telci ve Tonçer, 2006).

Sonuç olarak *S. officinalis*, hem ekonomik hem de farmasötik açıdan çok yönlü bir bitki olup, artan doğal ürün talebiyle birlikte dünya çapında daha da önem kazanmaktadır. Bu bölümün amacı adaçayına dair mevcut bilgi

birikimini kapsamlı şekilde sunmak, bölgesel ve küresel çalışmaları bir araya getirerek gelecekteki araştırma yönelimlerine ışık tutmaktır.

BOTANİK ÖZELLİKLER VE YETİŞTİRİCİLİK

Morfolojik Özellikler

Salvia officinalis L., Lamiaceae familyasının tipik temsilcilerinden olup çok yıllık, odunsu tabanlı, 50–80 cm boyolanabilen bir bitkidir. Gövdesi kare kesitlidir, bu da familyanın ayırt edici anatomik özelliklerinden biridir (Walker ve ark., 2004). Yaprakları karşılıklı dizili, oval veya eliptik formda, gri-yeşil renkte ve yoğun tüylüdür. Bu tüyler (trikomlar), uçucu yağların sentezlendiği ve depolandığı salgı yapılarıdır. Çiçekler genellikle menekşemor tonlarında, dikdörtgen biçimli taç yapraklara sahip olup başak şeklinde salkım durumları oluşturur (Perry ve ark., 2001). Çiçeklenme genellikle ilkbahar sonu ile yaz başında yoğunlaşır.

Ekolojik İstekler

Adaçayı, Akdeniz iklimine adapte olmuş tipik bir aromatik bitkidir. Sıcak, güneşli ve yarı kurak ortamlarda yüksek uçucu yağ oranları vermektedir. İyi drene edilmiş, kireççe zengin, hafif veya orta tekstürlü topraklarda optimum gelişim gösterir (Jažo ve ark., 2023). Aşırı soğuklara karşı hassas olmakla birlikte, uzun yaz kuraklıklarına toleranslıdır. Bu nedenle Türkiye'nin Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yetiştiricilik açısından oldukça elverişlidir (İzgi ve ark., 2023).

Çoğaltma ve Yetiştirme Teknikleri

Adaçayı üretiminde hem tohum hem de vejetatif çoğaltma yöntemleri kullanılmaktadır. Tohumdan üretim genetik çeşitlilik sağlasa da, çimlenmenin yavaş olması ve homojenliğin düşük kalması nedeniyle ticari üretimde sınırlı tercih edilir. Çelikle üretim ise genetik olarak sabit, homojen ve yüksek kaliteli populasyonlar oluşturduğundan en yaygın yöntemdir (Telci ve Tonçer, 2006). Ayrıca doku kültürü teknikleri ile fide üretimi üzerine son yıllarda bazı denemeler yapılmaktadır.

Dikim sıklığı ve sıra arası–sıra üzeri mesafe, hem biyokütle hem de uçucu yağ veriminde belirleyicidir. Genel olarak sıra arası 40–60 cm, sıra üzeri 20–30 cm aralıklar önerilmektedir (İzgi ve ark., 2023). Bitki sıklığı arttığında toplam biyokütle artmakta, fakat uçucu yağ oranı nispeten

düşmektedir. Bu nedenle optimum sıklığın belirlenmesi hem verim hem kalite açısından önemlidir.

Gübreleme ve Sulama

Adaçayı, doğal olarak düşük girdiyle yetiştirilebilen bir tür olsa da, azot ve fosfor gübrelemesine duyarlıdır. Azot uygulamaları toplam verimi artırmakta, uçucu yağ bileşimini de yönlendirmektedir. Özellikle artan azot seviyelerinin 1,8-sineol oranını yükseltip tujon seviyelerini düşürebildiği bildirilmiştir (Hazrati ve ark., 2022). Düzenli sulama ise yarı kurak koşullarda bitki gelişimini ve biyokütleyi artırmakta, fakat bazı fenolik bileşiklerin yoğunluğunu azaltabilmektedir. Bu nedenle sulama ve gübreleme yönetimi, verim ile kalite arasında dikkatli bir denge gerektirir.

Hasat Zamanı ve Ontogenetik Faktörler

Adaçayı yaprakları ve genç sürgünleri genellikle çiçeklenme öncesi veya tam çiçeklenme döneminde hasat edilir. Ontogenetik evreler boyunca uçucu yağ kompozisyonunda önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Erken evrelerde 1,8-sineol baskın bileşen olurken, geç evrelerde tujon ve kamfor oranları yükselmektedir (Damyanova ve ark., 2016). Ayrıca günün farklı saatlerinde yapılan hasatlarda da bileşim değişebilmektedir. Sabah saatlerinde genellikle daha hafif bileşikler (sineol, borneol), öğleden sonra ise daha ağır bileşikler (tujon, kamfor) baskın bulunabilmektedir (Hazrati ve ark., 2022). Bu nedenle hem ontogenetik dönem hem de diurnal varyasyon, endüstriyel üretimde kalite standardizasyonu açısından dikkate alınmalıdır.

Bölgesel Denemeler ve Türkiye Örnekleri

Türkiye’de adaçayı üzerine yapılan tarla denemeleri, farklı ekolojik koşulların verim ve kaliteye etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Mardin’de yürütülen çalışmalarda bitki sıklığı $\times$ azot dozu etkileşiminin uçucu yağ bileşimi ve kalite parametrelerinde belirleyici olduğu rapor edilmiştir (İzgi ve ark., 2023). Ege Bölgesi ve Isparta’da yapılan araştırmalarda ise farklı ekotiplerin karşılaştırıldığı ve bölgesel adaptasyon kabiliyetlerinin farklılaştığı ortaya konmuştur (Telci ve Tonçer, 2006). Bu bulgular, Türkiye’nin adaçayı üretiminde önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve ekolojik farklılıkların doğrudan kalite parametrelerine yansıdığını göstermektedir.

FİTOKİMYA (PHYTOCHEMİSTRY)

Uçucu Yağ Bileşenleri

Genel Kompozisyon

Salvia officinalis uçucu yağı genellikle %1–3 arasında değişmekte ve 100'den fazla bileşik içermektedir. En baskın bileşikler arasında α - ve β -tujon, 1,8-sineol, kamfor, borneol, viridiflorol ve humulen bulunmaktadır (Damyanova et al., 2016; Jažo et al., 2023). Bu bileşiklerin oranları genotipik yapı, çevresel koşullar, yetiştirildiği coğrafya, toprak özellikleri ve kültürel uygulamalara göre büyük farklılıklar göstermektedir (Abu-Darwish et al., 2013).

Coğrafi ve Ekolojik Varyasyon

Dalmaçya, Balkanlar, Tunus, Türkiye ve Orta Doğu'dan bildirilen çalışmalarda uçucu yağ bileşiminde ciddi farklılıklar saptanmıştır. Dalmaçya kökenli adaçaylarında ISO 9909 standardı gereği tujona %18–43, kamfora %4–20, 1,8-sineole %3–13 sınır değerleri kabul edilmektedir (ISO, 1997). Tunus ve Cezayir materyallerinde kamfor ve sineol oranları yüksek bulunurken, Türkiye ve Balkan ülkelerinde tujona oranlarının daha baskın olduğu rapor edilmiştir (Mot et al., 2022; Telci & Tonçer, 2006).

Ontogenetik ve Diurnal Değişimler

Adaçayı uçucu yağında ontogenetik evrelere bağlı olarak belirgin kimyasal değişimler görülür. Çiçeklenme öncesi dönemde 1,8-sineol ve borneol oranları daha yüksek, tam çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası evrelerde ise tujona ve kamfor oranları artmaktadır (Damyanova et al., 2016). Ayrıca gün içi varyasyonlar da önemli bulunmuştur. Sabah erken saatlerde sineol ve linalool baskınken, öğle ve öğleden sonra tujon ve kamfor oranlarında artış gözlenmiştir (Hazrati et al., 2022). Bu nedenle adaçayı için hem hasat zamanı hem de günün hasat saati kalite standardizasyonunda belirleyici faktörlerdir.

Türkiye Örnekleri

Türkiye'de yapılan tarla denemeleri adaçayı uçucu yağ kompozisyonunun bölgeden bölgeye değiştiğini ortaya koymuştur. Mardin'de yürütülen çalışmalar, azot gübrelemesi ve bitki sıklığının tujon ve sineol oranlarını etkilediğini göstermiştir (İzgi et al., 2023). Ege ve Isparta yöresinde

yapılan araştırmalarda ise farklı ekotipler arasında uçucu yağ bileşiminde belirgin farklılıklar kaydedilmiştir (Telci & Tonçer, 2006).

Isparta ve Burdur’da yürütülen karşılaştırmalı denemelerde, Dalmaçya ve yerli ekotiplerin yağ verimi ve bileşiminde kayda değer farklılıklar belirlenmiştir. Özellikle Dalmaçya tipi yüksek sineol içeriği ile öne çıkarken, yerli ekotipler daha yüksek kamfor oranına sahiptir (Baydar & Kineci, 2009).

Kahramanmaraş koşullarında yapılan araştırmalar, ekolojik faktörlerin sineol ve kamfor oranları üzerinde etkili olduğunu, yağ veriminde ise yıllar arası önemli dalgalanmalar yaşandığını göstermiştir (Özek et al., 2010). Ankara’da gerçekleştirilen çalışmalarda farklı gübreleme ve sulama rejimlerinin uçucu yağ oranı ile kalitesi üzerinde belirgin etkiler ortaya koyduğu bildirilmiştir (Başer & Kürkçüoğlu, 2001). Güneydoğu Anadolu’da yapılan son dönem araştırmalar, adaçayının yarı kurak koşullara iyi uyum sağladığını ve özellikle düşük sulama koşullarında bile ekonomik verim alınabildiğini vurgulamaktadır (Karaman et al., 2021). Ege Bölgesi’nde yapılan uzun süreli denemeler, farklı hasat zamanlarının uçucu yağ bileşimi üzerinde belirgin etkiler yarattığını, erken hasatta daha yüksek sineol, geç hasatta ise tujon oranlarının arttığını göstermiştir (Çakır et al., 2018). Ayrıca İç Anadolu’da yürütülen seleksiyon çalışmaları, bölgeye uyumlu adaçayı genotiplerinin belirlenmesi ve yüksek kaliteli uçucu yağ bileşimleri elde edilmesi açısından önemli veriler sunmuştur (Gören et al., 2012).

Fenolik ve Non-volatile Bileşikler

Rosmarinik Asit

Rosmarinik asit, adaçayının en bol bulunan fenolik bileşiğidir ve güçlü antioksidan özellikleriyle dikkat çekmektedir. Serbest radikallerin temizlenmesi, lipid peroksidasyonunun engellenmesi ve antiinflamatuvar etkileri birçok çalışmada gösterilmiştir (Petersen & Simmonds, 2003).

Karnosik Asit ve Karnosol

Karnosik asit ve karnosol, diterpen yapısında fenolik bileşikler olup oksidatif stres koşullarında koruyucu rol oynar. Özellikle beyin dokusu üzerinde nöroprotektif etkileri nedeniyle dikkat çekmektedirler (Mot et al., 2022). Ayrıca gıda endüstrisinde doğal antioksidan katkı maddesi olarak değerlendirilmektedirler (Craft et al., 2017).

Diğer Fenolikler

Adaçayında ayrıca kafeik asit, ferulik asit, flavonoidler (apigenin, luteolin türevleri), tanenler ve triterpenler de rapor edilmiştir. Bu bileşikler antimikrobiyal, hepatoprotektif ve antikanserojenik potansiyele katkı sağlar (Perry et al., 2001). Türkiye ve Akdeniz kökenli adaçaylarında fenolik bileşik yoğunluğunun sulama ve gübreleme uygulamalarına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır (Hazrati et al., 2022).

Analitik Yöntemler

Gaz Kromatografisi (GC)

Uçucu bileşiklerin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntem gaz kromatografisi–kütle spektrometresi (GC–MS)’dir. Çoğu çalışmada örnek hazırlama için headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) tekniği tercih edilmektedir (Adams, 2007; Bicchi et al., 2000). Bu yöntem, çözücü kullanılmadan doğrudan uçucu profili ortaya koyması nedeniyle avantajlıdır.

Sıvı Kromatografisi (LC)

Fenolik bileşiklerin tespitinde yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve LC-MS/MS sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle rosmarinik asit, karnosik asit, karnosol gibi bileşikler nicel olarak belirlenebilmektedir (Petersen & Simmonds, 2003; Mot et al., 2022).

NMR ve Spektroskopik Teknikler

Fenolik yapılar ve yeni türevlerin tanımlanmasında Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) spektroskopisi tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca FTIR ve UV–Vis spektroskopisi de destekleyici yöntemler olarak rapor edilmiştir (Craft et al., 2017).

Yeşil Ekstraksiyon Teknikleri

Son yıllarda çevre dostu teknikler adaçayı araştırmalarında öne çıkmaktadır. Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu (SFE-CO₂), yüksek saflıkta uçucu yağ ve fenolik bileşik elde edilmesine imkân tanır (Mezzomo & Ferreira, 2016). Ultrases destekli ekstraksiyon (UAE) ve mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE) ise fenolik verimini artırarak enerji ve çözücü tüketimini azaltmaktadır (Chemat et al., 2017). Bu yöntemler gıda ve farmasötik endüstride sürdürülebilir üretim açısından giderek daha fazla uygulanmaktadır.

BİYOLOJİK VE FARMAKOLOJİK AKTİVİTELER

Antimikrobiyal ve Antifungal Etkiler

Adaçayı uçucu yağları ve ekstraktlarının en çok çalışılan özelliklerinden biri antimikrobiyal etkidir. Hem Gram-pozitif hem Gram-negatif bakterilere karşı geniş bir etki spektrumu vardır. Çalışmalar, özellikle *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Listeria monocytogenes* üzerinde güçlü bakterisidal aktivite rapor etmiştir (Abu-Darwish et al., 2013; Mot et al., 2022). Ayrıca adaçayı ekstraktlarının *Candida albicans* ve dermatofit türleri gibi mantarlara karşı da antifungal potansiyel taşıdığı gösterilmiştir (Jažo et al., 2023).

Etki mekanizmalarının çoğu hücre zarının geçirgenliğinin bozulması, enzim inhibisyonu ve oksidatif strese yol açan serbest radikal oluşumunun tetiklenmesiyle açıklanmaktadır (Perry et al., 2001). Tujon, sineol ve kamfor gibi bileşiklerin bu etkide sinerjistik rol oynadığı düşünülmektedir.

Gıda güvenliği alanında yapılan uygulamalı çalışmalar da önemlidir. Adaçayı yağı, et, tavuk ve balık ürünlerinde lipid oksidasyonunu geciktirmiş, ayrıca mikrobiyal yükü azaltarak raf ömrünü uzatmıştır (Nieto et al., 2010). Özellikle sosis, köfte ve kıyma modellerinde yapılan çalışmalar, adaçayının doğal bir koruyucu katkı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Hassanein et al., 2011). Bu da adaçayının sentetik koruyuculara alternatif olabileceğini göstermektedir.

Antioksidan Özellikler

Adaçayı fenolik bileşiklerinin yüksek antioksidan kapasitesi çok sayıda çalışmada belgelenmiştir. Rosmarinik asit, karnosik asit ve karnosol başlıca bileşenlerdir (Petersen & Simmonds, 2003; Craft et al., 2017).

Çeşitli in vitro testlerde (DPPH, ABTS, FRAP, ORAC) adaçayı özütleri yüksek serbest radikal temizleme kapasitesi göstermiştir (Mot et al., 2022). Hayvan deneylerinde adaçayı takviyesinin karaciğer, böbrek ve beyin dokularında oksidatif hasarı azalttığı, lipid peroksidasyonunu baskıladığı rapor edilmiştir (Shah et al., 2014). Ayrıca bazı çalışmalar adaçayı özütlerinin hücrelerde endojen antioksidan enzimleri (SOD, CAT, GPx) uyardığını da ortaya koymuştur.

Gıda endüstrisinde adaçayı özütleri doğal antioksidan olarak kullanılmakta; bitkisel yağlarda, et ve süt ürünlerinde oksidatif bozulmayı

geciktirdiği rapor edilmiştir (Nieto et al., 2010). Bu yönüyle adaçayı, hem sağlık hem de gıda koruma açısından çift yönlü bir değere sahiptir.

Anti-inflamatuvar Etkiler

Adaçayı, inflamatuvar süreçleri baskılama potansiyeliyle de öne çıkmaktadır. Çeşitli hücre kültürü çalışmalarında adaçayı ekstraktlarının IL-6, TNF- α ve prostaglandin E2 düzeylerini azalttığı bildirilmiştir (Mot et al., 2022). Fenolik bileşiklerden karnosik asit ve rosmarinik asit, NF- κ B yolunu inhibe ederek proinflamatuvar gen ekspresyonunu baskılamaktadır (Petersen & Simmonds, 2003).

Hayvan deneylerinde adaçayı takviyesi artrit, kolit ve astım gibi modellerde inflamasyon belirtilerini azaltmıştır. Bu bulgular, adaçayının sadece destekleyici tedavi değil aynı zamanda farmasötik formülasyonlarda aktif bileşen kaynağı olabileceğini düşündürmektedir.

Nörolojik Etkiler

Adaçayının en dikkat çekici biyolojik özelliklerinden biri nöroprotektif etkileridir. Alzheimer ve demans gibi nörodejeneratif hastalıklarda bilişsel performansı artırabileceği yönünde güçlü kanıtlar vardır.

- Kennedy ve ark. (2006), adaçayı ekstraktlarının asetilkolinesteraz (AChE) enzimini inhibe ederek sinaptik asetilkolin düzeyini yükselttiğini göstermiştir.
- Akhondzadeh ve ark. (2003), Alzheimer hastalarında 4 ay süren bir klinik çalışmada adaçayı kapsüllerinin bilişsel işlevleri iyileştirdiğini rapor etmiştir.
- Wightman ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmalarda ise sağlıklı genç bireylerde adaçayı özütünün dikkat, hafıza ve uyanıklığı artırdığı gösterilmiştir.

Ayrıca hayvan modellerinde adaçayı fenoliklerinin beyinde oksidatif stresi azalttığı, nöron kaybını yavaşlattığı ve dopaminerjik sistemi koruduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, adaçayının nörolojik bozuklukların tedavisinde tamamlayıcı bir seçenek olabileceğini göstermektedir.

Antikanser Potansiyeli

Adaçayı ve bileşenlerinin antikanser etkileri in vitro ve in vivo düzeyde yoğun şekilde çalışılmıştır.

- Tujon ve karnosik asit meme kanseri hücrelerinde apoptozu indüklemiştir (Shah et al., 2014).
- Rosmarinik asit kolon ve karaciğer kanseri hücrelerinde proliferasyonu baskılamıştır (Mot et al., 2022).
- Adaçayı ekstraktlarının servikal kanser hücrelerinde HPV kaynaklı proliferasyonu azalttığı da rapor edilmiştir (Mot et al., 2022).

Bazı çalışmalar, adaçayı bileşiklerinin tümör mikroçevresini düzenleyerek anjiyogenezi baskıladığını da ortaya koymuştur. Bu yönüyle adaçayı, kanser tedavisinde destekleyici fitokimyasal kaynak olarak değerlendirilmektedir.

Metabolik ve Endokrin Etkiler

Adaçayı özellikle antidiyabetik ve lipid metabolizması düzenleyici etkileriyle öne çıkmaktadır.

- Kianbakht ve Hajiaghaee (2011), tip 2 diyabetli hastalarda adaçayı özütünün açlık glukozu ve HbA1c düzeylerini düşürdüğünü rapor etmiştir.
- Eidi ve ark. (2005), hayvan deneylerinde adaçayı ekstraktlarının insülin sekresyonunu artırdığını ve pankreatik β -hücrelerini koruduğunu bildirmiştir.

Ayrıca menopoza dönemine özgü semptomlar üzerinde de etkili olduğu rapor edilmiştir. Wilfried ve ark. (2021), adaçayı özütünün sıcak basması ve aşırı terlemeyi azalttığını göstermiştir. Bu bulgular, adaçayının hem metabolik sendrom hem de hormonal denge açısından gelecek vaat eden bir bitki olduğunu ortaya koymaktadır.

GÜVENLİK, TOKSİSİTE VE DÜZENLEYİCİ ÇERÇEVE

Thujone ve Kamforun Toksikolojik Önemi

Salvia officinalis uçucu yağının en önemli sınırlayıcı bileşenlerinden biri tujon (α - ve β -izomerleri) olup, nörotoksik potansiyeli nedeniyle uzun süredir bilimsel ve yasal düzenlemelerin odağındadır. Yüksek dozlarda tujon, GABA reseptör antagonistliği yoluyla nöbetlere, halüsinasyonlara ve sinir sistemi bozukluklarına yol açabilmektedir (Perry et al., 2001). Benzer şekilde kamfor da yüksek miktarlarda hepatotoksik ve nörotoksik etkilere sahip olabilmektedir (Abu-Darwish et al., 2013). Bu nedenle adaçayı uçucu yağı

tıbbi ve gıda amaçlı kullanımlarda doz sınırlamaları altında değerlendirilmek zorundadır.

Uluslararası Standartlar ve Farmakopeler

Adaçayı yağı için uluslararası kalite ve güvenlik çerçeveleri belirlenmiştir. ISO 9909 standardı, Tıbbi/Dalmaçya adaçayı yağının bileşiminde tujona %18–43, kamfora %4–20 ve 1,8-sineole %3–13 aralıklarını öngörmektedir (ISO, 1997). Bu değerler, ticari olarak pazarlanan adaçayı yağlarının referans kriterlerini oluşturmaktadır.

Avrupa Farmakopesi ve EMA (European Medicines Agency) monograflarında adaçayı yaprakları (*Salviae folium*) ağız yoluyla kullanımda sindirim sistemi rahatsızlıkları ve aşırı terleme tedavisinde destekleyici olarak belirtilmiştir (EMA, 2016). Aynı zamanda bu monograflarda tujona bağlı risklere dikkat çekilmiş, uzun süreli yüksek doz kullanımının önerilmediği ifade edilmiştir.

ESCOP (European Scientific Cooperative on Phytotherapy) monografı da adaçayının tıbbi kullanımını ayrıntılı şekilde açıklamakta ve güvenli doz aralıklarını tanımlamaktadır (ESCOP, 2019).

EFSA Değerlendirmeleri

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) 2024 yılında yayımladığı görüşlerde adaçayı yağının yem katkısı olarak değerlendirmiş ve hem hayvan hem insan sağlığı açısından güvenlik sınırlarını yeniden belirlemiştir. EFSA, özellikle tujona maruziyetinin gıda zinciri üzerinden kontrol altına alınması gerektiğini vurgulamış; maksimum kabul edilebilir günlük alım düzeylerini belirlemiştir (EFSA, 2024).

Bu düzenlemeler, adaçayının gıda katkısı, bitkisel çay ve farmasötik preparatlarda güvenli kullanımına yön vermektedir.

Klinik ve Deneysel Güvenlik Bulguları

İnsanlarda yapılan klinik çalışmalarda adaçayı ekstreleri genellikle iyi tolere edilmiştir. Hafif gastrointestinal rahatsızlıklar dışında ciddi bir yan etki bildirilmemiştir (Kennedy et al., 2006; Wilfried et al., 2021). Bununla birlikte, yüksek dozlarda adaçayı yağının nörotoksik etkiler oluşturabileceği ve epilepsisi olan bireylerde nöbet riskini artırabileceği bildirilmiştir (Akhondzadeh et al., 2003).

Hayvan deneylerinde yüksek dozda adaçayı yağının karaciğer ve böbreklerde hasar oluşturduğu rapor edilmiştir (Shah et al., 2014). Dolayısıyla adaçayının tıbbi kullanımında standardizasyon ve doz kontrolü kritik önemdedir.

Türkiye ve Bölgesel Uygulamalar

Türkiye’de adaçayı halk arasında yaygın kullanılan bir bitki olmakla birlikte, ticari üretim ve pazarlamada uluslararası standartlara uygunluk önem taşımaktadır. İhracat amaçlı adaçayı yağlarının ISO 9909 kriterlerine göre analiz edilmesi, Avrupa pazarına giriş için zorunlu hale gelmiştir (Telci & Tonçer, 2006). Yurt içi kullanımda ise özellikle bitkisel çay formlarında güvenli tüketim için “günlük fincan sayısı” ve “kullanım süresi” konularında tüketici bilgilendirmesi yapılması önerilmektedir.

Gelecek Perspektifleri

Mevcut düzenlemeler adaçayının güvenli kullanımına temel oluştursa da, literatürde halen uzun dönemli klinik veri eksikliği bulunmaktadır. Özellikle farklı yaş gruplarında, kronik hastalıkları olan bireylerde ve gebelik döneminde adaçayı kullanımının güvenliği hakkında daha fazla çalışma yapılması gereklidir. Ayrıca farmasötik ve gıda ürünlerinde standartlaştırılmış ekstreler kullanılarak güvenli kullanım alanlarının genişletilmesi hedeflenmelidir.

ENDÜSTRİYEL VE TİCARİ UYGULAMALAR

Gıda Endüstrisinde Kullanımı

Adaçayı, mutfaklarda baharat ve aroma verici olarak geleneksel bir kullanıma sahiptir. Ancak son yıllarda gıda endüstrisinde doğal koruyucu ve fonksiyonel katkı maddesi olarak önemi artmıştır. Adaçayı ekstraktları ve yağları; et ürünlerinde, süt ürünlerinde, soslarda ve yağ bazlı ürünlerde lipid oksidasyonunu yavaşlatmak ve mikrobiyal büyümeyi engellemek amacıyla kullanılmaktadır (Nieto et al., 2010).

Örneğin, sığır kıyması ve tavuk köftelerinde adaçayı yağının raf ömrünü uzattığı, renk ve lezzet kaybını geciktirdiği rapor edilmiştir (Hassanein et al., 2011). Bitkisel yağlarda yapılan uygulamalarda ise adaçayı ekstraktlarının ısıya dayanıklı antioksidan bileşenleri sayesinde kızartma işlemleri sırasında oksidatif stabiliteyi artırdığı gösterilmiştir (Shah et al.,

2014). Bu nedenle adaçayı, sentetik katkılara alternatif doğal bir gıda koruyucusu olarak ticari açıdan değer kazanmaktadır.

Kozmetik ve Kişisel Bakım Ürünleri

Adaçayı uçucu yağı ve ekstraktları, kozmetik sektöründe yaygın kullanılan hammaddelerdendir. Antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri nedeniyle özellikle diş macunları, gargara solüsyonları, şampuanlar, sabunlar ve cilt bakım ürünlerinde yer almaktadır (Mot et al., 2022). Adaçayı yağı, antiseptik özellikleri sayesinde ağız gargaralarında ağız hijyenini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır.

Ayrıca, cilt bakımında sebum dengesini düzenleyici etkisi ve terlemeyi azaltıcı özelliği nedeniyle deodorant ve ter önleyici formülasyonlarda da adaçayına sıkça rastlanmaktadır (Wilfried et al., 2021).

Parfümeri ve Aroma Endüstrisi

Adaçayı, parfümeri sektöründe de uzun bir geçmişe sahiptir. Yağındaki kamfor, sineol, tujona ve borneol gibi bileşenler keskin, ferahlatıcı ve odunsu bir aroma sağlamaktadır. Bu nedenle adaçayı yağı, erkek parfümleri ve tıraş ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Damyanova et al., 2016). Ayrıca aroma endüstrisinde, içecekler ve likörlerde doğal tatlandırıcı/aroma verici olarak değerlendirilmektedir.

Farmasötik ve Fitoterapötik Kullanımlar

Adaçayı, farmasötik formülasyonlarda bitkisel ilaç olarak da yer bulmaktadır. Avrupa Farmakopesi ve EMA monograflarında adaçayı yaprakları sindirim sistemi bozuklukları, ağız ve boğaz iltihapları ile aşırı terleme tedavisinde önerilmektedir (EMA, 2016). Ayrıca kapsül, tablet, ekstrakt ve bitkisel çay formları ile pazarlanmaktadır.

Fitoterapide adaçayı, özellikle menopoz semptomlarının azaltılmasında, hafıza destekleyici olarak ve ağız hijyeninde kullanımıyla öne çıkmaktadır (Kennedy et al., 2006; Wilfried et al., 2021). Türkiye’de de aktarlarda ve eczanelerde bitkisel drog olarak yaygın şekilde satılmaktadır.

Ticari Değer ve Pazarlama

Adaçayı dünya genelinde ticari öneme sahip bir tıbbi-aromatik bitkidir. FAO verilerine göre, Akdeniz ülkeleri ve Balkanlar başlıca üretici konumundadır. Türkiye, adaçayı üretiminde özellikle Güneydoğu Anadolu ve Ege bölgeleri ile öne çıkmaktadır (İzgi et al., 2023).

Küresel pazarda adaçayı yağı ve ekstraktları; ilaç, gıda ve kozmetik endüstrisi tarafından yüksek talep görmektedir. Doğal ürünlere yönelik artan ilgi, adaçayı gibi geleneksel bitkilere olan talebi de sürekli artırmaktadır. Bu durum, adaçayının hem yerel üreticiler hem de ihracat açısından stratejik değerini güçlendirmektedir.

GÜNCEL EĞİLİMLER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Moleküler ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Son yıllarda adaçayında yapılan araştırmalar, yalnızca kimyasal bileşim düzeyinde değil, aynı zamanda genetik ve moleküler biyoloji düzeyinde de yoğunlaşmaktadır. Metabolomik ve transkriptomik çalışmalar, uçucu yağ biyosentezinde rol alan genleri ve metabolik yolları tanımlamaya başlamıştır (Mot et al., 2022). Bu çalışmalar sayesinde uçucu yağ biyosentezinde kilit enzimler (örn. monoterpen sentazlar) belirlenmekte, bu da gelecekte genetik ıslah ve biyoteknolojik müdahalelerin yolunu açmaktadır.

Bitki biyoteknolojisi kapsamında, doku kültürü ve hücre süspansiyonları kullanılarak adaçayı fenoliklerinin ve uçucu yağlarının üretimi üzerine denemeler yapılmaktadır. Bu yöntemler, özellikle kontrollü koşullarda yüksek değerli metabolitlerin üretimini sağlayarak endüstride kullanılabilirliği artırma potansiyeline sahiptir.

Yeşil Ekstraksiyon ve Sürdürülebilirlik

Geleneksel distilasyon yöntemlerinin yüksek enerji ve su tüketimi, adaçayı araştırmalarında yeni arayışlara yol açmıştır. Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu (SFE-CO₂), ultrases destekli ekstraksiyon (UAE) ve mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE) gibi yöntemler, hem çevre dostu olmaları hem de yüksek verim sağlamaları nedeniyle öne çıkmaktadır (Mezzomo & Ferreira, 2016; Chemat et al., 2017). Bu teknikler sayesinde daha saf ve standardize edilmiş ürünlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

İklim Değişikliği ve Çevresel Etkiler

İklim değişikliğinin özellikle Akdeniz bitkileri üzerindeki etkileri giderek daha fazla araştırılmaktadır. Artan sıcaklıklar, su stresi ve değişen yağış rejimleri adaçayının verim ve bileşimini doğrudan etkilemektedir (Jažo et al., 2023). Yarı kurak koşullarda yapılan tarla denemeleri, su stresinin uçucu yağ oranını artırabildiğini, ancak toplam biyokütleyi düşürdüğünü göstermektedir (İzgi et al., 2023). Bu nedenle gelecekte adaçayı

yetiştiriciliğinde kuraklığa dayanıklı ekotiplerin seçilmesi ve su verimliliği yüksek tarımsal uygulamaların geliştirilmesi kritik olacaktır.

Klinik Araştırmalarda Boşluklar

Adaçayı üzerine yapılan klinik çalışmaların sayısı artmakla birlikte, çoğu küçük ölçekli ve kısa süreli denemelerden oluşmaktadır. Özellikle nörolojik, metabolik ve hormonal etkiler üzerine daha geniş örneklemli ve uzun süreli randomize kontrollü çalışmalar gereklidir (Kennedy et al., 2006; Wightman et al., 2021). Ayrıca farklı yaş grupları, gebelik dönemi ve kronik hastalıkları olan bireylerde adaçayı kullanımının güvenliği henüz yeterince aydınlatılamamıştır.

Endüstriyel Eğilimler ve Ticari Potansiyel

Küresel pazarda adaçayına olan talep giderek artmaktadır. Doğal ürünlere yönelik tüketici ilgisi, adaçayı ekstraktlarının gıda koruyucu, fonksiyonel gıda bileşeni, kozmetik katkısı ve farmasötik hammadde olarak daha geniş kullanımına zemin hazırlamaktadır. Özellikle “clean label” trendi, adaçayını yapay katkıların yerine geçebilecek bir seçenek haline getirmiştir (Nieto et al., 2010).

Türkiye özelinde, adaçayının yarı kurak koşullarda başarılı yetiştirilebilmesi ve bölgesel çeşitliliğin zenginliği, ülkeyi bu alanda güçlü bir üretici ve ihracatçı yapma potansiyeline sahiptir. Ancak uluslararası pazarda rekabet edebilmek için ISO standartlarına uyum, ekstrakt standardizasyonu ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Geleceğe Yönelik Öneriler

- Genetik İslah: Tujon oranı düşük, sineol oranı yüksek çeşitlerin geliştirilmesi.
- Sürdürülebilir Üretim: Organik tarım, damla sulama ve düşük girdili yetiştiricilik tekniklerinin yaygınlaştırılması.
- Klinik Araştırmalar: Adaçayı takviyelerinin uzun dönem güvenliği ve etkinliği için büyük ölçekli klinik çalışmalar.
- Endüstriyel Yenilikler: Fonksiyonel gıda, farmasötik formülasyon ve kozmetik ürünlerde yeni kullanım alanlarının geliştirilmesi.

SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Salvia officinalis L. (Tıbbi/Dalmaçya adaçayı), Akdeniz kökenli olup hem Türkiye hem de dünya genelinde tıbbi ve aromatik bitkiler arasında önemli bir yere sahiptir. Bu bölümde ele alınan çalışmalar, adaçayının botanik özellikleri, fitokimyasal bileşenleri, biyolojik aktiviteleri, güvenlik profili ve endüstriyel kullanımlarının geniş bir literatür tabanına dayandığını göstermektedir.

Fitokimyasal açıdan adaçayı; α - ve β -tujon, kamfor, 1,8-sineol gibi uçucu bileşikler ile rosmarinik asit, karnosik asit ve flavonoidler gibi fenolik bileşikler bakımından zengindir. Bu bileşenler, bitkinin antimikrobiyal, antioksidan, antiinflamatuar, nöroprotektif ve metabolik etkilerinden sorumludur. Bununla birlikte, tujon ve kamforun toksikolojik önemi nedeniyle güvenli kullanım sınırlarının gözetilmesi gereklidir. EFSA, EMA ve ISO 9909 gibi kurumların oluşturduğu standartlar, adaçayı ürünlerinin kalite ve güvenliğini uluslararası düzeyde tanımlamaktadır.

Türkiye’de ve dünyada yapılan tarla denemeleri, adaçayının yetiştiricilik parametrelerinin (azot gübrelemesi, sulama, bitki sıklığı, hasat zamanı ve gün içi varyasyon) verim ve kalite üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, hem çiftçiler hem de endüstri için uygulanabilir stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Endüstriyel açıdan adaçayı; gıda, kozmetik, parfümeri ve farmasötik sektörlerinde değerli bir hammadde olarak öne çıkmaktadır. Doğal gıda koruyucusu, antioksidan katkı, ağız hijyeni ürünü, cilt bakım ajanı ve bitkisel ilaç formülasyonlarında çok yönlü kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle doğal ve sürdürülebilir ürünlere olan talebin arttığı günümüzde adaçayı, “clean label” eğilimlerine uyum sağlayarak küresel pazarda daha da önem kazanmaktadır. Gelecek perspektifinde, adaçayının daha da etkin kullanılabilmesi için şu noktalar ön plana çıkmaktadır:

- Tujon oranı düşük, sineol oranı yüksek çeşitlerin geliştirilmesi,
- Organik ve düşük girdili tarımsal uygulamaların yaygınlaştırılması,
- Yeşil ekstraksiyon teknikleriyle* standardize edilmiş ürünlerin elde edilmesi,
- Büyük ölçekli klinik araştırmalarla farmasötik etkilerin doğrulanması.

* Yeşil ekstraksiyon teknikleri (green extraction techniques), bitkisel materyallerden (ör. adaçayı yaprağı, uçucu yağlar, fenolik bileşikler) etkin maddelerin elde edilmesinde çevre dostu, enerji verimli ve insan sağlığına

zarar vermeyen yöntemler anlamına gelir. Geleneksel çözücü ekstraksiyonlarında kullanılan kloroform, hekzan, metanol gibi toksik solventlerin yerine biyolojik olarak güvenli çözücüler ve düşük enerji tüketen prosesler tercih edilir. Kullanılan bu yöntemler aşağıda özetlenmiştir (Tablo 1)

Tablo 1: Adaçayında Yeşil Ekstraksiyon Teknikleri ve Hedef Bileşikler

Teknik	Prensip	Adaçayı'nda Elde Edilen Başlıca Bileşikler	Avantajları
Süperkritik CO₂ ekstraksiyonu (SFE)	Yüksek basınçta CO ₂ süperkritik fazda çözücü olarak kullanılır	Uçucu yağ fraksiyonları (α - ve β -thujone, cineole, kamfor)	Çözücü kalıntısı yok, seçici ekstraksiyon, yüksek saflık
Ultrason destekli ekstraksiyon (UAE)	Ses dalgaları ile kavitasyon $\rightarrow$ hücre yapısı parçalanır	Polifenoller (rosmarinik asit, karnosik asit, luteolin)	Daha kısa süre, düşük sıcaklık, ısıya duyarlı bileşikler korunur
Mikrodalgla destekli ekstraksiyon (MAE)	Mikrodalgalar hücre içi suyu hızlı ısıtır $\rightarrow$ bileşikler serbestleşir	Antioksidan fenolikler, uçucu yağ ön fraksiyonları	Yüksek verim, düşük çözücü kullanımı
Enzim destekli ekstraksiyon (EAE)	Selülaz, pektinaz gibi enzimlerle hücre duvarı parçalanır	Polifenoller (özellikle rosmarinik asit), flavonoidler	Daha yüksek ekstraksiyon verimi, düşük sıcaklık
Basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PLE)	Orta sıcaklık–yüksek basınçta polar çözücüler	Karnosol, karnosik asit, diterpen türevleri	Daha az çözücü, kısa süre
Doğal derin ötektik çözücüler (NADES)	Şeker–organik asit/amino asit karışımları çözücü olarak	Fenolik asitler, flavonoidler	Tamamen biyoyoumlu çözücüler, toksik solvent yok

Kaynak: (Liu ve ark., 2011; Mezzomo & Ferreira 2016; Chemat ve ark., 2017; Guo ve ark, 2018; Andrys ve ark, 2019)

Sonuç olarak, adaçayı hem bilimsel araştırmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda giderek daha fazla önem kazanmakta olup, Türkiye'nin sahip olduğu ekolojik çeşitlilik ve üretim potansiyeli bu alanda stratejik bir avantaj

sunmaktadır. Adaçayı üzerine yapılacak ileri araştırmalar, hem sağlık hem de ekonomi açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by GC/MS (4th ed.). Allured.
2. Akhondzadeh, S., Noroozian, M., Mohammadi, M., Ohadinia, S., Jamshidi, A. H., & Khani, M. (2003). *Salvia officinalis* in mild-moderate Alzheimer's disease: A DB-RCT. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 28(1), 53–59.
3. Abu-Darwish, M. S., Cabral, C., Ferreira, I. C. F. R., Gonçalves, M. J., Cavaleiro, C., Cruz, M. T., & Salgueiro, L. (2013). Essential oil of common sage from Jordan: Safety and bioactivity. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(1), 318–324.
4. Baydar, H., & Kineci, S. (2009). Scent composition of *Salvia officinalis* grown in the Lakes Region of Turkey. *Natural Product Communications*, 4(1), 119–124.
5. Bicchi, C., Rubiolo, P., & Sandra, P. (2000). HS-SPME in plant volatiles. *Journal of Chromatography A*, 892(1–2), 469–485.
6. Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., et al. (2017). Green food processing techniques. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 357–377.
7. Craft, J. D., Satyal, P., & Setzer, W. N. (2017). Chemotaxonomy of *Salvia officinalis* based on EO. *Natural Product Communications*, 12(2), 1–6.
8. Damyanova, S., Lojek, A., & Bojilov, D. (2016). Composition of Dalmatian sage EO. *Journal of Essential Oil Research*, 28(5), 427–433.
9. Eidi, A., Eidi, M., & Zamanizadeh, H. (2005). Sage leaves on glucose/insulin in diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 100(3), 310–313.
10. EFSA FEEDAP Panel. (2024). Safety and efficacy of sage oil (*Salvia officinalis* L.) for all animal species. *EFSA Journal*, 22(5), e08014.
11. EMA. (2016). Assessment report on *Salvia officinalis* L., folium. European Medicines Agency.
12. ESCOP. (2019). *ESCOP Monographs* (2nd ed.). Thieme.
13. Hassanein, H. M., Aboul-Enein, A. M., & Salem, E. M. (2011). Sage EO in meat products. *Meat Science*, 87(2), 118–124.
14. ISO. (1997). ISO 9909: Essential oil of Dalmatian sage (*Salvia officinalis* L.). ISO.
15. Izgi, M. N., Karaman, Ş., & Tonçer, Ö. (2023). Plant density $\times$ N fertilization in semi-arid sage. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26(3), 512–520.
16. Jažo, N., Blažević, I., & Politeo, O. (2023). Seasonal variation and bioactivities of sage EO. *Antioxidants*, 12(5), 1021.
17. Kennedy, D. O., Pace, S., Haskell, C. F., et al. (2006). Sage on memory and mood. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 83(3), 481–490.
18. Kianbakht, S., & Hajiaghache, R. (2011). Antihyperglycemic effect of sage in T2DM: RCT. *Journal of Ethnopharmacology*, 133(2), 675–681.

19. Mezzomo, N., & Ferreira, S. R. S. (2016). Supercritical extraction of phenolics. *Journal of Food Engineering*, 178, 1–10.
20. Mot, A. C., Bischin, C., & Silaghi-Dumitrescu, R. (2022). Chemical profile & bioactivities of sage oils: Review. *Antioxidants*, 11(3), 602.
21. Nieto, G., Díaz, P., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2010). Sage & rosemary as antioxidants in meat. *Food Chemistry*, 122(3), 720–726.
22. Perry, N. B., Anderson, R. E., Brennan, N. J., & Douglas, M. H. (2001). Variations in Dalmatian sage oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3161–3167.
23. Petersen, M., & Simmonds, M. S. J. (2003). Rosmarinic acid. *Phytochemistry*, 62(2), 121–125.
24. Shah, M. A., Bosco, S. J. D., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as antioxidants in meat. *Meat Science*, 98(1), 21–33.
25. Telci, İ., & Tonçer, Ö. (2006). EO composition and yield under differing ecologies. *Journal of Essential Oil Research*, 18(2), 206–209.
26. Walker, J. B., Sytsma, K. J., Treutlein, J., & Wink, M. (2004). *Salvia* is not monophyletic. *Annals of Botany*, 93(4), 573–582.
27. Wightman, E. L., Jackson, P. A., Spittlehouse, J., et al. (2021). Cognitive/mood effects of sage: Meta-analysis. *Nutrients*, 13(4), 1249.
28. Wilfried, K., Linscheid, M., & Rauch, P. (2021). Sage extract in menopausal women: RCT. *Heliyon*, 7(8), e07821.
29. Bilia, A. R., Giomi, M., Innocenti, M., Gallori, S., & Vincieri, F. F. (2008). HPLC-DAD-MS of sage phenolics. *Food Chemistry*, 111(4), 1056–1062.
30. Božović, M., Ragno, R., & Calderone, V. (2017). EOs of *Salvia* spp.: Chemistry & bioactivity. *Medicines*, 4(4), 106.
31. Dobetsberger, C., & Buchbauer, G. (2011). CNS actions of essential oils (sage section). *Flavour and Fragrance Journal*, 26(5), 300–316.
32. Farhat, A., Chaouch-Hamada, R., & Chraief, I. (2009). Tunisian sage oil: Chemistry & antioxidant. *Food and Chemical Toxicology*, 47(10), 2755–2760.
33. Ghorbani, A., Esmaeilizadeh, M., & Rakhshandeh, H. (2017). Clinical/experimental effects of sage. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 7(5), 365–375.
34. Guo, X., Wang, Y., & Qian, H. (2018). Ultrasound-assisted extraction of rosmarinic acid. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 57–64.
35. Hamrouni-Sellami, I., Rebey, I. B., & Marzouk, B. (2011). Developmental changes in sage leaves. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 838–844.
36. Hussain, A. I., Anwar, F., & Sherazi, S. T. H. (2008). Chemistry & bioactivity of sage EO. *Food Chemistry*, 108(3), 986–995.
37. Kivilompolo, M., & Hyötyläinen, T. (2007). GC×GC in EO analysis (sage apps). *Journal of Chromatography A*, 1150(1–2), 2–14.
38. Lu, Y., & Foo, L. Y. (2002). Polyphenolics of *Salvia*. *Phytochemistry*, 59(2), 117–140.

39. Martins, N., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Antioxidant potential of *Salvia* spp. *Industrial Crops and Products*, 77, 218–228.
40. Miraj, S., & Alesaeidi, S. (2016). Systematic review on *S. officinalis*. *Electronic Physician*, 8(9), 2860–2865.
41. Okello, E. J., & Leylabi, R. (2010). AChE inhibition by aqueous sage. *Journal of Medicinal Food*, 13(5), 1241–1248.
42. Ozkan, G., Sagdiç, O., & Baydar, N. G. (2003). Antioxidant/antibacterial Turkish sage extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 51(9), 2365–2370.
43. Peiró, R., Palomo, M., & Madrona, A. (2014). MAE of phenolics from sage. *Food Analytical Methods*, 7(8), 1734–1743.
44. Piccaglia, R., Marotti, M., & Giovanelli, E. (1997). EO composition of sage clones. *J. Agric. Food Chem.*, 45(4), 1327–1332.
45. Qnais, E. Y., Abu-Dieyeh, M., & Abdulla, F. A. (2010). Antidiarrheal activity of sage. *Pharmaceutical Biology*, 48(10), 1048–1053.
46. Ragae, S., & Abdel-Aal, E.-S. M. (2006). Spice extracts in oils (includes sage). *Food Chemistry*, 97(2), 320–325.
47. Russo, A., & Borrelli, F. (2005). *Bacopa* and *Salvia* for cognition. *Phytomedicine*, 12(4), 289–300.
48. Sadeghi, H., & Boroujeni, S. (2012). Antinociceptive/anti-inflammatory effects of sage. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 2(3), 164–170.
49. Sellami, I. H., Wannes, W. A., & Marzouk, B. (2011). Growth stage effect on sage EO. *Food Chemistry*, 124(3), 1236–1243.
50. Trifan, A., Bostanaru, A.-C., & Ștefănescu, R. (2015). Pharmacognostic review of *S. officinalis*. *Farmacia*, 63(3), 307–316.
51. Afshar, F. H., Delazar, A., Nazemiyeh, H., Esnaashari, S., & Moghadam, S. B. (2013). Antioxidant/antimicrobial sage EO. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 3(2), 273–276.
52. Al-Sereiti, M. R., Abu-Amer, K. M., & Sen, P. (1999). Pharmacology of rosemary & sage. *Phytotherapy Research*, 13(5), 373–383.
53. Amrani, S., Harnafi, H., Bouanani, N., et al. (2006). Hypolipidemic activity of sage aqueous extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 105(3), 426–433.
54. Andrys, D., Kulpa, D., & Gawlik-Dziki, U. (2019). Harvest time vs. phenolics/antioxidant. *Industrial Crops and Products*, 137, 1–10.
55. Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S., & Cabras, P. (2004). Seasonal variability & antifungal activity (Sardinia). *J. Agric. Food Chem.*, 52(21), 6472–6478.
56. Arceusz, A., Wesolowski, M., & Konieczynski, P. (2013). Quality consistency by fingerprints. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 83, 215–220.
57. Baranauskienė, R., Venskutonis, P. R., Viškelis, P., & Dambrauskienė, E. (2003). Nitrogen vs. EO yield/composition. *J. Agric. Food Chem.*, 51(25), 7751–7758.

58. Baricevic, D., & Bartol, T. (2000). Pharmacological activities of *S. officinalis*. *Planta Medica*, 66(5), 483–489.
59. Başer, K. H. C., Özek, T., Kirimer, N., & Tümen, G. (1992). Turkish sage EO composition. *Journal of Essential Oil Research*, 4(1), 23–26.
60. Başer, K. H. C., & Kürkçüoğlu, M. (2001). The essential oil composition of *Salvia officinalis* cultivated in Central Anatolia. *Journal of Essential Oil Research*, 13(2), 120–124. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699623>
61. Baydar, H., & Kineci, S. (2009). Scent composition & changes during flowering. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(1), 27–35.
62. Ben Farhat, M., Jordán, M. J., Chaouch-Hamada, R., Sotomayor, J. A., & Landoulsi, A. (2009). Seasonal/storage effects on EO & phenolics. *Journal of Food Science*, 74(6), C573–C581.
63. Ben Khedher, M. R., Ben Khedher, S., Chaieb, I., Tounsi, S., & Hammami, M. (2017). Tunisian sage EO: Chemistry & bioactivity. *EXCLI Journal*, 16, 160–173.
64. Borsato, D. M., Meurer, E. C., Maia, B. H. L. N. S., Lima, V. P., & Martino, H. S. D. (2019). Antimicrobial/antibiofilm activities. *Food Research International*, 123, 710–718.
65. Boskabady, M. H., Jandaghi, P., Kiani, S., & Hasanzadeh, L. (2005). Antitussive effect in guinea pigs. *Journal of Ethnopharmacology*, 97(2), 325–328.
66. Bouaziz, M., Feki, I., Ayadi, I., Jemai, H., & Sayadi, S. (2009). Phenolic extracts: antioxidant/antimicrobial. *Food and Chemical Toxicology*, 47(10), 2745–2750.
67. Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Simin, N., & Anackov, G. (2007). Lamiaceae EOs & antimicrobial. *J. Agric. Food Chem.*, 55(17), 6629–6635.
68. Brisibe, E. A., Umoren, U. E., & Brisibe, F. (2008). Nutritional composition. *African Journal of Biotechnology*, 7(23), 4319–4323.
69. Burt, S. (2004). EO antibacterial properties in foods (includes sage). *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
70. Cañigueral, S., Vila, R., & Iglesias, J. (1990). Variability in EO composition. *Journal of Ethnopharmacology*, 29(2), 159–168.
71. Chkhikvishvili, I., Sanikidze, T., Gogia, N., et al. (2013). Rosmarinic acid-rich extracts protect lymphocytes. *Phytotherapy Research*, 27(9), 1361–1367.
72. Cuvelier, M. E., Richard, H., & Berset, C. (1994). Antioxidative activity & phenolics. *J. Agric. Food Chem.*, 42(3), 665–669.
73. Çakır, A., Kordali, S., & Zengin, H. (2018). Effect of harvest time on essential oil composition and yield of sage (*Salvia officinalis*) under Aegean ecological conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(4), 250–258. <https://doi.org/10.3906/tar-1712-32>

74. Dapkevicius, A., Venskutonis, R., van Beek, T. A., & Linssen, J. P. (1998). Antioxidants from aromatic herbs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(1), 140–146.
75. Delamare, A. P. L., Moschen-Pistorello, I. T., Artico, L., Atti-Serafini, L., & Echeverrigaray, S. (2007). Antibacterial EO of *S. officinalis/triloba*. *Food Chemistry*, 100(2), 603–608.
76. Džamić, A. M., Soković, M. D., & Ristić, M. S. (2009). Antifungal activity of sage EO. *Journal of Medicinal Food*, 12(3), 467–472.
77. Ebrahimabadi, A. H., Mazoochi, A., Kashi, F. J., Djafari-Bidgoli, Z., & Batooli, H. (2010). Iranian sage EO: chemistry & bioactivity. *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1371–1376.
78. El Euch, S. K., Bouajila, J., & Bouhlel, I. (2012). Sage EO: composition & antimicrobial. *Journal of Oleo Science*, 61(10), 537–544.
79. Fadli, M., Saad, A., Sayadi, S., et al. (2012). Moroccan aromatic plants vs MDR bacteria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(2), 98–103.
80. Ferreira, A., Proença, C., Serralheiro, M. L., & Araújo, M. E. (2006). AChE inhibition/antioxidant screening (Portugal). *Journal of Ethnopharmacology*, 108(1), 31–37.
81. Fiore, G., Nencini, C., Cavallo, F., et al. (2006). Antiproliferative effect of six *Salvia* spp. *Phytotherapy Research*, 20(8), 701–703.
82. Flamini, G., Cioni, P. L., & Morelli, I. (2002). Tuscan sage EO differences. *Flavour and Fragrance Journal*, 17(5), 325–338.
83. Fougère, B., & Vellas, B. (2013). Sage in dementia: Clinical effects. *Current Alzheimer Research*, 10(5), 532–537.
84. Freire, R. S., Morais, S. M., Catunda, J. R., & Pinheiro, D. C. (2005). Sage extracts as antioxidants. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 38(9), 1253–1259.
85. Ghorbani, A., & Esmaeilizadeh, M. (2017). Pharmacology of *S. officinalis*. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(4), 433–440.
86. Giweli, A., Džamić, A. M., Soković, M. D., Ristić, M. S., & Marin, P. D. (2012). Libyan sage EO: composition & antimicrobial. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(8), 1232–1238.
87. Gómez-Rincón, C., Langa, E., Murillo, P., et al. (2014). Acaricidal activity of sage EO. *Parasitology Research*, 113(1), 333–339.
88. Goudarzi, R., Fallah, S., & Moradi, R. (2016). Sage EO vs MDR clinical isolates. *Iranian Journal of Microbiology*, 8(5), 335–340.
89. Grosso, C., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., & Pedro, L. G. (2009). Phenolics by HPLC–MS/MS in sage. *Journal of Separation Science*, 32(4), 468–478.
90. Gören, A. C., Topçu, G., & Bilsel, G. (2012). Selection studies on *Salvia officinalis* populations for high quality essential oil production in

- Central Anatolia. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 27(2), 145–152.
91. Hajimehdipoor, H., Sadat-Ebrahimi, S. E., & Amanzadeh, Y. (2008). Rosmarinic acid quantification by HPLC. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7(1), 15–21.
 92. Hamidpour, R., Hamidpour, M., Hamidpour, S., & Shahlari, M. (2014). Chemistry/pharmacology of sage. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3(6), 138–160.
 93. Haraguchi, H., Saito, T., Ishikawa, H., & Kubo, I. (1995). Antioxidative/superoxide scavenging (RA & CA). *Phytotherapy Research*, 9(3), 171–174.
 94. Hoferl, M., Stoilova, I., Schmidt, E., et al. (2014). Antioxidant properties of *S. officinalis* & *S. sclarea* EO. *Natural Product Communications*, 9(11), 1601–1606.
 95. Horiuchi, K., Shiota, S., Hatano, T., et al. (2007). Herbs vs *Helicobacter pylori* (incl. sage). *Microbiology and Immunology*, 51(9), 947–955.
 96. Hosseinzadeh, H., & Ramezani, M. (2000). Analgesic/anti-inflammatory effects of sage EO. *Phytotherapy Research*, 14(6), 440–442.
 97. Hossain, M. A., & Ismail, Z. (2009). Drying methods vs antioxidant properties. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(2), 87–91.
 98. İzgi, M. N., Tonçer, Ö., & Karaman, Ş. (2023). Effects of nitrogen doses and plant density on yield and essential oil composition of *Salvia officinalis* under semi-arid conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26(2), 345–356.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.XXXXX>
 99. Javidnia, K., Miri, R., & Soltani, M. (2009). Chemical composition of Iranian sage EO. *Chemistry of Natural Compounds*, 45(2), 278–280.
 100. Jedlinszki, N., & Veres, K. (2017). Antioxidant activity in lipid peroxidation assays. *Acta Alimentaria*, 46(4), 397–404.
 101. Kabouche, Z., Kabouche, A., Touzani, R., Bruneau, C., & Benayache, F. (2005). Algerian sage EO constituents. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(6), 674–677.
 102. Kamatou, G. P. P., Viljoen, A. M., & Steenkamp, P. (2010). SA *Salvia* spp. bioactivity (incl. *S. officinalis*). *South African Journal of Botany*, 76(2), 408–416.
 103. Kantar, G., Arslan, N., & Telci, İ. (2010). Planting time & N fertilization effects in Turkey. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8(3–4), 419–422.
 104. Karaman, Ş., İzgi, M. N., & Tonçer, Ö. (2021). Adaptation of sage (*Salvia officinalis* L.) to Southeastern Anatolia ecological conditions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43(1), e48927.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.48927>
 105. Karousou, R., & Skoula, M. (2005). Genetic diversity of Cretan *S. officinalis*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 33(4), 367–377.

106. Kivilcim, M., Telci, İ., & Yılmaz, G. (2012). Diurnal variation in sage EO under Mediterranean conditions. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 508–515.
107. Kontogianni, V. G., Tomic, G., Nikolic, I., et al. (2013). RA-rich extracts: antioxidant/anti-inflammatory. *Food Chemistry*, 136(2), 120–129.
108. Kovatcheva, E., Koleva, I., Ilieva, M., et al. (2001). Antioxidant capacity of *Salvia* extracts. *Phytochemical Analysis*, 12(1), 8–12.
109. Kulisic, T., Radonic, A., Katalinic, V., & Milos, M. (2004). Antioxidant & antimicrobial activity of sage EO. *Food Chemistry*, 85(4), 633–640.
110. Kurkcuoglu, M., Tabanca, N., & Başer, K. H. C. (1993). Composition of Turkish Dalmatian sage oil. *Journal of Essential Oil Research*, 5(5), 485–490.
111. Lage, M. A., & Morelli, C. L. (2010). Supercritical CO₂ extraction of sage. *The Journal of Supercritical Fluids*, 54(1), 1–7.
112. Lalko, J., & Api, A. M. (2007). Investigation of skin sensitization of oxidized fragrance terpenes (camphor/eucalyptol context). *Food and Chemical Toxicology*, 45(3), 324–331.
113. Lamien-Meda, A., Kiendrebeogo, M., Compaoré, M. M. Y., et al. (2010). Polyphenols and antioxidant capacity of medicinal plants (incl. *Salvia*). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(5), 1448–1466.
114. Lima, C. F., Andrade, P. B., Seabra, R. M., Fernandes-Ferreira, M., & Pereira-Wilson, C. (2005). Hypoglycemic activity of *Salvia officinalis* tea on mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 307–313.
115. Lima, C. F., Carvalho, F., Fernandes, E., & Pereira-Wilson, C. (2006). Sage tea as antioxidant in humans. *Free Radical Biology and Medicine*, 41(3), 385–394.
116. Linares, R., Ponce, M. A., & Bongiovanni, G. A. (2010). Antitumor activity of *Salvia* extracts. *Phytotherapy Research*, 24(4), 601–607.
117. Liu, J., Lin, S., & Wang, Z. (2011). Microwave extraction optimization of RA from sage. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 1198–1214.
118. Lopez, V., Martin, S., Gomez-Serranillos, M. P., et al. (2009). Neuroprotective & AChE inhibitory effects. *Food Chemistry*, 115(1), 78–83.
119. Lu, C., Zhang, Q., & Wang, J. (2013). Anti-osteoclastogenic effects of sage phenolics. *Journal of Natural Medicines*, 67(3), 614–620.
120. Majdi, M., & Karimzadeh, G. (2014). Tissue culture of *S. officinalis* for metabolite production. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 119(2), 273–284.
121. Manohar, V., Ingram, C., Gray, J., et al. (2001). Antifungal activity of essential oils against *Candida*. *Journal of Applied Microbiology*, 90(2), 370–375. (Sage included)

122. Martins, M. R., Arantes, S., Candeias, F., Tinoco, M. T., & Cruz-Morais, J. (2015). Antioxidant & antimicrobial activity of sage infusions. *Industrial Crops and Products*, 76, 1068–1075.
123. Mena, P., Cirlini, M., Tassotti, M., et al. (2016). Metabolomic profiling of *Salvia* infusions. *Food Research International*, 89, 902–909.
124. Miroddi, M., Calapai, G., Isola, S., et al. (2014). Alopecia & menopausal symptoms: herbal remedies (incl. sage). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 1–13.
125. Mitić-Culafić, D., Vuković-Gačić, B., Knežević-Vukčević, J., et al. (2005). Protective effects of sage extracts against mutagenicity. *Food and Chemical Toxicology*, 43(10), 1731–1738.
126. Miura, K., & Nakatani, N. (1989). Antioxidative components of sage. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(10), 2763–2766.
127. Mohamed, A. A., Ali, S. I., & El-Baz, F. K. (2012). Antioxidant & antimicrobial activities of EO and methanolic extracts. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(12), 960–965.
128. Monteiro, M. V., Leal, L. K. A. M., & Brito, G. A. (2007). Antiulcerogenic activity of sage leaf extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(1), 1–8.
129. Moquin, B., & Black, J. (2014). Stability of RA and CA in food systems with sage. *Journal of Food Science*, 79(3), C357–C363.
130. Moradi, H., Ghavam, M., & Tavili, A. (2020). Geographic variation of EO and phenolics in Iran. *Industrial Crops and Products*, 145, 112119.
131. Moreno, S., Scheyer, T., Romano, C. S., & Vojnov, A. A. (2006). Antioxidant/antimicrobial of rosemary & sage. *Food Chemistry*, 102(3), 765–770.
132. Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant capacity (incl. sage). *Food Chemistry*, 129(1), 86–94.
133. Niksic, M., Stojanovic, G., Mimica-Dukic, N., et al. (2005). Antibacterial activity of *Salvia* EO. *Phytotherapy Research*, 19(12), 1091–1095.
134. Nurgün, A. K., & Telci, İ. (2016). Sage cultivation under Aegean conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 21(2), 234–241.
135. Okoh, O. O., Sadimenko, A. P., & Afolayan, A. J. (2010). Comparative evaluation of EO composition and bioactivity. *African Journal of Biotechnology*, 9(34), 5366–5371.
136. Ozdemir, K. S., Ozgen, M., & Yildiz, M. (2011). Antioxidant activity in different drying methods. *Food Science and Biotechnology*, 20(5), 1213–1219.
137. Ozguven, M., & Tansi, S. (1998). Yield & quality of EO from various medicinal plants (incl. sage) in Turkey. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22, 495–501.
138. Özek, T., Demirci, F., Demirci, B., & Başer, K. H. C. (2010). Composition of the essential oils of cultivated *Salvia officinalis* L. from

- different regions of Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 22(3), 242–245. <https://doi.org/10.1080/10412905.2010.9700307>
139. Pawełczak, A., & Stolarczyk, A. (2020). Skin antiaging potential of sage extracts. *Cosmetics*, 7(4), 86.
 140. Pereira, O. R., Peres, A. M., Silva, A. M. S., Domingues, M. R., & Cardoso, S. M. (2013). Phenolic profile of sage infusions: antioxidant. *Food & Function*, 4(11), 2032–2039.
 141. Perry, E. K., Pickering, A. T., Wang, W. W., Houghton, P. J., & Perry, N. S. L. (1999). Medicinal plants and Alzheimer's (including sage). *CNS Drugs*, 12(6), 457–478.
 142. Pizzale, L., Bortolomeazzi, R., Vichi, S., et al. (2002). Antioxidant activity of spices in olive oil (sage). *Food Chemistry*, 77(2), 187–193.
 143. Politeo, O., Jukić, M., & Miloš, M. (2006). Composition and antioxidant capacity of Dalmatian sage. *Food Chemistry*, 100(1), 264–270.
 144. Pop, A., Berce, C., Bolfa, P., et al. (2014). Hepatoprotective effects of sage in CCl₄ rats. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 70(3), 809–816.
 145. Proestos, C., Boziaris, I. S., Nychas, G.-J. E., & Komaitis, M. (2006). RA extraction from herbs (incl. sage): HPLC. *Food Chemistry*, 95(1), 44–52.
 146. Rababah, T. M., Ereifej, K. I., & Howard, L. (2004). Antioxidant activity during storage of oils with sage. *Journal of Food Quality*, 27(1), 51–62.
 147. Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., & Sanches-Silva, A. (2017). Use of EO in active packaging (sage context). *Food Research International*, 99, 486–503.
 148. Ristic, M. S., Džamić, A. M., Soković, M. D., et al. (2008). Chemical composition & antimicrobial of Serbian sage. *Chemistry of Natural Compounds*, 44(5), 645–647.
 149. Rota, M. C., Herrera, A., Martínez, R. M., Sotomayor, J. A., & Jordán, M. J. (2008). Antimicrobial activity and EO composition. *Food Control*, 19(7), 681–687.
 150. Saito, Y., Shiga, A., & Yoshida, Y. (2004). Antioxidative properties of phenolics (sage context). *Journal of Oleo Science*, 53(10), 457–464.
 151. Sari, A. O., Başer, K. H. C., & Kirimer, N. (1999). Agronomical characterization of sage in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(Suppl.), 443–448.
 152. Scarpati, M. L., & Oriente, G. (1958). On the constituents of *Salvia officinalis* (RA isolation). *Gazzetta Chimica Italiana*, 88, 1098–1102.
 153. Sellami, I. H., Chahed, T., & Marzouk, B. (2012). Storage/packaging effects on sage quality. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 34–40.
 154. Serafini, M. R., Quintans, J. S. S., & Antoniolli, A. R. (2011). Antinociceptive effect of sage EO in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 134(2), 514–521.

155. Shafiq, M., Barkat, M. Q., & Mehmood, Z. (2017). Antibacterial and antioxidant activities of sage extracts. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 39(2), 201–207.
156. Skoula, M., & Kamenopoulos, S. (1997). Field performance & EO yield of sage in Crete. *Acta Horticulturae*, 331, 71–78.
157. Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
158. Mezzomo, N., & Ferreira, S. R. S. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: A review. *Journal of Food Engineering*, 178, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.001>
159. Guo, X., Wang, Y., & Qian, H. (2018). Ultrasound-assisted extraction of rosmarinic acid from *Salvia officinalis*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.016>
160. Liu, J., Lin, S., & Wang, Z. (2011). Microwave-assisted extraction of rosmarinic acid from *Salvia officinalis*. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 1198–1214. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00421.x>
161. Andrys, D., Kulpa, D., & Gawlik-Dziki, U. (2019). Influence of harvest time and extraction method on phenolic content and antioxidant activity of *Salvia officinalis*. *Industrial Crops and Products*, 137, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.054>

BÖLÜM 5

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVE YETİŞTİRİCİLİĞİ

Mehmet Ramazan BOZHÜYÜK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385654>

¹ Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü 76100 Iğdır
ORCID:0000-0001-5021-6019

Dünya meyve üretiminde değişimler

Bahçe bitkileri içerisinde önemli bir grup olan meyveler, çeşitli çevresel gereksinimlere sahip ılıman, subtropik ve tropik alanlarda yetişebilen farklı türlerden oluşur ve bu durum bir ülkenin meyve üretimini birçok faktöre bağlı kılar. Bunların en önemlileri arasında ülkenin meyvecilik geçmişi, iklimi, büyüklüğü ve bahçe kurulabilir arazi miktarı yer alır. Mevcut tarım teknolojisi de bir ülkenin meyve üretimini belirleyen önemli bir faktördür (Balogun vd. 2018; Mossie vd. 2023; Mancero-Castillo vd. 2024).

Son yıllarda Dünya genelinde tüketiciler sağlıklı bir yaşam tarzı ve dengeli beslenmeyi tercih etmektedirler. Meyveler, vitaminler, mineraller, lif ve antioksidanlar gibi birçok besin maddesi içerdikleri için sağlıklı beslenmenin önemli bir parçasıdır. Meyveler bir bütün olarak genel sağlığı desteklemekte, bağışıklığı güçlendirmekte ve kronik hastalık riskini azaltmaktadır (Cosme vd. 2022; Devirgiliis vd. 2024).

Dünya meyve üretimi yıldan yıla artış göstermektedir. Özellikle gübre kullanımındaki artış, yeni tarım alanlarının devreye sokulması, örtü altı yetiştiriciliğindeki gelişmeler, daha verimli çeşitlerin eldesi ve piyasaya sürülmesi vb. bu durumu tetiklemektedir. Bununla birlikte, küresel meyve pazarlarında önemli değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Artan üretime karşın, artan meyve fiyatları, küresel portakal suyu arzında keskin düşüş, AB ve ABD'de azalan meyve üretimi ve yetiştirilen meyve çeşitlerindeki değişimler bunlara örnek olarak verilebilir. Küresel ticaret ve bulunabilirlikteki bu yapısal değişiklikler, artan üretim maliyetleri, iklim değişikliği ve etkileri ile değişen tüketici tercihleri gibi bir dizi faktörün birleşiminden kaynaklanmaktadır (Ni vd. 2024).

Dünya'da en fazla meyve üreten ülke Çin olup (242.793 ton), bu ülkeyi sırasıyla Hindistan (105.971 ton), Brezilya (39.758 ton), Türkiye (24.153 ton), Meksika (23.837 ton), ABD (23.747 ton), Endonezya (22.743 ton), İspanya (19.471 ton), İran (18.963 ton) ve İtalya (17.827 ton) izlemektedir (FAO, 2024).

Dünya meyve üretimi, 2010'dan 2023'e kadar %27' lik bir büyüme kaydederek 2023'te toplam üretim hacmini 847 milyon tona çıkarmıştır. 2023'te 139 milyon tonla en çok üretilen meyve muz olmuştur. Muzu, elma (97 milyon ton), üzüm (72 milyon ton) ve portakal (70 milyon ton) izlemiştir. Bu periyotta, küresel muz ve elma üretimi, %27 ve %37 artışla, en hızlı büyümeyi

göstermiştir. Portakal üretimi ise bu dönemde sabit kalmıştır (%1) (FAO, 2024).

Sürdürülebilir tarım

Dünya’da hızla artan nüfus nedeniyle verimlilik yanında, daha besleyici gıda kaynaklarına olan talep artmıştır. Diğer yandan, geleneksel tarım uygulamalarının çevresel ve ekonomik sınırlamaları göz önüne alındığında, sürdürülebilir tarıma doğru önemli bir paradigma değişimini ortaya çıkarmış ve bu bağlamda, sürdürülebilir meyve yetiştiriciliği kritik bir odak alanı olarak ortaya çıkmıştır (Jacimovic vd. 2020; Komorowska vd. 2025).

Sürdürülebilir meyve yetiştiriciliğinde üretim miktarının artışı kadar, çevre sağlığının korunmasını ve biyoçeşitliliğin desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda karbon ayak izlerini azaltan, ekolojik dengeyi destekleyen ve kaynak verimliliğini teşvik eden uygulamalar, meyve üretim sistemlerinin dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü sağlamada giderek daha hayati hale gelmektedir (Pretty, 2020).

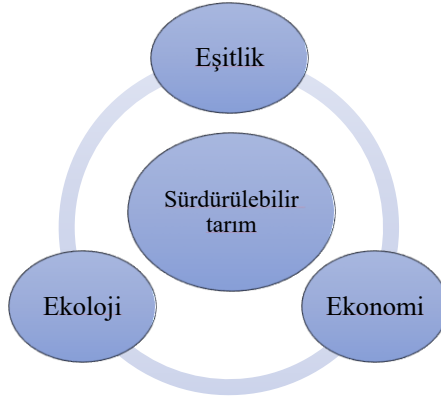
Tarım alanında sürdürülebilirlik tek tip bir kavram değil, ekolojik bütünlüğü, üreticiler için ekonomik sürdürülebilirliği ve toplumların sosyal refahını ele alan çözümler gerektiren çok yönlü bir çabadır (Pretty, 2020). Sürdürülebilir meyve yetiştiriciliğini teşvik etmeyi amaçlayan herhangi bir teknolojik müdahale, gerçekten sürdürülebilir sonuçlara ulaşmak için bu üç birbirine bağlı boyut üzerindeki etkisine göre değerlendirilmelidir. Çevresel sonuçları veya çiftçilerin geçim kaynaklarını dikkate almadan yalnızca verimi artırmaya odaklanan çözümler, uzun vadeli sürdürülebilirliğe ulaşmada yetersiz kalabilmektedir.

Sürdürülebilir tarım ifadesi, ilk olarak 1990'larda Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanmıştır. Tarım dışında da sürdürülebilir ormancılık, sürdürülebilir binalar ve sürdürülebilir kalkınma gibi kavramlarda kullanılmaktadır.

Tarihsel süreçte, 20. yüzyılda tarımda sürdürülebilirlik konusundaki en eski tartışmalardan bazıları toprak erozyonu ve koruma etrafında yoğunlaşmıştır. Meyve üretiminde pestisit sorunları ve gübre kullanımı, sürdürülebilirlik endişelerinin gelişiminde daha merkezi bir rol oynamıştır.

Toprak erozyonu, su kıtlığı ve hava kirliliği gibi ekolojik sorunlar kamuoyunda yaygın olarak dile getirilse de, sürdürülebilirliğin önündeki birçok engel sosyal, ekonomik ve politiktir. Örneğin aşırı nüfus, küresel rekabet, düşük emtia fiyatları, azalan çiftlik sayısı bunlara örnek verilebilir. Aslında sosyolojik olarak düşündüğümüzde bunların hepsi tarımsal veya bahçe bitkileri sorunları olmaktan ziyade insana ait sorunlardır. Sürekli teknolojik ilerleme, sürdürülebilirliğe doğru ilerlemede rol oynayabilir ve oynamalıdır, ancak ekolojik sorunlardan, toplumsal kaygılardan veya uzun vadeli düşünceden bağımsız olarak tek başına başarılı olamaz.

Sürdürülebilir tarımın üç temel hedefi vardır: çevre sağlığı, ekonomik kârlılık ve toplumsal değişimler. Sürdürülebilirlik genellikle ekonomik olarak uygulanabilir, çevresel açıdan sağlam ve sosyal olarak kabul edilebilir (veya adil olmak) olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, sürdürülebilirlik 3 E'ye bağlıdır: Ekoloji, Ekonomi ve Eşitlik (Şekil 1).



Şekil 1. Sürdürülebilir tarımda 3 E konsepti

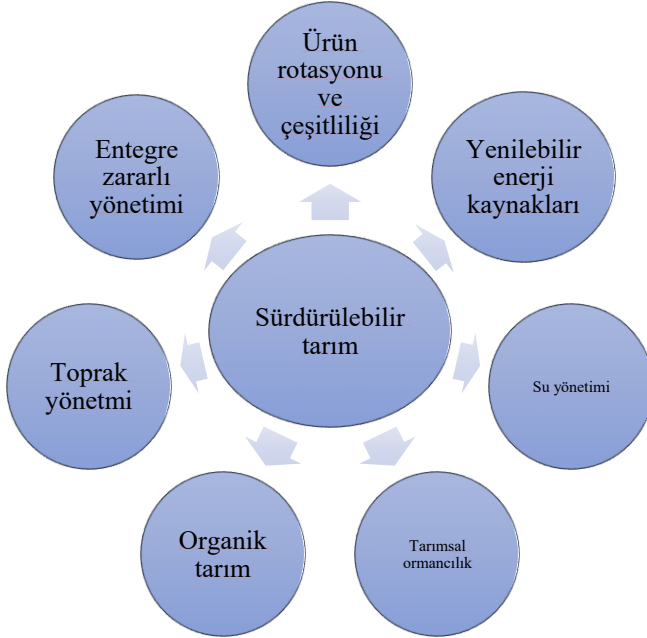
Sürdürülebilir tarım, belirli bir tarım uygulamaları kümesinden ziyade bir hedef, bir yön veya bir kavram olarak görülmelidir. Organik tarım, sürdürülebilirliğe ulaşma umuduyla bir dizi uygulamayı öngörür, ancak üç ayağın hepsini ele almaz. Bazıları sürdürülebilir tarımı bir cevaptan ziyade bir soru olarak görür. Sürdürülebilir tarım metotları Şekil 2’de ifade edilmiştir.

Organik veya entegre meyve üretiminin aksine, sürdürülebilir tarım için yaygın olarak kabul görmüş standartlar bulunmamaktadır. Ancak, sistemlerin izlenebileceği ve değerlendirilebileceği evrensel ilkeler belirleme girişimleri

olmuştur. Sürdürülebilir tarım, bir eşik değil, bir yön olarak düşünülmelidir. Bir çiftliğin daha sürdürülebilir hale gelip gelmediğini, örneğin toprak erozyonunu azaltıp azaltmadığını, biyolojik mücadeleye bağımlılığını artırıp artırmadığını veya satın alınan gübre yerine baklagillerden daha fazla N besin maddesi elde edip etmediğini nispeten kolay bir şekilde belirlenebilir.

Aşağıda, çevre sağlığını, ekonomik kârlılığı ve sosyal-ekonomik eşitliği desteklemeye yardımcı olan yedi sürdürülebilir tarım yöntemi verilmiştir (Şekil 2). Her uygulama, hem insanları hem de gezegeni destekleyen dayanıklı bir tarım sistemi oluşturmaya katkıda bulunur. Sürdürülebilir tarım yöntemleri:

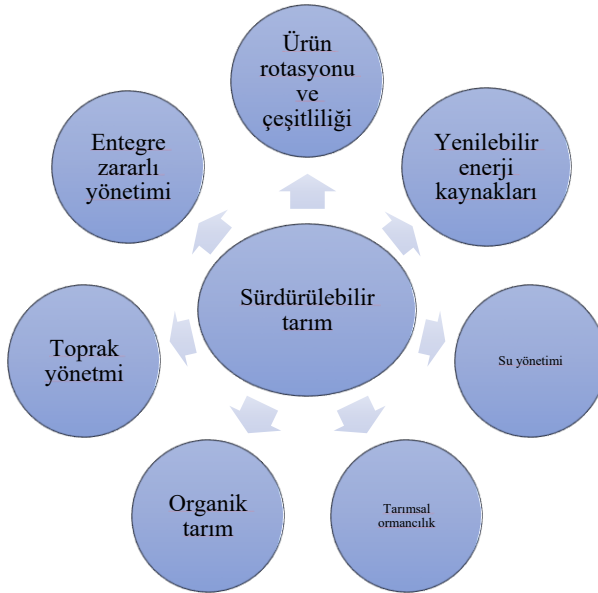
1. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM)
2. Ürün Rotasyonu ve Çeşitlilik
3. Toprak Yönetimi
4. Su Yönetimi
5. Tarımsal Ormancılık
6. Organik Tarım
7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı



Şekil 2. Sürdürülebilir tarım metodları

Sürdürülebilir tarım, süslü bir terim veya popüler bir moda kelimedenden çok daha fazlasıdır. Bu tarım türü hem çevre hem de ürün sağlığı için faydalıdır. Tüketicilerin sağlıklı gıda tüketmesi için sürdürülebilir tarımın büyük katkısı olacaktır. Sağlıklı bir beslenme düzeninin ve güvenli gıda tüketiminin sürdürülmesine yardımcı olacaktır.

Bu metotlardan birisi olan, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), zararlı yönetimi söz konusu olduğunda kurtarıcı görevi görmektedir. Zararlıların saldırısına uğramak tarımda yaygın bir durumdur, ancak aynı zamanda en tehlikeli durumu da teşkil etmektedir. Bu sorunlarla başa çıkmak için bir IPM'ye sahip olmak gerekir. Bu yöntem çevreye duyarlı ve güvenlidir. IPM, zararlıların yaşam döngüsü ve çevreyle nasıl etkileşime girdikleri hakkında bilgi içerir. Bu bilgiler ve mevcut tüm zararlı kontrol yöntemleri sayesinde, zararlı hasarı ekonomik olarak güvenli bir şekilde ve insanlar ve çevre için mümkün olan en az tehlikeyle ele alınır. IPM' de bir araç çok önemlidir: Tarımsal Püskürtücü. Püskürtücüler (meyve bahçesi pülverizatörü, bağ pülverizatörü, traktöre monteli pülverizatör), daha az pestisit kullanımı ve çevresel etkiyi azaltarak pestisitleri hedefli bir şekilde uygulamaya çalışır. Modern püskürtücüler, belirli bölgelere odaklanacak şekilde tasarlanmıştır, böylece bazen sadece ilgili bölgelere püskürtülebilir (Freitas and Silva, 2022).



Şekil 2. Sürdürülebilir tarım metotları

Tarımda, kaliteli ürün elde etmek için en önemli ihtiyaçlardan biri zararlı yönetimidir. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), tasarlanmış pestisitlerin ve diğer kimyasal maddelerin kullanımını azaltmayı hedefleyen çevre dostu zararlı kontrol uygulamalarının bir kombinasyonunu ifade eder. Zararlıyı yok etmek yerine zararlının kontrolünü ve yönetimini (ekonomik olarak zararlı seviyelerin altında tutulmasını); bunun yerine zararlı popülasyonunu azaltmak için çevre dostu veya organik önlemlerin benimsenmesini ve kullanılmasını; gübre ve pestisitler gibi temel girdilerin verimli bir şekilde uygulanması için bir çerçeve oluşturarak faydalı canlılar, insanlar ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmeyi içerir (Ilieva vd. 2025; Singh vd. 2025).

Ürün rotasyonu, aynı alanda farklı ürün türlerinin mevsimlerine göre yetiştirilmesi anlamına gelir. Ürün rotasyonu ayrıca zararlılardan kaynaklanan ürün kaybı veya hastalık riskini de azaltır. Ürün rotasyonu, aynı alanda farklı ürün türlerinin mevsimlerine göre yetiştirilmesi anlamına gelir. Bu, toprak verimliliğinin korunmasına ve zararlıların kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Ürün rotasyonu, sürdürülebilir tarımda önemli bir uygulamadır ve stratejik olarak uygulandığında zararlıları azaltabilir, toprak sağlığını iyileştirebilir ve ürün verimini artırabilir. Ürün rotasyonunun önemli bir yönü, zararlı gelişim döngülerini bozmak ve azot birikimini artırmak için her mevsim dönüşümlü olarak uygun ürünlerin seçilmesidir. Ayrıca, farklı kök yapılarına ve besin gereksinimlerine sahip ürünlerle ürün rotasyonu, toprağın fizikokimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir (Dias vd. 2015; Li vd. 2023).

Toprak yönetimi, sağlıklı toprak ile verimli tarım anlamına gelmektedir. Bu sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarından bazıları, azaltılmış toprak işleme, organik gübreler ve örtü bitkilerini içerir. Bunlar, toprak yapısının korunmasına, erozyonu azaltmaya ve toprak sağlığını iyileştirmeye yardımcı olur. Az işlenmiş veya işlenmemiş tarım yöntemlerinin kullanılması, toprağa verilen zararı en aza indirir ve bu da humusun, artan erozyon nedeniyle kaybolmasını önler. Kompost gübre, sentetik gübrenin olumsuz etkileri olmadan verimliliği artırır. Örtü bitkileri erozyonu önler ve toprağı yapılandırarak besin maddelerinin dolaşım koşullarını iyileştirir (Miner vd. 2020; Ranjan vd. 2023).

Sürdürülebilir tarımda suyun verimli kullanımı ve yönetimi son derece önemlidir. Damla sulama, yağmur suyu hasadı ve nem sensörlerinin kullanımı, mevcut su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur.

Damla sulamada, suyun bitkinin köküne yakın bir yere düşmesi nedeniyle herhangi bir kayıp veya israf olmaz. Bu, diğer geleneksel sulama yöntemlerine kıyasla daha az suyla bile verimi artırır. Hasat edilen yağmur suyu, öncelikle kurak dönemlerde kullanılmak üzere toplanıp depolanmak üzere en uygun şekilde kullanılır. Toprak nem sensörleri, topraktaki nem seviyelerinin izlenmesine yardımcı olarak, bitkilerin doğru zamanda yeterli miktarda su almasını sağlar. Tüm bunlar, pestisit ve gübre uygulamalarında kullanılan sudan herhangi bir damla kaybı yaşanmadan su kullanım yöntemlerinde verimlilik sağlamak için bir tarım ilaçlama makinesiyle entegre edilebilir (Russo vd. 2014; Teweldebrhan ve Dinha, 2025).

Tarımsal ormancılık, ağaç ve çalıların tarımsal ve hayvancılık sistemlerine entegrasyonudur. Ağaç ve çalıların en büyük avantajlarından bazıları, artan biyolojik çeşitlilik, topraklardaki yapısal çeşitliliğin iyileştirilmesi ve ek karbon tutulmasıdır. Bitki örtüsü, toprak erozyonuna ve rüzgârın mahsullere verdiği zarara karşı rüzgâr kırıcı görevi görebilir. Tarımsal ormancılık sistemleri, habitat çeşitliliğini iyileştirerek, tür çeşitliliğinin artmasını destekler ve böylece ekolojik dengeye katkıda bulunur (Sollen-Norrlin vd. 2020; Gitari vd. 2024).

Organik tarım, tüm sentetik gübre ve pestisitlerin kullanımına izin vermez ve alternatif doğal yöntemleri tercih eder. Bu tekniklerin neredeyse yarısı, sürdürülebilir verimlilik sağlamak ve zararlıları kontrol altına almak için ürün rotasyonu, yeşil gübre, kompostlama ve biyolojik zararlı kontrolüne dayanır. Organik tarım, biyoçeşitliliğe olanak tanır ve toprak sağlığını, tarımsal akıştan gelen suyun saflığını ve havanın temizliğini destekler (Behera vd. 2012; Blundell vd. 2020).

Sürdürülebilir tarım, güneş, rüzgar ve biyoenerji gibi yenilenebilir kaynakların kullanımına daha fazla önem vermektedir. Bu enerji kaynakları, çit ve diğer tarım süreçleriyle ilişkili karbon ayak izini azaltırken, enerji kullanımında bağımsızlık da sağlamaktadır. Güneş panelleri sulama sistemlerini ve elektrikli çitleri çalıştırmak için kullanılabilirken, rüzgar türbinleri de çiftlikte kullanılmak üzere elektrik üretiminde kullanılabilir. Tarımsal atıklardan elde edilen biyoenerji, biyogaza dönüştürülerek yemek pişirme ve ısıtma için yenilenebilir bir enerji kaynağı sunmaktadır. Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin bu makro yaklaşım,

sürdürülebilirlik kavramını sürdürerek uzun vadeli çevresel ve ekonomik faydalar sağlamaktadır (Kaya ve Budak, 2023; Sharma ve Das, 2024).

Sürdürülebilir meyve üretimi

Dünya’da meyve üretimi, günümüzde yukarıda belirtilen tüm ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları kapsayan bir dizi sürdürülebilirlik sorunuyla karşı karşıyadır. Ekonomik sorunlar arasında, durağan veya düşen fiyatlarla artan üretim maliyetleri (örneğin işçilik), alıcıdan çok satıcıya ve üreticiler için daha az ekonomik güce yol açan perakende konsolidasyonu yer almaktadır. Bazı meyvelere olan talebin azalması; küresel rekabet ve karşıt yarımkürelerde mevsim dışı üretim de örnek verilebilir..

Pestisitler, su kullanımı ve kalitesi, enerji, biyoçeşitlilik ve hava (örneğin metil bromür) ile ilgili çevresel sorunların tümü sürdürülebilirlikle ilgilidir, ancak genellikle ekonomiden daha uzun bir zaman dilimini kapsar. Sosyal sürdürülebilirlik ise işçi güvenliği ve diğer işgücü konularını, meyvenin beslenmedeki sağlık yararlarını, kentleşme ve arazi kullanımındaki değişiklikleri ve gıda güvenliğini kapsar.

Meyve üretimini etkileyen sürdürülebilirlik sorunları, ölçeğe, pazarlama kanallarına ve konumun coğrafi bağlamına bağlıdır. Küçük ölçekli, doğrudan pazara yönelik bir meyve yetiştiricisi, büyük ölçekli, ihracata yönelik bir elma üreticisinden farklı zorluklarla karşılaşacaktır.

Meyve üretim sistemi

Ticari meyve üretimi, Üretim-Hasat Sonrası-Pazarlama-Dağıtım-Perakende-Tüketici Talebi şeklinde uygulanmaktadır. Tarıma endüstriyel bakış açısı bunu, bir ucunda üretim girdileri, diğer ucunda ürünler ve tüketim bulunan doğrusal bir süreç olarak görsede, bu zincir daha çok bir çember gibidir ve sürdürülebilirliği etkileyen birçok geri bildirim döngüsü vardır.

Talep sürdürülebilir meyve üretimi için temel bir sistem koşulu olarak düşünülebilir. Sürekli talep olmadan, belirli bir meyvenin üretimi devam etmeyecektir. Talebi neler etkiler? Genellikle kültürel tercihler, beslenme çeşitliliği, tad, sağlık özellikleri (gerçek veya algılanan), fiyatı ve kolaylığı (örneğin önceden dilimlenmiş meyve) önemli etkenlerdir. Ancak uzun vadeli sürdürülebilirlik için, meyvenin benzersiz özelliklerinin (organik meyve, MDA

proteini içermeyen meyve vs.) tanımlanması, doğrulanması ve iletilmesi gerekir.

Sürdürülebilirlik üzerindeki bir diğer önemli etki, bir alanın biyofiziksel kapasitesiyle ilgilidir. Tüm çiftlikler kaliteli meyve üretme konusunda eşit yaratılmamıştır. Elma gibi ılıman iklim meyveleri, dünya genelinde çeşitli iklimlerde, topraklarda ve arazilerde yetiştirilmektedir. Her yerde, meyve ağaçlarının ışığa, ısıya, suya, havaya ve besinlere ihtiyacı vardır. Üretim, çevrenin ideal miktarlarda ve sürede daha fazlasını sağlayabildiği yerlerde doğası gereği daha sürdürülebilir. Modern teknoloji, dolu, güneş yanığı ve don gibi birçok çevresel engelin aşılmasını sağlar, ancak bunun bir bedeli vardır. Her yerde meyve üretimi, ekonomik açıdan önemli zararlılara karşı koruma gerektirir ve bu zararlılar için birçok araç ve teknik mevcuttur. Meyve yetiştiricileri, bilgi yoğun yönetim (örneğin hassas tarım), gelişmiş biyoçeşitlilik, su tasarrufu, biyolojik kontrol ve toprak organik maddesinin artırılması gibi çeşitli uygulama ve stratejiler aracılığıyla biyofiziksel sürdürülebilirliği artırmaktadır.

Son birkaç on yılda, entegre meyve üretimi ve organik meyve üretimi, sürdürülebilir meyve üretimine olası iki yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Hedefleri birbirine çok benzemekle birlikte, stratejileri biraz farklıdır. Her ikisi de dünyanın birçok yerinde meyve türleri ve asma üretimi üzerinde yaygın bir etkiye sahip olmuştur.

Entegre meyve üretimi

Entegre üretim, tarımda sürdürülebilirlik sorunlarını ele almayı amaçlayan, ekonomik ve çevresel yönleri vurgulayan bir kavramdır. Entegre meyve üretiminde oluşturulan kılavuzlar aşağıdaki unsurları ayrıntılı olarak açıklamaktadır:

- Tanım
- Profesyonel olarak eğitilmiş, çevre ve güvenlik bilincine sahip yetiştiriciler
- Meyve bahçesi ortamının korunması
- Yeni meyve bahçeleri için yer, anaçlar, çeşit ve dikim sistemi
- Toprak yönetimi ve ağaç besleme
- Geçitler ve yabancı otsuz şeritler
- Sulama

- Ağaç eğitimi ve yönetimi
- Meyve yönetimi
- Entegre bitki koruma
- Verimli ve güvenli spreyci uygulama yöntemleri
- Hasat, depolama ve meyve kalitesi
- Hasat sonrası kimyasal işlemler
- Uygulama şekli, kontroller, sertifikasyon ve etiketleme

Kılavuzlarda verilen ayrıntı düzeyi bu unsurlar arasında değişiklik göstermekte olup, bitki koruma en çok dikkat çeken unsurdur. Kılavuz, pestisitlerin üç grup halinde sınıflandırıldığı bir sistemi (izin verilen, kısıtlamalarla izin verilen ve izin verilmeyen) ve bu belirlemede dikkate alınan faktörleri belirtmektedir. Zararlı kontrolüne bu kadar vurgu yapılması, Entegre Bitki Koruma Yönetimi'nin (IPM) sürdürülebilir meyve üretiminin temel unsuru olarak kabul edildiğini göstermektedir.

Entegre meyve üretimi, sürdürülebilirliği birçok açıdan ele alır. Bunun iyi bir örneği, bodur anaç kullanımı ile yoğun dikime geçiştir. Taç yüksekliği ve mimarisindeki bu değişim, bahçe sisteminin birçok yönü üzerinde sonuçlar doğurmuştur. Meyvelerin daha erken olgunlaşması ekonomik sürdürülebilirliğe yardımcı olur. Düşük taç yüksekliği, merdiven işlerinin çoğunu ortadan kaldırarak işçi güvenliğini artırır ve sosyal sürdürülebilirliğe fayda sağlar. Daha açık bir taç sistemi, bazı hastalıkların azaltılmasına yardımcı olur ve pestisitlerin kapsamını ve etkinliğini iyileştirerek çevresel sürdürülebilirliği destekler. Modern yüksek yoğunluklu meyve bahçelerinde kullanılan birçok uygulama sürdürülebilirliği artırır. Damla sulama, suyu önemli ölçüde koruyabilir. Baklagiller ve organik gübreler, fosil yakıt bazlı gübrelerin kullanımını dengeleyerek verimlilik ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilir. Ağaç sıralarındaki malçlar, yabancı otları kontrol altına alabilir, nemi koruyabilir ve topraktaki organik maddeyi artırırken, ağaç büyümesini ve meyve verimini artırabilir.

Kaynaklar

- Balogun OL, Adewuyi SA, Disu OR, Afodu JO, Ayo-Bello TA (2018). Profitability and technical efficiency of pineapple production in Ogun state, Nigeria. *International Journal of Fruit Science*, 18: 436-444. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1470594>.
- Behera KK, Alam A, Vats S, Sharma HP, Sharma V (2012). Organic farming history and technique. *Agroecology and Strategies for Climate Change*, 287-328. https://doi.org/10.10007/978-007-1905-7_12.
- Blundell R, Schmidt JE, Igwe A, Cheung AL, Vannette RL, Gaudin C, Casteel CL (2020). Organic management promotes natural pest control through altered plant resistance to insects. *Nature Plants*, 6:483-491. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0656-9>.
- Cosme F, Pinto T, Aires A, Morais MC, Bacelar E, Anjos R, Ferreira-Cardoso J, Oliveira I, Vilela A, Gonçalves B (2022). Red fruits composition and their health benefits-A review. *Foods*, 11(5):644. <https://doi.org/10.3390/foods11050644>
- Devirgiliis C, Guberti E, Mistura L, Raffo A (2024). Effect of fruit and vegetable consumption on human health: An update of the literature. *Foods*, 13 (19):3149. <https://doi.org/10.3390/foods13193149>
- Dias T, Dukes A, Antunes PM (2015). Accounting for soil biotic effects on soil health and crop productivity in the design of crop rotations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 447-454. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6565>.
- FAO (2024). Food and Agricultural Organization. Statistical database.
- Freitas J, Silva P. Sustainable agricultural systems for fruit orchards: The influence of plant growth promoting bacteria on the soil biodiversity and nutrient management. *Sustainability*. 2022; 14(21):13952. <https://doi.org/10.3390/su142113952>.
- Gitari HI, Nungula EZ, Chappa LR, Raza MA, Ranjan S, Sow S, Alnemari AM, Seleiman MF, Mwadalu R, Maitra S. (2024). Agroforestry for climate security. In: *Agroforestry* (A Raj, MK Jhariya, A Banerjee, RK Jha, KP Singh Eds), Scrivener Publishing LLC. pp 317-342.
- Ilieva T, Karova A, Ivanova M (2025). Sustainable agriculture through integrated pest management: Strategies for effective implementation. In:

- Nathanail, E.G., Gavanas, N., Adamos, E. (eds) Climate Crisis and Resilient Transportation Systems. CSUM 2024. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82818-8_38.
- Jacimovic V, Bozovic D, Ercisli S, Bosancic B, Necas T (2020). Sustainable cornelian cherry production in Montenegro: Importance of local genetic resources. *Sustainability*, 12(20):8651. <https://doi.org/10.3390/su12208651>,
- Kaya A, Budak DB (2023). Use of renewable energy in agriculture in terms of sustainability: Hatay/Turkey example. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 10(1):15-22. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1131613>.
- Komorowska M, Kuboń M, Niemiec M, Tora J, Okręglińska M, Wongkaew A (2025). Sustainable strategies for raspberry production: greenhouse gas mitigation through biodegradable substrate additives in high tunnels. *Sustainability*, 17(19):8740. <https://doi.org/10.3390/su17198740>.
- Li Q-M, Zhang D, Zhang J-Z, Zhou Z-J, Pan Y, Yang Z-H, Zhu J-H, Liu Y-H and Zhang L-F (2023). Crop rotations increased soil ecosystem multifunctionality by improving keystone taxa and soil properties in potatoes. *Frontiers in Microbiology*, 14:1034761. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1034761>.
- Mancero-Castillo D, Garcia Y, Aguirre-Munizaga M, Ponce de Leon D, Portalanza D and Avila-Santamaria J (2024). Dynamic perspectives into tropical fruit production: a review of modeling techniques. *Frontiers in Agronomy*, 6:1482893. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1482893>.
- Miner GL, Delgado JA, Ippolito JA, Stewart CE (2020). Soil health management practices and crop productivity. *Agricultural and Environmental Letters*, 5:e20023. <https://doi.org/10.1002/acl2.20023>.
- Mossie M, Gerezgiher A, Ayalew Z, Nigussie Z, Elias A (2023). Characterization of fruit production and market performance in northwest Ethiopia. *CABI Agriculture and Bioscience*, 4(1):10. <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00149-3>.

- Ni F, Li Z and Huang J (2024) Worldwide productivity and research trend on fruit quality: a bibliometric study. *Frontiers in Plant Science*, 14:1294989. [https://doi.org/ 10.3389/fpls.2023.1294989](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1294989).
- Pretty J (2020). New opportunities for the redesign of agricultural and food systems. *Agriculture and Human Values*, 37(3):629-630. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10056-2>.
- Ranjan S, Kumar S, Dutta SK, Sow S, Kumar S, Sushant. (2023). Long-term organic amendment application improves soil fertility status, nutrient accumulation and crop productivity under rice-wheat cropping system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 54(18): 2579-2589.
- Russo T, Alfredo K, Fisher J (2014). Sustainable water management in urban, agricultural, and natural systems. *Water* , 6: 3934-3956.
- Sharma R, Das V (2024). A review of sustainable agriculture and renewable energy pathways for reducing environmental degradation. *Journal of Energy and Environmental Policy Options*, 7(3): 14-22.
- Singh G, Joshi NK (2025). Insect pests of wheat in north India: A comprehensive review of their bio-ecology and integrated management strategies. *Agriculture*, 15(19):2067. <https://doi.org/10.3390/agriculture15192067>.
- Sollen-Norrlin M, Ghaley BB, Rintoul NLJ (2020). Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond. *Sustainability*, 12(17):7001. <https://doi.org/10.3390/su12177001>
- Teweldebrihan MD, Dinka MO (2025). Sustainable water management practices in agriculture: The case of east Africa. *Encyclopedia*, 5(1):7. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010007>

BÖLÜM 6

REJENERATİF (YENİLEYİCİ) TARIM UYGULAMALARI

Mehmet Ramazan BOZHÜYÜK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385693>

¹ Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe, itkileri Bölümü 76100 Iğdır, ORCID:0000-0001-5021-6019

Tarımın önemi

Tarım, 10.000 yılı aşkın süredir insan medeniyetinin temelini oluşturmaktadır. Tarımın gelişimi, ilk insan toplumlarının göçebe avcı-toplayıcı yaşam tarzından kalıcı yerleşimlere geçişini sağlayarak ilk köylerin, şehirlerin ve ulusların doğuşuna yol açmıştır. Günümüzde modern tarım, yaklaşık 8 milyarlık küresel nüfusun hayatta kalması ve gelişmesi için mutlak surette elzem olmaya devam etmektedir. Tarım teknolojisi ve uygulamalarındaki gelişmeler, hızlı nüfus artışına ayak uydurabilmek için ürün verimini önemli ölçüde artırmıştır. Tarım, dünya gıda arzının büyük çoğunluğunu ve pamuk, kauçuk ve yağlar gibi bitkisel endüstriyel ürünleri sağlamaktadır. Ayrıca, tarım, gelişmekte olan ülkelerde milyonlarca insanın temel geçim kaynağı olmasının yanı sıra uluslararası ticarete de önemli bir sektör olarak dünya ekonomisinde hayati bir rol oynamaktadır (Viana vd. 2022).

İnsan nüfusu önümüzdeki on yıllarda artmaya devam ettikçe, gıda güvenliğini sağlamak ve çevreyi korumak için sürdürülebilir tarım uygulamalarını geliştirmek kritik öneme sahip olacaktır (Miladinov, 2023).

Tarım sadece insanları beslemekle kalmaz, aynı zamanda aşırı yoksulluğu sona erdirmek ve ekonomileri canlandırmak için en güçlü araçlardan biridir. Tarımdaki büyüme, diğer sektörlerde üretilen eşdeğer bir büyümeye kıyasla yoksulluğu azaltmada 2-3 kat daha etkilidir ve etkileri toplumdaki en yoksul kesimler için en büyük etkiye sahiptir (Kamal, 2017). Gıda sistemi, çiftliklerde milyonlarca kişiye iş imkânı sağlar ve tedarik zinciri boyunca milyonlarca kişiye daha iş imkânı sağlama potansiyeline sahiptir. İyi beslenme, insanları daha sağlıklı ve üretken kılar, girişimcileri güçlendirir ve kritik bir uzun vadeli ekonomik yatırımı temsil eder. Ayrıca, tarımsal gıda sistemi, uygun fiyatlı ve kolayca ulaşılabilir eylemlerle dünya sera gazı emisyonlarının neredeyse üçte birini azaltmak için büyük bir fırsat sunmaktadır (Pawlak and Kolodziejczak, 2020).

Günümüzde insanları beslemek, ülkelerin gıda üretim yöntemlerini kökten değiştirmelerini ve gıdanın en fazla risk altında olanlara ulaşmasını sağlamalarını gerektiriyor. Yarının insanlarını beslemek ise, gıda sistemlerinin temelini oluşturan doğal kaynakları ve insan sermayesini korumaya bağlı bulunmaktadır. Tarım sektörü, gıda bulunabilirliğini iyileştirmede ve gıda güvenliğini sağlamada stratejik bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte,

önümüzdeki on yıllarda küresel gıda talebinin artacağı konusunda genel bir fikir birliği olsada, küresel tarımın gıda arzındaki artış yoluyla bu talebi karşılama kapasitesi konusunda belirsizlik bulunmaktadır (Bellon, 2022).

Tarım, temel gıda ürünlerinin üretimiyle ilişkilendirilmiştir. Günümüzde tarım, çiftçiliğin yanı sıra ormancılık, süt ürünleri yetiştiriciliği, meyve yetiştiriciliği, kümes hayvancılığı, arıcılık, sebze ve mantar yetiştiriciliği vb. alanları da kapsamaktadır. Bunların tümü mevcut tarımın bir parçası olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla tarım, tarımsal ürünlerin üretimi, işlenmesi, tanıtımı ve dağıtımı olarak adlandırılabilir. Tarım, belirli bir ekonominin tüm yaşamında kritik bir rol oynar. Tarım, belirli bir ülkenin ekonomik sisteminin omurgasını oluşturur. Gıda ve hammadde sağlamanın yanı sıra, tarım nüfusun çok büyük bir kısmına istihdam olanakları da sağlar. Dünyanın çoğu yerinde tarım önemli bir geçim kaynağıdır. Sanayi devriminden önce tarım, ekonominin temel kaynağıydı. Birçok ticaret seçeneği ortaya çıktıkça, birçok kişi gelirini tarıma bağımlı hale getirmiştir. Pamuk, şeker, palmye yağı gibi birçok hammadde tarımdan geliyor. Bu malzemeler, ilaç, dizel yakıt, plastik ve daha fazlasının üretimi gibi birçok kişinin farkında bile olmadığı büyük endüstriler için hayati önem taşır. Aslında, hammaddeler üretimde o kadar önemlidir ki, bir ülkenin ekonomik sağlığı büyük ölçüde sahip olduğu hammadde miktarına bağlıdır (Kusz vd. 2022).

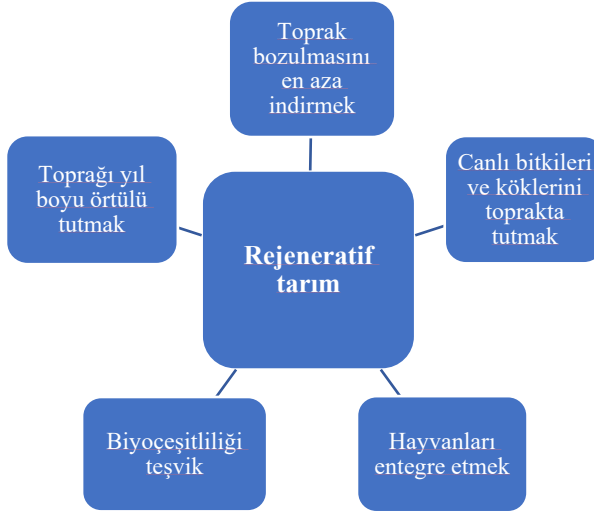
Tarımsal hammaddeler, uluslararası ticaretin büyük bir kısmını oluşturur. Bu hammaddelere bol miktarda sahip olan ülkeler bunları ihraç eder ve sahip olmadıkları hammaddelerle ticaret yaparlar. Bir ülkenin tarımı herhangi bir nedenle sıkıntıya girerse, fiyatlar yükselebilir ve bu da ticaret akışını aksatır. Tarım sektörü hâlâ en büyük istihdam kaynaklarından biridir ve birçok alanda hızla büyümektedir. İster çiftçi, ister pazarlayıcı, ister tarım ekipmanı teknisyeni, ister bilim insanı vb. olsun, bu alanda birçok iş mevcuttur. Gelişmekte olan ülkelerde, tarımsal işler yüksek işsizlik oranlarının azaltılmasına yardımcı olur (Popescu vd. 2025).

Yoksulluğun azaltılması söz konusu olduğunda, kanıtlar tarıma odaklanmanın diğer alanlara yatırımdan çok daha etkili olduğunu göstermektedir. Tarım, bir ülkenin altyapısının o kadar önemli bir parçasıdır ki, çatışmaları ve savaşları etkilemesi doğaldır. Tarih boyunca, gıda üretimi için toprağa duyulan ihtiyaç birçok çatışmayı körüklemiştir. Daha modern zamanlarda, özellikle I. Dünya Savaşı'nda, Amerika'nın tarım endüstrisi,

Avrupa'ya tarım ürünleri tedarik etmesi gerektiği için hızla büyüdü. Yardım alamayan ülkeler için savaş, tarım sektörünü çökertebilir ve insanları on yıllarca etkileyebilir. Sığır eti, balık ve süt ürünleri gibi protein kaynakları da tarıma bağlıdır. Vejetaryen kaynaklardan elde edilen protein, hastalık riski olmadan ucuz ve sağlıklıdır. Bu nedenle insanlar günlük ihtiyaçları için tarımdan elde edilen proteine güvenirler. Enerji, vücut yapısı ve ısıyı yağ ve sıvı yağlarla sağlamak esastır. Bunlar, tarımdan ayçiçeği, yer fıstığı, hardal, susam vb. yetiştirilerek elde edilebilir. Meyveler: Meyveler, pişirilmeye ihtiyaç duymadıkları için organik ve bozulmamış besin içeriğine sahiptir. Çocuklar, yaşlılar ve hastalar tarafından sindirilebilirler (Gassner vd. 2019; Singh vd. 2019).

Tarım sistemleri ve rejeneratif tarım

Toprak verimliliğini olumsuz anlamda etkileyen ve onun potansiyelini azaltan, toprağın içerdiği karbon miktarını düşüren veya ekosistemlerdeki canlı organizma sayısını azaltan tarım sistemleri veya uygulamaları "dejeneratif" olarak adlandırılmıştır (Burgess vd. 2019). Yoğun tarım uygulamalarının neden olduğu toprak bozulması, tarımın biyokütleden enerji, sıvı yakıt ve gaz yakıt üretme konusundaki uzun vadeli potansiyelini de sınırlamaktadır (Sulewski vd. 2017). Toprak da dahil olmak üzere doğal kaynakları ve çiftliklerin canlılığını korumayı, doğal çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmayı amaçlayan sürdürülebilir tarım, genellikle yoğun tarımsal üretime bir alternatif olarak önerilmektedir. Buna karşılık, rejeneratif tarım yalnızca sektörün çevre üzerindeki olumsuz etkisini yavaşlatmaya yardımcı olmak anlamına gelmez. Uygun tarım uygulamalarını izleyerek, rejeneratif tarımın ekosistemleri, özellikle de toprağı yeniden inşa etmeye, sağlıklı gıda ve temiz enerji üretiminde doğal kaynakların potansiyelini artırmaya, doğal olarak oluşan süreçleri canlandırmaya ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yardımcı olması hedeflenmektedir (Rodales, 1986) (Şekil 1). Yaklaşımı yönlendiren beş ilke şunlardır: (1) toprak bozulmasını en aza indirmek, (2) toprağı yıl boyunca örtülü tutmak, (3) canlı bitkileri ve kökleri mümkün olduğunca uzun süre toprakta tutmak, (4) biyolojik çeşitliliği dahil etmek ve (5) hayvanları entegre etmek.



Şekil 1. Rejeneratif tarımda temel amaçlar

Rejeneratif tarım, tarım yapılan topraklarda biyolojik aktiviteyi artırmak, toprak sağlığını iyileştirmek, besin döngüsünü iyileştirmek, peyzaj işlevini geri kazandırmak ve gıda ve lif üretmek için doğal süreçleri kullanan ve aynı zamanda çiftlik kârlılığını koruyan veya artıran bir tarım stratejisidir (Tablo 1). Strateji, bir dizi yol gösterici ilkeye dayanmaktadır. Çiftçiler üretimi artırma ve peyzaj işlevselliğini geri kazandırma amacıyla biyolojik ve ekolojik süreçleri entegre eden çeşitli taktikler kullanırlar. Rejeneratif tarımın amacı, doğal tarım öncesi ekolojii ve biyolojik işlevi geri kazandırmak değil, tarım sistemi sağlığını iyileştirmek için bir tarım sistemi içindeki doğadaki ekolojik süreçlerden yararlanmaktır (Rhodes, 2017; Sher vd. 2024).

Diğer tarım sistemleri ile karşılaştırıldığında, rejeneratif tarımın amacı yalnızca sektörün çevre üzerindeki olumsuz etkisini yavaşlatmak değildir. Uygun tarım uygulamalarını izleyerek, rejeneratif tarımın ekosistemleri, özellikle de toprağı yeniden inşa etmeye, sağlıklı gıda ve temiz enerji üretiminde doğal kaynakların potansiyelini artırmaya, doğal olarak oluşan süreçleri hızlandırmaya ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yardımcı olması beklenmektedir (White, 2020).

Tablo 1. Rejeneratif tarım uygulamaları sonucu beklenen faydalar ve mikrobiyal mekanizmalar

Uygulamalar	Faydaları	Mikrobiyal mekanizmalar
Hiç veya minimum toprak işleme	Artırılmış karbon	Sıvı karbon yolu
Anızı bırakma	Mikrobiyal fonksiyonların geliştirilmesi ve ilişkili beslenme döngüsü	Su ve mineral alımının iyileştirilmesi
Çeşitli ürün rotasyonu	Toprak neminin iyileştirilmesi	Toprak agregasyonunu, bitki büyümesini ve fotosentezin artırılması
Farklı örtü bitkileri	Besin açısından zenginleştirilmiş gıdalar	
Birlikte yetiştirme	Sera gaz emisyonlarının azalması	
Kompostlama ve biyostimülanların kullanımı		
Rotasyonel otlatma		
Sentetik girdileri azaltma		

Tarihçesi

Rejeneratif tarım akımı, 20. yüzyılda gelişen doğal, biyodinamik ve organik tarım ile agroekoloji kavramlarından doğmuştur. Dolayısıyla, büyük ölçüde eski ve denenmiş bitkisel üretim ve hayvancılık yöntemlerini çağrıştıran, tarımda doğal üretim kaynaklarının potansiyelini yeniden inşa etme ve güçlendirme ve tarımsal sistemleri yenilemeye yönelik eylemlerde bulunma ihtiyacını vurgulayan yeni bir fikirdir. Rejeneratif tarım genellikle "doğal" yöntemlere dayalı ve doğada meydana gelen mekanizmalarla yakından bağlantılı tarımsal üretim anlamına gelir. Temel amacının genellikle sağlıklı gıda üretmek ve çevreyi korumak olduğuna inanılır.

Tarihsel süreçte, rejeneratif tarım terimi ilk olarak Gabel (1979) tarafından ortaya atılmış, ardından Rodale (1986), kimyasal gübre ve pestisit kullanmadan çevresel ve sosyal iyileştirmelere odaklanan bütünsel bir

yaklaşımı kapsayan bazı seçenekleri içerecek şekilde rejeneratif organik tarım kavramını daha da geliştirmiştir. O zamandan beri, çeşitli araştırmacılar tarafından rejeneratif tarımın çeşitli tanımları ortaya atılmıştır. Francis vd. (1986), rejeneratif tarımın sentetik girdilerin kullanımını kısıtlarken, çiftlikte bulunan kaynakların kullanımını vurguladığını öne sürmüştür. Sherwood ve Uphoff (2000) ve Rhodes (2017), rejeneratif tarımın hem verimliliği hem de çevre yönetimini geliştirmeyi amaçlayan biyolojik ilkeler üzerine kurulu bir sistem olduğunu öne sürmüştür. Tersine, toprak verimliliğini, karbon depolamasını ve biyoçeşitliliği azaltan sistemler dejeneratif tarım olarak kabul edilir.

1970'lerin sonlarından bu yana, rejeneratif terimi tarım ve çiftçilikle ilişkilendirilmiştir. Tarihsel süreçte rejeneratif tarım yedi eğilimi özetlemektedir (Rodale, 1986). Bir tarım sistemi, bu yedi özellik sayesinde rejeneratif hale gelir. Rejeneratif bir sistem yedi eğilimle karakterize edilir:

1. Bitki türlerinin çeşitliliğini ifade eden **Çoğulculuk**
2. Toprak erozyonunu azaltmak ve toprak yüzeyindeki mikrobiyal popülasyonları artırmak için örtü bitkilerinin kullanımını vurgulayan **Koruma**
3. Üretimde gübre ve pestisitlerin kasıtlı olarak kullanılmamasını içeren **Saflık**
4. Çok yıllık ve güçlü köklere sahip bitkilerin artışı öneren **Kalıcılık**
5. Doğayla uyum içinde yaşamak ve ona karşı çıkmak yerine onunla birlikte gelişmek anlamına gelen **Barış**
6. Toprak yüzeyine çıkan ve bitkiler tarafından kullanılan kolay erişilebilir besinleri ifade eden **Potansiyel**
7. Toprak kalitesinin kompozisyon ve su tutma kapasitesi açısından sürekli iyileştirilmesini içeren **İlerleme**.

Sürdürülebilir tarımsal ekosistemler için korumacı-yenileyici tarım

Gezegemimizin topraklarının yaklaşık üçte biri bozulmuş durumdadır. Su ve rüzgar erozyonu, toprak sıkışması, organik madde kaybı, tuzlanma, asitlenme, kirlenme ve biyolojik çeşitlilik kaybı, toprak bozulmasının en endişe verici biçimleri arasındadır. Tarım arazilerinde bu tehditler, sürdürülemez yönetimle daha da kötüleşebilir. Tek ürün yetiştirme, aşırı toprak işleme, aşırı

gübre kullanımı ve yetersiz ürün kalıntısı yönetimi gibi uygulamalar toprak sağlığını olumsuz etkiler. Ekili arazilerdeki mevcut karbon konsantrasyonu kayıplarının yılda yaklaşık %0.5 olduğu tahmin edilmektedir ve bu durum, iklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olmak yerine toprak verimliliğini ve dayanıklılığını kaybetmesine neden olmaktadır.

Sürdürülebilir tarıma ulaşmak için sürdürülebilirliğin üç boyutu dikkate alınmalıdır: çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler. Korumacı tarımın, birbiriyle bağlantılı üç temel ilkeyi uygulayarak sürdürülebilirlik boyutlarına ulaştığı gösterilmiştir: minimum toprak bozulması, kalıcı toprak örtüsü ve ürün çeşitlendirmesi. Rejeneratif tarım bu ilkelerle yakından uyumludur ve hayvancılık yönetimini açıkça dahil ederek daha da ileri gider. Korumacı ve yenileyici tarım uygulamaları, toprak sağlığının iyileştirilmesi için tarımsal, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sağlam çözümler sunar. Bu tarımsal-çevre uygulamalarının faydaları arasında organik madde, toprak yapısı, su tutma, toprak verimliliği, iklim değişikliğine uyum, biyolojik çeşitlilik ve dayanıklılık gibi alanlarda iyileştirmeler yer alır. Rejeneratif tarım, uzun vadeli verimliliği, çevresel sürdürülebilirliği ve ekonomik sürdürülebilirliği desteklerken, toprak bozulmasını durduran ve tersine çeviren sürdürülebilir bir tarım uygulamasıdır (Tablo 2).

Tablo 2. Sürdürülebilir tarımsal ekosistemler için korumacı-yenileyici tarım

Koruyucu tarım	-Toprağın minimum bozulması -Kalıcı toprak örtüsü (artık malç, örtü bitkileri) -Ürün rotasyonu/çeşitliliği -Entegre zararlı yönetimi -Entegre besin yönetimi -Suyla birlikte gübreleme
Toprak sağlığının restorasyonu	-Arazi bozulmasının nötrleşmesi -Ağaçlandırma -Sulak alanların restorasyonu -Koruma rezervi programı
Tek ve çok yıllık mahsullerin hayvancılıkla bütünleştirilmesi	-Otlatmanın yönetimi -Ağaçlandırma -Araziyi birkaç yıl dönüşümlü olarak tarım toprağı ve mera olarak kullanma -Yem bitkileri -Ormanlık mera -Canlı çitler
Karasal biyosferin yeniden karbonca zenginleştirilmesi	-Karbon depolama, toprakta organik ve inorganik, biyokütle

Sonuç

Tarım, dünyanın önde gelen gıda kaynağıdır. Tarım, bitkisel ve hayvansal ürünleriyle protein, karbonhidrat ve yağ kaynağıdır. Karbonhidratlar tüm canlılara enerji sağlar. Bunlar, pirinç, buğday ve patates gibi çiftliklerde yetişen tahıllar şeklinde üretilir. Vücudumuzu proteinlerle güçlendirmeye yardımcı olur. Kirlilik ve iklim değişikliği söz konusu olduğunda, çevre ve tarım en hızlı ve en belirgin sonuçlarla zarar görür. Etkili değişiklikler yapılmazsa, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisi bir ülkenin ekonomisini çökertecek ve sonunda gıda arzını yok edecektir.

Kaynaklar

- Bellon MR, Ntandou-Bouzitou G, Lauderdale JE, Caracciolo F (2022). Combining market and nonmarket food sources provides rural households with more options to achieve better diets in Southern Benin. Food Security, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01320-w>.
- Burgess PJ, Harris J, Graves AR, Deeks LK (2019). Regenerative Agriculture: Identifying the Impact; Enabling the Potential; Report for SYSTEMIQ; Cranfield University: Bedfordshire, UK.
- Francis CA, Harwood RR, Parr JF (1986). The potential for regenerative agriculture in the developing world. American Journal of Alternative Agriculture, 1:65-74.
- Gabel M (1979). *Ho-Ping: A World Scenario for Food Production*; World Game Institute: Philadelphia, PA, USA.
- Gassner A, Harris D, Mausch K, Terheggen A, Lopes C, Finlayson RF, Dobie P (2019). Poverty eradication and food security through agriculture in Africa: Rethinking objectives and entry points. Outlook on Agriculture, 48(4):309-315. <https://doi.org/10.1177/0030727019888513>.
- Kamal B (2017). How to eradicate rural poverty, end urban malnutrition. Third World Econ. 648, 13-15.
- Kusz D, Kusz B, Hydzik P (2022). Changes in the price of food and agricultural raw materials in Poland in the context of the European Union accession. Sustainability, 14(8):4582. <https://doi.org/10.3390/su14084582>
- Miladinov G (2023). Impacts of population growth and economic development on food security in low-income and middle-income countries. Frontiers in Human Dynamics, 5:1121662. doi: 10.3389/fhumd.2023.1121662
- Pawlak K, Kołodziejczak M. The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. Sustainability, 12(13):5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>.
- Popescu L, Gaman M, Mihai L-S, Mihai M, Dragan CO (2025). Study on the evolution and forecast of agricultural raw material exports in emerging economies in central and eastern Europe using statistical

- methods. Agriculture, 15(17):1811.
<https://doi.org/10.3390/agriculture15171811>
- Rodale R (1986). Learning to think regeneratively. Bulletin of Science & Technology and Society. 6:6-13.
- Sher, A., Li, H., Ullah, A, Hamid Y, Nasir B, Zhang J (2024). Importance of regenerative agriculture: climate, soil health, biodiversity and its socioecological impact. Discover Sustainability, 5:462 (2024).
<https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z>.
- Sherwood S, Uphoff N (2000). Soil health: Research, practice and policy for a more regenerative agriculture. Applied Soil Ecology, 15:85-97.
- Singh AK, Pathak M, Joshi MD, Kumar S, Kashyap S, Hasan W (2024). The role of agriculture in poverty alleviation and rural development. Journal of Scientific Research and Reports, 30 (8):529–549.
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i82276>.
- Sulewski P, Majewski E, Wąs A (2017). The importance of agriculture in the renewable energy production in Poland and the EU. Problems of Agricultural Economics, 350 (1):50-74.
<https://doi.org/10.30858/zer/82999>.
- Viana CM, Freire D, Abrantes P, Rocha J, Pereira P (2022). Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. Science of The Total Environment, 806 (3):150718.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>.
- White C (2020). Why regenerative agriculture? American Journal of Economics and Sociology, 79: 799-812.

BÖLÜM 7

MEYVELERDE RENK OLUŞUMU: ETKİLİ FAKTÖRLER

İshak BAYYİĞİT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385738>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Mardin, Türkiye, ORCID:0000-0001-9190-4985

GİRİŞ

Dünya’da genelde ılıman kuşak başta olmak üzere, subtropik ve tropik kuşakta yetiştirilen ve önemli ekonomik ve ekolojik faydaları olan meyve türleri, çiçeklerde bulunan yumurtalığın döllenmesi sonucu oluşan ve ardından meyve gelişimini tetikleyen hormon üretimiyle gelişen yenilebilir meyveleri için yetiştirilen bitkilerdir. Genellikle tohum içeren meyveler, partenogenez gibi süreçlerle döllenmeden de gelişebilir ve çekirdeksiz çeşitlere sahip bazı meyve türleri partenokarpi yoluyla gelişebilir (Huang and Wang, 2023). Meyve olgunlaşmasındaki tipik değişiklikler arasında antosiyaninler, klorofil ve karotenoidler gibi pigment bileşiklerinin üretimiyle ilişkili renk gelişimi, aroma uçucu maddelerinin üretimi, hücre duvarı ve kütikül modifikasyonu ile ilişkili doku değişiklikleri ve patojen enfeksiyonu sıklığındaki farklılıklar yer alır (Cheng vd. 2021).

Meyveler, insan medeniyetinin ve tarımının önemli bir parçasıdır ve birçok meyve türü binlerce yıldır daha iyi verim almak ve kaliteyi artırmak için yabani ortamdan seleksiyon çalışmaları ile evcilleştirilmiştir. Günümüzde dünya meyve endüstrisi, benzersiz meyve iç ve dış kalite özellikleri ile yüksek verimliliği kombine eden nispeten az sayıda çeşide dayanmaktadır ve çoğu durumda çeşit değiştirme konusunda büyük bir isteksizlik de söz konusudur. Latin Amerika'daki muz endüstrisi artık tek bir klona, küresel kivi endüstrisi ise Hayward çeşidine dayanmaktadır. Çilek ve şeftali gibi yalnızca birkaç meyve türü, yeni ve geliştirilmiş çeşitlerin sürekli yenilenmesiyle karakterize edilmektedir. Meyve türlerinde genetik iyileştirme çoğu durumda, yetiştiricilerin tohumla çoğalan heterezigot doğal popülasyonlardan yapılan seçimlerle (seleksiyon) sağlanmıştır ve birçok çeşit çok eskidir; birçoğu 19. yüzyıl ve öncesine dayanmaktadır (Jannick, 1998).

Meyveler ekolojik anlamda da önemli bir rol de oynarlar ve özellikle tohumlarının etrafa kuşlarla dağılımı sonucu hem meyve türleri nesillerini devam ettirirler (Ramirez ve Briceno, 2022). Meyve kültürü Dünya’da önemli bir kültür olup son yıllarda gastronomide geniş yer bulmasıyla bu türlerin ve onların farklı yetiştirme tekniklerini anlamak, dünyanın çeşitli alanlarında besin değerlerinin ve kültürel önemlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir (Leal vd. 2024).

Ilıman iklim meyveleri

Gülgiller (Rosaceae) familyası, dünyanın sıcak ve soğuk ılıman bölgelerinde yoğun olarak yetişen çok çeşitli (yumuşak çekirdekli, sert çekirdekli, sert kabuklu, üzümsü meyveler) meyveleri içerir. Bu meyvelerin başında elma, armut, erik, şeftali, kiraz, ceviz, badem, çilek ve ahududu yer almaktadır. Elmalar dünyada muz ve portakal ile birlikte yetiştirilen en önemli meyve türü olup, yine ılıman bölgelerin en önemli meyve ağacıdır. Erikler, şeftaliler ve kirazlar, *Prunus* cinsine bağlı olup cins çok sayıda önemli meyve türlerini içerir. Günümüzde yetiştirilen çilek (*Fragaria ananassa*), Şili'de *Fragaria chiloensis* türü ile ABD, Virjinya'da *Fragaria virginiana* türleri arasında bir Avrupa bahçesinde kendiliğinden oluşmuş bir melezdır. Sert kabuklu meyveler, ticari olarak önemli bir paya sahip olup bu meyveler arasında fındık, ceviz, badem ve antep fıstığı önemlidir.

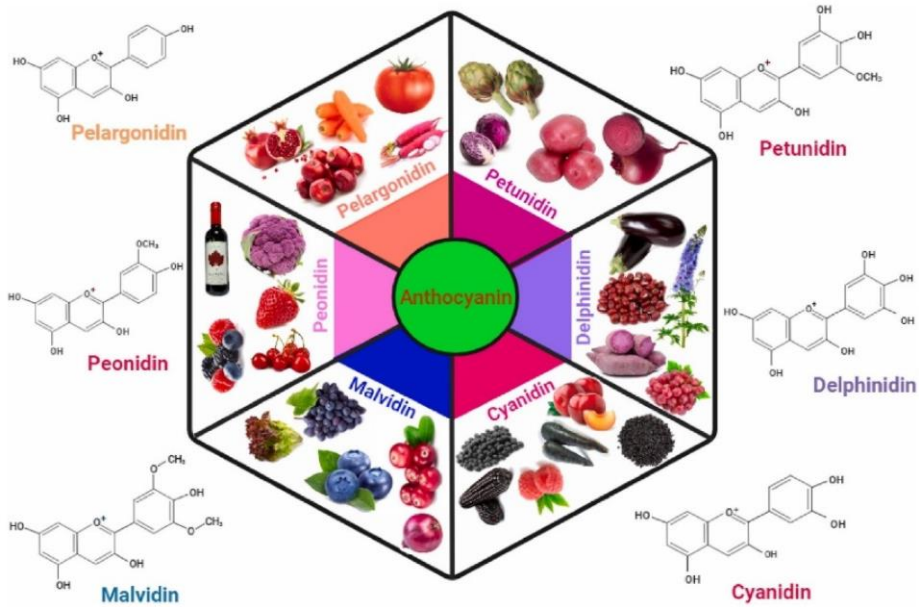
Subtropik ve tropik meyveler

Citrus cinsinin birçok türü (portakal, mandarin, limon, greyfurt) yenilebilir meyveleri için yetiştirilir. Portakallar (*Citrus sinensis*), dünyada en yaygın yetiştirilen meyvelerden birisidir. Muzlar, yirminci yüzyılda önemli bir meyve ürünü haline geldi; soğutmalı gemilerin kullanımından önce, muzlar tropik bölgelerin dışındaki pazarlara ulaşamadan bozulurdu. Doğu Asya'ya özgü yabani muzların çekirdekleri vardır, ancak yaygın evcilleştirilmiş muz (*Musa paradisiaca*) çekirdeksizdir ve birkaç melezleme döngüsünün ardından kromozom sayısındaki artışların ürünüdür. Mangolar (*Mangifera indica*), tropikal bölgelerde, özellikle de meyve özü ve hatta çekirdeklerinin gıda olarak kullanıldığı anavatanı Güneydoğu Asya'da son derece yaygın ve önemli meyvelerdir. Mangolar, yalnızca yazın yeterli suyun olduğu tropikal bölgelerde yetişebilen ağaçlarda yetişir. Mangolar, 1700' lerin başlarında Portekizliler tarafından Brezilya'ya getirilmiş ve ardından Yeni Dünya tropiklerinin diğer bölgelerine yayılmıştır.

Meyvelerde renk maddeleri

Meyvelerde farklı renk oluşumuna (mavi, mor, kırmızı, pembe) sebep olan antosiyaninler suda çözünür maddelerdir. Bu maddeleri içeren meyveler ısıtılma işleme tabi tutulduklarında renk bozunumuna uğrarlar. Buna karşılık, sebzelerde örneğin biber ve domateslerdeki kırmızı pigmentler

karotenoidlerdir ve suda çözünmedikleri için pişirildiklerinde kırmızı kalırlar. Antosiyaninler, flavonoidler adı verilen ve genelde kokusuz bir molekül sınıfına aittir ve orta derecede buruk bir tada sahiptir. Antosiyanidinler ise antosiyaninlerin şekerli analoglarıdır ve antosiyaninler şekerlerin antosiyanidinlere bağlanmasıyla oluşur. Antosiyaninler, meyvelere oldukça çekici bir özellik kazandırır (Saini vd. 2024). Ayrıca antioksidan özelliğine sahip olup, bitki dokularını UV ışığından ve yüksek sıcaklıklardan korurlar. Antosiyaninler, şeker molekülleri içeren organik moleküller olan glikozitlerdir (Şekil 1).

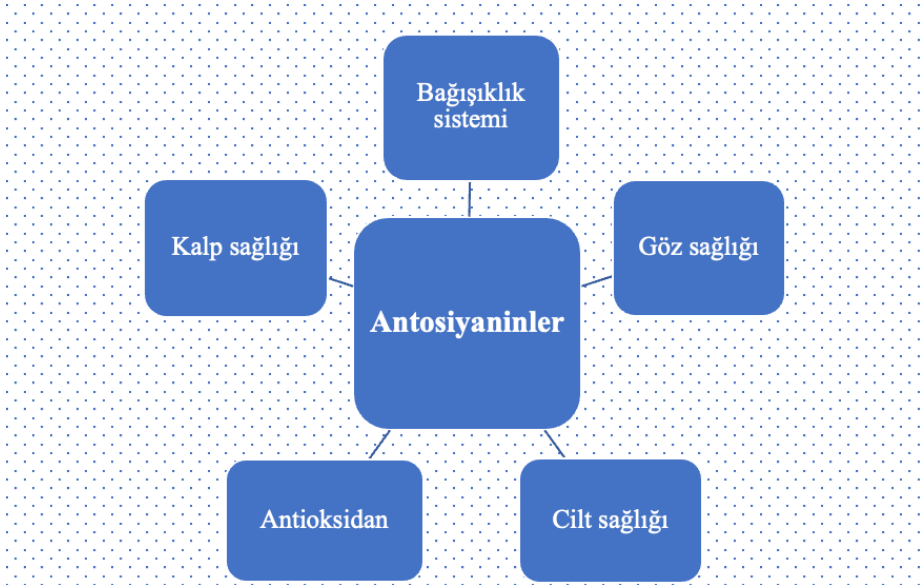


Şekil 1. Yaygın olarak bulunan antosiyaninler ve biyokimyasal yapıları (ElShamey vd. 2025).

Antosiyaninler, yüksek bitkilerde bulunan ikincil metabolitlerdir ve renklenmeye ve çevresel streslere karşı korumaya katkıda bulunur. Bu doğal pigmentler yalnızca gıdanın görsel çekiciliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda besinsel ve işlevsel özelliklerine de önemli ölçüde katkıda bulunur. Son yıllarda, antosiyanin açısından zengin meyve çeşitleri, potansiyel sağlık yararları nedeniyle önemli ölçüde ilgi görmüş ve bunları küresel pazarda değerli işlevsel gıdalar olarak konumlandırmıştır (Nuszkiewicz vd. 2025). Antosiyaninler bitkilerde çoğunlukla tohum, meyve, çiçek, yaprak ve diğer

organlar dahil olmak üzere bitki dokularının vakuollerinde dağılırlar. Antosiyaninler, üzüm, böğürtlen, vişne, ahududu, mavi yemiş, mürver, kara dut, çilek, elma, kırmızı armut, mangosten ve kan portakalı gibi bazı olgun meyvelerde yüksek seviyelerde birikir. Bu glikozitlerin rengi turuncudan maviye ve mora kadar değişebilir. Hücresel çözeltinin pH değeri değişirse bu glikozitlerin rengi değişebilir; yüksek pH değerlerinde renk mavi, düşük pH değerlerinde ise kırmızıdır. Şeftaliler yüksek pH değerine sahip suya maruz kaldığında, kabuklarında genellikle koyu mavi veya neredeyse siyah bir renk oluşur (Horbowicz vd. 2008).

Antosiyaninler, bağışıklık sistemi, kalp sağlığı, göz sağlığı ve cilt sağlığı üzerine faydalı etkilere sahiptir. Ayrıca güçlü bir antioksidan olduğundan, vücutta serbest radikalleri etkisiz hale getirme kabiliyeti bu bileşiği benzersiz kılar. Antioksidan özellikleri sayesinde, antosiyaninler hücreleri korur, enflamasyonu (iltihaplanmayı) azaltır, metabolizmayı destekler ve sinir sistemini korur (El Shamey vd. 2025) (Şekil 2)



Şekil 2. Antosiyaninlerin faydaları

Antosiyanin yolağında (biyosentetik oluşumunda) öncü fenilalanin amino asidi olup, fenilalaninden antosiyanini sentezlemek için yedi biyokimyasal adım gereklidir. Elma kabuğunda ve etli kısmında antosiyanin

sentezinin bir gen ailesi tarafından kontrol edildiğini gösterilmiştir. Elmanın 17 kromozom seti vardır ve şimdiye kadar kabuk rengi genleri 2. ve 9. kromozomlarda tanımlanmıştır (Chagne vd. 2013). Bazı elmaların neden çizgili, bazılarının ise neden kızarmış olduğunu anlamak için 'Honeycrisp' üzerinde oldukça fazla araştırma yapılmıştır. Bazen bir ağaç bütünüyle çizgili veya pembemsi meyveler üretir, ancak bazen her iki tipte aynı ağaçta ve hatta tek bir kümede bulunabilir (Chen vd. 2021).

Meyvelerde renk oluşumunu etkileyen faktörler

Meyvelerde renk gelişimini etkileyen temel faktörler bulunmakta olup, bunlar bazen birbirleriyle ilişki halindedir. Bu faktörler aşağıda verilmiştir (Fang vd. 2021; Gao vd. 2021; Muhammad vd. 2023).

Genetik faktörler: Genellikle, antosiyanin üretimi ve birikimi hem çevresel hem de genetik faktörlerden etkilenir. Renk yollarının genel biyosentezi ve düzenlenmesi açıklığa kavuşturulmuş olsada, meyvenin nihai rengi hem genetik hem de çevresel faktörler tarafından belirlenir. Genetik yapı, meyvenin belirli pigmentleri üretme yeteneğini belirlerken, çevresel faktörler olgun bir meyvedeki pigmentlerin nihai bileşimini ve miktarını etkiler. Genetik faktörler arasında kalkon sentaz (CHS), kalkon izomeraz (CHI), dihidroflavonol-4-redüktaz (DFR), lökoantosiyonidin dioksijenaz (LDOX) ve UFGT'ler önemlidir (Zheng vd. 2020; Muhammad vd. 2022). Bazı meyve türleri (kara dut, vişne, çilek, nar, çilek, mavi yemiş, yaban mersini, kıvılcık, kan portakalları) yoğun antosiyanin içeriğine sahiptir. Bazı çeşitler veya bazı çeşitlerin mutasyona uğramış mutant tipleri büyük miktarlarda antosiyanin sentezleme yeteneğinden yoksundur. Beyaz dut (*Morus alba*) ve yine elmalarda Golden Delicious ve Granny Smith, az kırmızı renk geliştirenlere örnek olarak verilebilir.

Meyvenin fizyolojik gelişim aşaması: Meyveleri gelişirken, antosiyanin gelişiminde iki zirve nokta vardır. İlki, meyvelerde hücresi bölünmesinin sonunda meydana gelir. Elmalarda örneğin Golden Delicious çeşidine ait meyveler güneşe bakan tarafta kırmızı renk geliştirir ve kırmızı renk gelişimi için ışığa ihtiyaç duyarlar. İkinci zirve, kırmızı çeşitlerde meyveler olgunlaştıkça meydana gelir. Bu aşamada hem ışık hem de sıcaklık söz konusudur. Antosiyanin sentezinin son adımı için gerekli olan şekerlerin üretimi için ışık gereklidir. Mavi-mor ve UV ışığı kırmızı renk gelişimi için

en önemli ışık kaynaklarıdır, ancak gereken ışık miktarı çeşide ve gelişim aşamasına bağlıdır (Bastias and Corelli-Grappadelli, 2012).

Işık ve sıcaklık: Işık, kırmızı renk gelişimini sınırlayan faktörse, hasattan önceki son iki veya üç hafta boyunca meyveleri ek ışığa maruz bırakmak genellikle elma ve şeftalinin renk gelişimini artıracaktır. Bu, yaz aylarında, taç iç kısmını gölgeleyen dik, meyve vermeyen sürgünleri ortadan kaldırmak için budama yapılarak veya ağaçların altına yansıtıcı malç yerleştirilerek yapılabilir. Sezon sonu renk gelişimini artırabilecek diğer temel çevresel faktör düşük sıcaklıklara maruz kalmaktır, ancak optimum sıcaklık ve maruz kalma süresi çeşide bağlıdır ve çoğu çeşide ait kritik değerler belirlenmemiştir (Bastias and Corelli-Grappadelli, 2012; Koshita, 2015). Genellikle, birkaç serin gecenin ardından gelen sıcak ve güneşli günler renk gelişimini artırır. McIntosh elması 21 derecenin altında, Fuji 15 derecenin altında ve Redchief Delicious 10 derecenin altında sıcaklıklar gerektirir, ancak 32 derecelik bir günde birkaç serin gecenin etkileri ortadan kalkacaktır. Fenilalanin'in ikinci ara bileşiğe dönüşümünü kontrol eden genin aktivitesi, 32 derecenin üzerindeki sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki 24 saat içinde azalır. Bu, hasat mevsiminde yüksek sıcaklıkların yaşandığı yıllarda elma çeşitlerinin bazı bahçelerde iyi renk alamamasının bir nedenidir (Gouws and Steyn, 2014; Peavey vd. 2024).

Ağacın beslenmesi: Sıcaklık ve ışık renk gelişimi için uygun değilse, renk üzerinde beslenme durumunu iyileştirmenin çok fazla etkisi bulunmamaktadır. Yüksek sezon sonu azot seviyeleri, fenilalaninin antosiyanin yerine proteinlere dönüşmesine neden olur. İyi renk gelişimi için yeterli potasyum seviyeleri gereklidir. Dolayısıyla, ağaçlarda potasyum eksikliği varsa, potasyum uygulaması renk gelişimini artırabilir. Besin seviyeleri ağacın iyi büyümesi ve meyve vermesi için yeterliyse, herhangi bir elementin eklenmesi muhtemelen renk gelişimini artırmayacaktır. Fosfor ve kalsiyum uygulamaları, meyve rengi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir, kabuktaki antosiyanin seviyelerini artırarak ürünün pazarlanabilirliğini artırır. Hasattan iki ila üç hafta önce meyvelere uygulanan fosfor, şeftali, kayısı ve eriklerin renklerinin iyileştirilmesinde özellikle etkilidir. Genel olarak, besin uygulamalarından kırmızı renk gelişiminde iyileşme beklememiz gereken tek zaman, ağacın bir veya daha fazla element eksikliği olduğu zamandır (Brunetto vd. 2015; Van Deng vd. 2022).

Ürün yükü: İdeal meyve ürün yükünün düzenlemesi, meyve ağaçlarında yüksek ve istikrarlı verim elde etmek için önemli bir bahçecilik tekniğidir (Ding vd. 2016). Yüksek meyve yükleri, ağacın beslenme durumunu etkiler, ağacın dayanıklılığını zayıflatır, ağaç yapraklarını yaşlandırır, meyve kalitesini düşürür ve meyve olgunlaşma tarihini geciktirir (Wen, 2016); bu da bir sonraki yıl düşük yeni sürgün oluşum oranlarına ve düşük kaliteli çiçek tomurcuklarına neden olur (Marino vd. 2018). Düşük meyve yükü uygulamaları, daha düşük verime ve ağaçların aşırı büyümesine yol açarak ekonomik getirileri ciddi şekilde etkiler. Bu nedenle, meyve ağaçlarında makul bir yük, meyve kalitesini, verimi ve normal ağaç büyümesini ve gelişimini sağlar. Ağır ürün veren ağaçların meyveleri genellikle soluk renklidir. Bunun nedeni muhtemelen meyvelerdeki şeker seviyelerinin düşük olmasıdır. Şeftalilerde meyve renginin ürün yüküyle negatif ilişkili olduğu ve fazla ürün yoğunluğuna sahip ağaçların meyve renginin zayıf olduğu açıkça gösterilmiştir (Wang vd. 2023).

Stres: Birçok meyve türünde, meyvenin dış rengi, yeme kalitesini belirler. Meyve pigmentleri, bitkiye üreme avantajı sağlamanın yanı sıra olumsuz çevre koşullarına ve patojenlere karşı koruma sağlar. Pigment üretimi aynı zamanda ışık miktarı ve kalitesi, su bulunabilirliği ve ortam sıcaklığı gibi çevresel koşullara da uyum sağlar. Bu faktörler stres seviyelerine ulaşırsa, meyve dokuları pigment üretimini artırarak (veya durdurarak) tepki verir. Çoğu durumda, stres şiddetli değilse, bunun meyve kalitesi üzerinde olumlu bir etkisi olabilir. Su stresi veya yaprak yiyen böceklerin verdiği hasar gibi çoğu stres türü, fotosentezi azaltarak zayıf kırmızı renk gelişimine neden olabilir. Bu stresler, ağaçlar ağır ürün verdiğinde daha da sorunlu hale gelir çünkü fotosentetik asimilatlarla olan talebin artması, ağacın bu asimilatları üretme kapasitesinin azalmasına yol açar (Espley and Jaakola, 2023; Do vd. 2024).

Anaçlar: Ticari bahçelerde, anaçların meyve rengini etkileyebileceğini gösteren bazı kanıtlar mevcuttur. Son 50 yılda çok sayıda anaç araştırması yayınlanmıştır. Genel olarak, güçlü anaçlar, geniş taç yapraklarının iç kısımları gölgeli olduğundan, zayıf renkli meyveler üretir. Aynı yerde birden fazla lokasyonda ve yıllar boyunca yürütülen çalışmalarda, anaçlar zaman zaman meyve olgunluğunu veya rengi etkilemiş, ancak sonuçlar her zaman tutarsız olmuştur (Kviklys vd. 2013; Liu vd. 2023; Lawrance vd. 2025).

Lokasyon ve mevsimlerin etkisi: Yabani *Vaccinium* meyvelerinde yapılan saha çalışmaları, yetiştirme yeri ve mevsimler arasında antosiyanin bileşiminde yüksek çeşitlilik olduğunu göstermiştir (Rohloff vd. 2015). Bununla birlikte, kuzey enlemlerde daha yüksek toplam antosiyanin içeriği olduğu belirlenmiş (Latti vd. 2010) ve daha yüksek rakımlarda daha yüksek oranda delfinidin antosiyaninleri belirlenmiştir (Zoratti vd. 2015). Güney ve kuzey mavi yemiş ekotipleriyle yapılan kontrollü bir çalışma, daha yüksek rakımlardaki ekotiplerin gün uzunluğu ve sıcaklık koşullarından bağımsız olarak daha yüksek antosiyanin konsantrasyonu ürettiğini göstermiştir (Uleberg vd. 2012). Farklı meyve türleri ve çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde de coğrafi çeşitlilik tespit edilmiştir (Dias vd. 2021). Bazı durumlarda iklimsel faktörlerin çeşit farklılıklarından daha fazla karotenoid biyosentezi üzerinde etkisi olduğu bulunmuştur (Kimura vd. 1991). Hindistan'da Himalayalar üzerinde farklı rakımlarda yetişen yalancı iğde (*Hippophae rhamnoides*) popülasyonları arasında karotenoid içeriğinde yüksek farklılıklar tespit edilmiştir (Korekar vd. 2014).

Sonuç

Yoğun renkli meyveler istendiğinde, genetik olarak yoğun renkli meyveler üretmek üzere programlanmış çeşit ve genotiplerin ticari üretimde kullanılması önemlidir. Uygun çeşitleri seçmenin yanı sıra, yetiştiriciler meyvelerde renk gelişimini teşvik etme konusunda yalnızca orta düzeyde bir yeteneğe sahiptir. Sıcaklık kırmızı renk gelişimi için yeterli olduğunda, ağaçların taç yapraklarına iyi ışık nüfuzu sağlayacak şekilde budama ve terbiye edilmesi maksimum renk gelişimini teşvik edecektir. Ağaçlar üzerindeki stresi, özellikle aşırı ürün verme, kuraklık, sağlıklı yapraklar ve besin eksikliklerini önlemek önemlidir, ancak yüksek sıcaklıkları veya düşük ışık seviyelerini telafi etmeyecektir.

Kaynaklar

- Chagne D, Lin-Wang K, Espley RV, Volz RK, How NM, Rouse S, Brendolise C, Carlisle CM, Kumar S, De Silva N, Micheletti D, McGhie T, Crowhurst RN, Storey RD, Velasco R, Hellens RP, Gardiner SE, Allan AC (2013). An ancient duplication of apple MYB transcription factors is responsible for novel red fruit-flesh phenotypes. *Plant Physiology*, 161(1):225-239. <https://doi.org/10.1104/pp.112.206771>.
- Bastias RM, Corelli-Grappadelli (2012). Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(4):574-581.
- Brunetto G, Melo GW, Toselli M, Quartieri M, Tagliavini M (2015). The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4):1089-1104. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-103/15>.
- Chen T, Ji D, Zhang Z, Li B, Qin G, Tian S (2021). Advances and strategies for controlling the quality and safety of postharvest fruit. *Engineering*, 7:1177-1184. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.029>.
- Chen Z, Yu L, Liu W, Zhang J, Wang N, Chen X (2021). Research progress of fruit color development in apple (*Malus domestica* Borkh.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 162: 267-279. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.033>.
- Dias MG, Borge GIA, Kljak K, Mandić AI, Mapelli-Brahm P, Olmedilla-Alonso B, Pintea AM, Ravasco F, Tumbas Šaponjac V, Sereikaitė J, Vargass-Murga L, Vulić JJ, Meléndez-Martínez AJ (2021). European database of carotenoid levels in foods. Factors affecting carotenoid content. *Foods*, 10 (5):912. <https://doi.org/10.3390/foods10050912>.
- Ding N, Chen JM, Feng YG, Sha JC, Zhang M, Jiang YM (2016). Effects of fruit load on absorption, distribution and utilization of N in the dwarf apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 43:549-556. <https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0889>.
- ElShamey EA, Yang X, Yang J, Pu X, Yang L, Ke C, Zeng Y (2025). Occurrence, biosynthesis, and health benefits of anthocyanins in rice

- and barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13):6225. <https://doi.org/10.3390/ijms26136225>.
- Espley RV, Jaakola L (2023). The role of environmental stress in fruit pigmentation. *Plant, Cell & Environment*, 46:3663-3679. <https://doi.org/10.1111/pce.14684>.
- Fang Z, Lin-Wang K, Jiang C, Zhou D, Lin Y, Pan S, Espley RV, Ye X (2021). Postharvest temperature and light treatments induce anthocyanin accumulation in peel of 'Akihime' plum (*Prunus salicina* Lindl.) via transcription factor PsMYB10. *Postharvest Biology and Technology*, 179: 111592. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111592>.
- Gao HN, Jiang H, Cui JY, You CX, Li YY (2021). The effects of hormones and environmental factors on anthocyanin biosynthesis in apple. *Plant Science*, 312: 111024 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111024>.
- Gouws A, Steyn WJ (2014). The effect of temperature, region and season on red colour development in apple peel under constant irradiance. *Scientia Horticulturae*, 173:79-85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.040>.
- Horbowicz M, Kosson R, Grzesiuki A, Dbski H (2008). Anthocyanins of fruits and vegetables-their occurrence, analysis and role in human nutrition. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 68 (1): 5-22. <https://doi.org/10.2478/v10032-008-0001-8>.
- Huang H, Wang L (2023). Fruit science: Physiological changes and genetic regulations. *Frontiers in Plant Science*, 14:1178844. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1178844>.
- Janick J (1998). Fruit breeding in the 21st century. *Acta Horticulturae*, 490:39-48. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.490.1>.
- Kimura M, Rodriguez-Amaya D, Yokoyama S (1991) Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. *Lebensmittel-Wissenschaft+Technologie*, 24:415-418.
- Kviklys D, Kvikliene N, Bielicki P, Bite A, Lepsis J, Univer T, Univer N, Uselis N, Lanauskas J (2013). Baltic fruit rootstock studies: evaluation of apple (*Malus domestica* Borkh.) new rootstocks. *Zemdirbyste-*

- Agriculture, 100 (4): 441-446. <https://doi.org/10.13080/z-a.2013.100.056>.
- Korekar G, Dolkar P, Singh H, Srivastava RB, Stobdan T (2014). Variability and the genotypic effect on antioxidant activity, total phenolics, carotenoids and ascorbic acid content in seventeen natural population of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) from trans-himalaya. LWT-Food Science and Technology, 55:157-162. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.006>.
- Koshita Y (2015). Effect of temperature on fruit color development. In: Kanayama, Y., Kochetov, A. (eds) Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55251-2_4.
- Latti AK, Jaakola L, Riihinen KR, Kainulainen PS (2010). Anthocyanin and flavonol variation in bog bilberries (*Vaccinium uliginosum* L.) in Finland. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58:427-433. <https://doi.org/10.1021/jf903033m>.
- Lawrence BT, Fazio G, Nieto LG and Robinson TL (2025). Rootstock effect on horticultural performance and fruit quality is not uniform across five commercial apple cultivars in western New York. Frontiers in Plant Science, 16:1552625. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1552625>.
- Leal GF, Sousa HMS, da Silva RR, de Freitas BCB, de Souza Martins GA (2024). Fruit-derived products: A parallel between science, industry and gastronomy. Food and Humanity, 2:100218. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.100218>.
- Liu Z, Zhu C, Sun J, Zhang Z, Zhao S, Shi W, Wang W, Zhao B (2023). Influence of rootstock on endogenous hormones and color change in Cabernet Sauvignon grapes. Scientific Reports, 13:6608. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33089-z>.
- Marino G, La Mantia M, Caruso T, Marra FP (2018). Seasonal dynamics of photosynthesis and total carbon gain in bearing and nonbearing pistachio (*Pistacia vera* L.) shoots. Photosynthetica, 56:932-941. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0752-x>.
- Muhammad N, Luo Z, Yang M, Li X, Liu Z, Liu M (2022). The joint role of the late anthocyanin biosynthetic UFGT-encoding genes in the flowers

- and fruits coloration of horticultural plants. *Scientia Horticulturae*, 301:111110. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111110>.
- Muhammad N, Luo Z, Yang M, Liu Z, Liu M (2023). The underlying molecular mechanisms of external factors influencing fruit coloration in fruit trees. *Scientia Horticulturae*, 309:111615. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111615>.
- Nuszkiewicz J, Wróblewska J, Wróblewski M, Woźniak A (2025). Anthocyanin-rich purple plant foods: Bioavailability, antioxidant mechanisms, and functional roles in redox regulation and exercise recovery. *Nutrients*, 17(15):2453. <https://doi.org/10.3390/nu17152453>.
- Peavey M, Scalisi A, Islam MS, Goodwin I (2024). Fruit position, light exposure and fruit surface temperature affect colour expression in a dark-red apple cultivar. *Horticulturae*, 10(7):725. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070725>.
- Ramirez N, Briceno H (2022). Ecology of morphological fruit types, and fruit and seed colors in 27 Venezuelan plant communities. *Acta Oecologica*, 116:103838, <https://doi.org/10.1016/j.actao.2022.103838>.
- Rohloff J, Uleberg E, Nes A, Krogstad T, Nestby R, Martinussen I (2015). Nutritional composition of bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) from forest fields in Norway—Effects of geographic origin, climate, fertilization and soil properties. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88: 274-287. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.040>.
- Saini RK, Khan MI, Shang X, Kumar V, Kumari V, Kesarwani A, Ko E-Y (2024). Dietary sources, stabilization, health benefits, and industrial application of anthocyanins-a review. *Foods*, 13(8):1227. <https://doi.org/10.3390/foods13081227>.
- Uleberg E, Rohloff J, Jaakola L, Tröst K, Junttila O, Haggman H, Martinussen, I (2012). Effects of temperature and photoperiod on yield and chemical composition of Northern and Southern clones of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60:10406-10414. <https://doi.org/10.1021/jf302924m>.
- Van Dang L, Phuong Ngoc N, Hung NN (2022). Effects of foliar fertilization on nutrient uptake, yield, and fruit quality of pomelo (*Citrus grandis* Osbeck) grown in the Mekong Delta soils. *International Journal of Agronomy*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/7903796>.

- Wang X, Yu M, Guo S, Ma R, Zhang B (2023). The relationship between different fruit load treatments and fruit quality in peaches. *Horticulturae*, 9 (7):817. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070817>.
- Wen Y (2016). Effects of load on growth and disease of red globe grape under facility cultivation. *Deciduous Fruits*, 48:17-18.
- Zheng HZ, Wei H, Guo SH, Yang X, Feng MX, Jin XQ, Fang YL, Zhang ZW, Xu TF, Meng JF (2020). Nitrogen and phosphorus co-starvation inhibits anthocyanin synthesis in the callus of grape berry skin. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 142: 313-325. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01864-9>.
- Zoratti L, Jaakola L, Haggman H, Giongo L (2015). Anthocyanin profile in berries of wild and cultivated *vaccinium* spp. along altitudinal gradients in the Alps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63:8641-8650. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02833>.

BÖLÜM 8

TARLA BİTKİLERİNDE BİYOSTİMÜLANT UYGULAMALARININ ÖNEMİ

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ¹

Arş. Gör. Melike KÖSE²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17385767>

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. mustafayilmaz@subu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5256-245X

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. melikek@subu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5061-2441

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimde verimlilik, kalite ve sürdürülebilirlik, küresel çapta gıda güvenliğinin sağlanması bakımından kritik bir role sahiptir. Ancak geleneksel tarım uygulamalarında kullanılan yoğun kimyasal gübreler ve pestisitler, toprak verimliliğini azaltmakta, çevresel kirlenmeye yol açmakta ve tarımsal ekosistemlerin dengesini bozmaktadır (Van Oosten ve ark., 2017). Bu olumsuz etkilerin azaltılması ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla biyolojik temelli çözümler üzerinde yoğunlaşılmaktadır.

Son yıllarda, biyostimülantlar tarımda daha çok ilgi görmekte ve verimi artırma, bitki besleme ve stres toleransını iyileştirme gibi konularda önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Bulgari ve ark., 2019). Geleneksel gübrelerden farklı olarak biyostimülantlar, doğrudan besin sağlamaz; bunun yerine, bitkilerin metabolik ve fizyolojik süreçlerini düzenleyerek büyümeyi destekler ve besin alım etkinliğini artırır (Swami & Munjal, 2020). Özellikle iklim değişikliği, artan nüfus ve tarım alanlarının azalışı göz önüne alındığında, biyostimülantlar geleceğin tarım politikalarında önemli bir yer edinmektedir (Zuzunaga-Rosas ve ark., 2024).

Biyostimülantlar, tarımda kimyasal gübre kullanımına bağımlılığı azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Bunun yanında, bitkilerin stres koşullarına adaptasyonunu artırarak tarımsal üretimde kayıpları minimize eder (Yamauchi, 2018). Örneğin, kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık değişimlerine maruz kalan bitkilerde biyostimülant uygulamaları kök gelişimini teşvik ederek su alım kapasitesini artırmakta ve fotosentez etkinliğini iyileştirmektedir (Goñi ve ark., 2018). Buna ek olarak, biyostimülantlar bitkilerin doğal hormon dengelerini düzenleyerek büyümeyi teşvik eder ve hücrel antioksidan mekanizmaları aktive ederek oksidatif stresin etkilerini azaltır (Ikuyinminu ve ark., 2023).

Biyostimülantların tarımsal üretimdeki artan önemi, sadece bitkisel verimi değil, kalitesini yükseltmesi ile de ilişkilidir. Meyve ve sebzelerde biyostimülant kullanımı, besin içeriğini ve raf ömrünü artırırken, tahıllarda protein sentezini destekleyerek daha besleyici ürünler elde edilmesini sağlar (Hasanuzzaman ve ark., 2021). Ayrıca, biyostimülantların tarımsal üretim süreçlerinde toprak mikrobiyotasını destekleyerek faydalı mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik ettiği ve dolayısıyla toprak sağlığını koruduğu bilinmektedir (Ikuyinminu ve ark., 2022).

Bu bölümde, biyostimülantların tarla bitkileri üzerindeki etkileri, farklı biyostimülant türleri, uygulanma yöntemleri ve sağladıkları faydalar detaylı olarak ele alınacaktır. Ayrıca, biyostimülantların geleneksel tarım uygulamalarına kıyasla avantajları ve zorlukları da tartışılacaktır. Tarımda yenilikçi yaklaşımlar olarak biyostimülantların daha geniş çapta kullanımının nasıl optimize edilebileceği konusunda güncel araştırmalara dayalı öneriler sunulacaktır.

2. BİYOSTİMÜLANT TÜRLERİ VE TARLA BİTKİLERİNE ETKİLERİ

2.1. Humik ve Fulvik Asitler

Organik maddenin doğal çözünmesi sonucu oluşan bileşenlerdir. Bu bileşikler, özellikle toprak verimliliğini iyileştirmek ve besin alım etkinliğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır.

2.1.1. Humik asitler

Toprak yapısını iyileştirerek su tutma kapasitesini artırır ve kök gelişimini teşvik ederek bitkilerin besin alımını optimize eder. İçeriğinde bulunan çeşitli fenolik bileşikler sayesinde güçlü antioksidan özellikler sergileyerek bitki metabolizmasını destekler ve çevresel stres faktörlerine karşı direnç kazandırır (Selim ve Mosa, 2012).

2.1.2. Fulvik asitler

Mikro besinlerin toprakta çözünürlüğünü artırarak bitkinin besin alımını iyileştirir; metabolik aktiviteleri uyarak fotosentez verimliliğini ve kök gelişimini destekler (Sootahar ve ark., 2020).

Humik ve fulvik asitlerin tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Kök büyümesini destekleyerek bitkinin su ve besin kaynaklarına erişimini kolaylaştırır (Zhu ve ark., 2024)
- Yemelik tane baklagillerde: Azot fiksasyonu ve nodül gelişimi üzerinde olumlu etkiler gösterir (Qiu ve ark., 2024).
- Endüstri bitkilerinde: Besin alımını artırarak verim ve kaliteyi yükseltir. Protein sentezini ve fotosentez etkinliğini artırarak biyokütle üretimini destekler. Ayrıca, kök gelişimini teşvik ederek bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırır (Lotfi ve ark.,2015).

- Yem bitkilerinde: Besin alımını artırır, çevresel streslere dayanıklılığı güçlendirir ve ot kalitesini iyileştirir (Mackiewicz-Walec ve Olszewska, 2023).

2.2. Amino Asitler ve Protein Hidrolizatları

Bitkiler, amino asitleri ve proteinleri biyosentez yolu ile oluştursa da dış kaynaklardan alınan amino asitler metabolik süreçleri hızlandırabilir. Serbest amino asitler bitkilerin stres yanıtlarını güçlendirirken; protein hidrolizatları, hormon dengesini etkileyerek gelişim süreçlerini düzenler. Bu bileşikler, bitkisel enzim aktivitelerini artırarak fotosentezi ve besin alımını iyileştirmekte, böylece bitki sağlığını ve verimini yükseltmektedir.

Amino asitler ve protein hidrolizatlarının tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Protein sentezini destekleyerek tane verimini artırır. Ayrıca, kök gelişimini teşvik ederek besin alım kapasitesini yükseltir (Colla ve ark., 2015).
- Yemlik tane baklagillerde: Nodülasyon ve azot fiksasyonu üzerine olumlu etkiler göstererek, bitkilerin azot alım kapasitesini artırır. Bu sayede verim ve besin içeriği iyileşir (Malécange ve ark., 2023).
- Endüstri bitkilerinde: Şeker pancarı ve pamuk gibi endüstriyel bitkilerde hücre bölünmesini teşvik ederek verimi artırır ve stres toleransını güçlendirir. Yağlı tohum bitkilerinde ise yağ sentezini destekleyerek ürün kalitesini iyileştirir (Malécange ve ark., 2023).
- Yem bitkilerinde: Bitki boyu ve biyokütle verimi üzerinde etkili olur, yem kalitesini artırarak hayvan besleme açısından daha yüksek besleyici değer sunar (Mackiewicz-Walec ve Olszewska, 2023).

2.3. Deniz Yosunu Ekstraktları

Bu ekstraktlar, doğal büyüme düzenleyicileri içererek bitkilerin gelişimini destekler.

2.3.1. Kahverengi deniz yosunu (*Ascophyllum nodosum* L.)

- Doğal fitohormonlar (sitokinin, oksin, gibberellin) içerir (Tejasree ve ark., 2024).
- Su tutma kapasitesini artırarak kuraklığa dayanıklılığı yükseltir (Moyo ve ark., 2021).

2.3.2. Kırmızı ve yeşil deniz yosunu (*Hypnea musciformis* (Wulfen) Lam. ve *Ulva lactuca* L.)

- Antioksidan bileşenler içererek bitki hücrelerini oksidatif stresten korur (Tahmaz Karaman ve ark., 2024).
- Fotosentez etkinliğini artırarak verim ve kaliteyi yükseltir (Akgün ve ark., 2021).

Deniz yosunu ekstraktlarının tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Çimlenme oranını artırır ve kök gelişimini teşvik ederek tane verimini artırır (Latique, 2014).
- Yemeklik tane baklagillerde: Tuz ve su stresine dayanıklılığı artırır ve azot fiksasyonunu destekler (Rani ve ark., 2024).
- Endüstri bitkilerinde: Kuraklık stresine dayanımını arttırdığı ve kök ile gövde verimini artırır (Bat ve ark, 2019).
- Yem bitkilerinde: Besin değerini ve verimini artırarak hayvan beslemede etkinliğini yükseltir (Partani, 2013).

2.4. Mikrobiyal Biyostimülantlar

Faydalı mikroorganizmalar içeren mikrobiyal biyostimülantlar, toprak biyolojisini iyileştirerek bitkilerin sağlıklı büyümesini destekler.

2.4.1. Faydalı bakteriler (*Azotobacter*, *Bacillus* vb.)

- Topraktaki besinlerin biyoyararlanımını artırır (Joner ve ark., 2019).
- Bitki büyüme düzenleyici hormonların üretimini teşvik eder (Silletti ve ark., 2021).

2.4.2. Mikorizal mantarlar

- Bitkilerle simbiyotik etkileşim geliştirerek özellikle fosfor ve su alım kapasitesini artırmaktadır (Sun ve Shahrajabian, 2023).
- Bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı direnç geliştirmesine katkı sağlamaktadır (Korkutal ve Bahar, 2024).

2.4.3. Diğer faydalı mikroorganizmalar (*Pseudomonas*, *Trichoderma* vb.)

- Bitki hastalıklarına karşı biyolojik koruma sağlar (López-Bucio ve ark., 2015).
- Bitkisel streslere karşı direnç mekanizmalarını güçlendirir (Hidri ve ark., 2016).

Mikrobiyal biyostimülantların tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Toprak mikroflorasını iyileştirerek kök gelişimini destekler (Fusco ve ark., 2022).
- Yemeklik tane baklagillerde: Azot fiksasyonunu artırarak daha verimli büyüme sağlar (Cirillo ve ark., 2023).
- Endüstri bitkilerinde: Toprak yapısını düzenleyerek bitkinin besin alım potansiyelini geliştirir ve stres koşullarına karşı toleransını artırır. Aynı zamanda kök sisteminin gelişimini destekleyerek su ve besin maddelerinin emilimini kolaylaştırır (Sun ve ark., 2023).
- Yem bitkilerinde: Yeşil ot verimini yükselterek yem değerini olumlu yönde etkiler (Ali ve ark., 2023).

2.5. İnorganik Bileşikler

Biyostimülant olarak işlev gören bazı inorganik bileşikler ve besin elementleri, bitki direncini artırarak stres koşullarına karşı koruma sağlamaktadır (Pilon-Smits ve ark., 2009). Bu bileşikler, besin sağlamak yerine bitkisel fizyolojik süreçleri düzenleyerek büyümeyi destekler. Bitki gelişimi açısından silisyum (Si), selenyum (Se), fosfit (PO_3^{3-}), kobalt (Co), alüminyum (Al) ve sodyum (Na) gibi elementler, farklı mekanizmalarla bitki metabolizmasını destekleyerek büyüme ve stres toleransına katkı sağlamaktadır (Pilon-Smits ve ark., 2009; Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2018).

2.5.1. Silisyum

- Hücre duvarlarını güçlendirerek hastalıklara karşı dayanıklılığı artırır (Broadley ve ark., 2012).
- Bitkilerin su tutma kapasitesini yükselterek kuraklık toleransını artırır (Xu ve ark., 2021).
- Işık yansıtma ve termal düzenleme mekanizmaları ile bitkilerin sıcaklık stresine adaptasyonunu destekler (Kaur ve ark., 2016).

- Tuz stresinin etkilerini azaltır (Oral ve ark., 2020).

2.5.2. Selenyum

- Bitki metabolizmasını düzenleyerek büyümeyi teşvik eder (Pilon-Smits ve ark., 2009).
- Bitkisel antioksidan sistemleri uyarılarak oksidatif stres koşullarında oluşabilecek hasarın önlenmesine katkı sağlar (Hasanuzzaman ve ark., 2014).
- Bitki hücrelerinde ağır metal toksisitesine karşı koruma sağlar (Silva ve ark., 2022).

2.5.3. Fosfit bileşikleri

- Bitkide savunma tepkilerini artırarak patojen baskısı altında oluşabilecek zararları en aza indirir (Deliopoulos ve ark., 2010).
- Kök gelişimini teşvik ederek besin alım kapasitesini artırır (Gedeon ve ark., 2022).
- Fosfor eksikliği durumlarında alternatif bir besin kaynağı olarak işlev görmektedir (Nunes da Silva ve ark., 2022).

2.5.4. Kobalt

- Azot fiksasyonu yapan bakterilerin aktivitesini destekleyerek simbiyotik süreçlerde rol oynar.
- Bitkisel enzim sistemlerinde kofaktör olarak işlev görerek metabolik süreçleri düzenler (Broadley ve ark., 2012).

2.5.5. Alüminyum

- Düşük pH'lı topraklarda belirli bitkilerin kök gelişimini teşvik eder ve kök uzamasına katkı sağlar (Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2018).

2.5.6. Sodyum

- Halofit bitkilerde osmotik dengeyi sağlayarak su stresine karşı direnç oluşturur.
- Klorofil sentezini ve fotosentez etkinliğini destekleyerek büyümeyi teşvik eder (Broadley ve ark., 2012).

Bu elementler, besin sağlamaktan ziyade bitki büyümesi, stres yanıtı ve metabolik süreçleri destekleyerek biyostimülant etkiler göstermektedir.

Özellikle fosfit, silikat ve klorürler gibi bileşikler, bitkisel bağışıklık sistemini uyarak tarımsal verimlilik açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Deliopoulos ve ark., 2010).

İnorganik bileşiklerin tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Silisyum, kuraklık toleransını artırarak verim kayıplarını azaltır ve kök gelişimini teşvik eder (Xu ve ark., 2021).
- Yemelik tane baklagillerde: Selenyum, protein sentezini destekleyerek ürün kalitesini artırır ve simbiyotik azot fiksasyonunu teşvik eder (Hasanuzzaman ve ark., 2014).
- Endüstri bitkilerinde: Silisyum, kök gelişimini teşvik ederek şeker verimini artırırken, fosfit bileşikleri fungal hastalıklara karşı koruma sağlar. Antioksidan mekanizmaları destekleyen selenyum, yağ içeriğinin kalitesini iyileştirirken ağır metallerin neden olduğu stres faktörlerine karşı bitki direncini güçlendirir. (Pilon-Smits ve ark., 2009).
- Yem bitkilerinde: Fosfit bileşikleri, stres toleransını artırarak ot verimini yükseltir ve patojenlere karşı direnç mekanizmalarını güçlendirir (Nunes da Silva ve ark., 2022).

2.6. Glisin Betain

Osmoregülatörler sınıfına giren glisin betain, bitkilerin su dengesini düzenleyerek abiyotik stres koşullarına adaptasyonunu destekleyen önemli bir biyostimülanttır. Bitkiler, kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklık gibi çevresel faktörlere maruz kaldığında hücre su kaybını önlemek için osmoregülatör bileşenler üretir. Betain, bu süreçte hücre içi suyun korunmasına yardımcı olarak metabolik dengenin sürdürülmesini sağlar. Aynı zamanda fotosentezi destekleyerek klorofil sentezini artırır ve hücre zarlarının dayanıklılığını güçlendirerek bitkilerin büyüme sürecini olumlu yönde etkiler (Acar ve ark., 2020; Turan ve Yağcı, 2024).

Glisin betainin tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Kuraklık ve tuzluluğun yol açtığı olumsuz çevresel koşullara karşı toleransı artırarak su kaybını minimize eder ve kök gelişimini teşvik eder. Su alım kapasitesinin yükselmesi, besin elementlerinin daha etkin taşınmasını sağlarken, fotosentetik

etkinliğin artması tane verimini olumlu yönde etkiler (Acar ve ark., 2020).

- Yemeklik tane baklagillerde: Azot fiksasyon sürecini iyileştirerek kök nodüllerinin etkinliğini artırır. Böylece protein sentezi teşvik edilerek besleyici değeri yüksek ürünler elde edilebilmektedir. Aynı zamanda su dengesini koruyarak bitkilerin stres koşullarında büyümesini destekler (Serraj ve Sinclair, 2002).
- Endüstri bitkilerinde: Özellikle yağlı tohum bitkilerinde metabolik süreçleri düzenleyerek büyüme ve gelişimi teşvik eder. Tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel stres faktörlerine karşı bitkinin dayanıklılığını artırarak üretim sürecinde sürdürülebilirliği destekler (Hussain ve ark., 2016).
- Yem bitkilerinde: Su kullanım verimliliğini artırarak biyokütle üretimini destekler. Böylece kuraklık koşullarında ot verimi korunur ve yem kalitesi artırılarak hayvan beslenmesinde daha yüksek biyoyararlanım sağlanır (Farooq ve ark., 2009).

2.7. Kitin ve Kitosan Türeveli Polimerler

Bu doğal olarak oluşan biyopolimerler olup, bitki büyümesini destekleyici ve hastalıklara karşı koruyucu özellikler taşır. Özellikle fungal enfeksiyonları önleme potansiyeline sahip olan kitosan, biyostimülant olarak bitkilerin bağışıklık sistemini aktive edebilmektedir (Külahtaş ve Çokuysal, 2016).

2.7.1. Kitin

- Hücre duvarı güçlendirici etkisiyle bitkilerin dayanıklılığını artırır (Shcherban, 2023).
- Toprak mikroflorasını zenginleştirerek faydalı mikroorganizmaların gelişimini destekler (Shahrajabian ve ark., 2021).

2.7.2. Kitosan

- Hastalık etmenlerine karşı bitkisel savunma tepkilerini uyararak direnç oluşumuna katkı sağlar (Külahtaş ve Çokuysal, 2016).
- Su kaybını azaltarak kuraklık toleransını artırır (Demehin ve ark., 2024).

- Bitki büyüme düzenleyici hormonları uyararak stres adaptasyonunu artırır (İmamoğlu, 2011).

Kitin ve kitosan türevi polimerlerin tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Hastalıkları engelleyerek verim kayıplarını azaltır (Zohara ve ark., 2019; Öner ve Cengiz, 2023).
- Yemeklik tane baklagillerde: Kök nodüllerinin gelişimini destekleyerek azot fiksasyonunu artırır (Mukatova ve ark., 2012).
- Endüstri bitkilerinde: Büyüme ve hastalık direncini artırır (Reyes-Pérez ve ark., 2023).
- Yem bitkilerinde: Yaprak ve gövde gelişimini teşvik ederek biyokütle üretimini artırır (Sun ve ark., 2023).

Bu biyostimülantlar, tarla bitkileri üretiminde verimlilik ve kaliteyi artırmak için önemli birer araç olarak kullanılmaktadır.

2.8. Fitohormonlar

Absisik asit, auksin, etilen, gibberellin ve sitokinin bitkilerin büyüme ve gelişimini düzenleyen organik bileşiklerdir. Çok düşük dozlarda dahi fizyolojik süreçleri etkileyebilir ve biyostimülant etki gösterebilmektedir (Kumar & Sivakumar, 2008).

Fitohormonların tarla bitkilerinde kullanımı

- Tahıllarda: Auksin ve giberellin uygulamalarının stres koşullarındaki bitkilerde fotosentez ve verim üzerine olumlu sonuçlar elde edilmiştir. (Kosakivska ve ark., 2021).
- Yemeklik Tane Baklagillerde: Sitokinin uygulamaları, çiçek dökülmesini azaltarak, meyve tutumunu artırabilmektedir (Clifford, 1992).
- Endüstri Bitkilerinde: Sitokinin uygulaması tohumun çimlenmesine ve bitki verimine olumlu etki gösterebilmektedir (Kumar & Sivakumar, 2008).
- Yem Bitkilerinde: Oksin uygulaması kuraklık stresinin oluşturduğu hasara karşı azaltıcı etki göstermektedir (Aksu, 2022).

3. BİYOSTİMÜLANT UYGULAMA TEKNİKLERİ

Biyostimülantların etkili bir şekilde kullanılması, uygulama yöntemlerinin doğru seçilmesine bağlıdır. Biyostimülant uygulama teknikleri aşağıda detaylandırılmıştır.

3.1. Tohum Kaplama

Doğrudan tohum yüzeyine uygulanmasını içerir. Bu yöntem, çimlenme oranını artırır ve fide gelişimini teşvik eder. Çimlenmeyi hızlandırır ve erken dönem kök gelişimini teşvik eder. Bitkinin stres koşullarına dayanıklılığını artırır. Daha düşük miktarda biyostimülant kullanımı ile etkili sonuçlar alınabilmektedir (Rouphael ve Colla, 2018).

3.2. Yaprak Uygulamaları

Biyostimülantların yapraklara püskürtme yöntemiyle uygulanması, besin alımını hızlandırır ve fotosentezi destekler. Hızlı emilim sağlar ve bitki metabolizmasını doğrudan etkiler. Stres koşullarında bitkinin dayanıklılığını artırmaktadır. Çiçeklenmesini ve meyve tutumunu teşvik eder (Ertani ve ark., 2014).

3.3. Toprak Uygulamaları

Biyostimülantların doğrudan toprağa verilerek kök gelişimini desteklediği ve besin alımını teşvik ettiği yöntemdir. Kök sisteminin gelişimini destekleyerek bitkinin besin alımını artırır. Toprak mikrobiyotasını iyileştirerek yararlı mikroorganizmaların aktivitesini artırır. Uzun vadeli verim artışına katkı sağlar (Colla ve ark., 2014).

3.4. Damla Sulama ile Uygulama

Bu uygulama ile doğrudan kök bölgesine ulaşarak etkinliği artırır. Su ve besin elementlerinin etkin kullanımını sağlar. Bitkinin büyüme süreçlerini destekler ve stres toleransını artırır (Yakhin ve ark., 2017).

Bu uygulama teknikleri, biyostimülantların etkinliğini maksimize etmeye yönelik temel yaklaşımlar arasındadır. Her bir yöntemin, bitki türü ve mevcut çevresel koşullara göre dikkate alınarak en uygun şekilde uyarlanması gerekmektedir.

4. BİYOSTİMÜLANTLARIN ABİYOTİK STRESLERE KARŞI KULLANIMI

Abiyotik stresler, bitkilerin fizyolojik aktivitelerini sekteye uğratarak büyüme ve verim potansiyelini düşürebilmektedir. Biyostimülanlar, tarla bitkilerinde bu stres faktörlerine karşı koruyucu ve düzenleyici roller üstlenir.

4.1. Kuraklık Stresi ve Biyostimülanlar

Tarımsal üretimde en yaygın abiyotik streslerden biridir. Biyostimülanlar, toprakta suyun tutulmasını destekleyip kök gelişimini güçlendirerek bitkilerin kuraklık koşullarına karşı adaptasyonunu artırmaktadır. Deniz yosunu ekstraktları, osmoregülasyon mekanizmalarını destekleyerek su kaybını azaltır. Toprak yapısını suyu daha iyi tutacak şekilde iyileştiren humik asitler, bitkilerin kuraklıkla başa çıkma yeteneğini desteklemektedir. Amino asit bazı biyostimülanlar, bitkilerin su kullanım verimliliğini iyileştirir (Colla, 2014).

4.2. Tuzluluk Stresi Yönetimi

Bitkilerde ozmotik stres oluşturarak su alımını zorlaştırır. Biyostimülanlar, hücre zarlarını stabilize ederek ve iyon dengelerini düzenleyerek tuz stresini azaltır. Fulvik asitler, iyon taşınmasını düzenleyerek tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletir. Mikrobiyal biyostimülanlar, rizosferde tuz toleransını artıran mekanizmaları aktive eder. Protein hidrolizatları, ozmotik düzenlemeyi destekleyerek tuzluluğa dayanıklılığı artırır (Hussain ve ark., 2016; Acar ve ark., 2020).

4.3. Sıcaklık Stresi ve Bitkisel Adaptasyon

Bitkilerin metabolizmasını olumsuz etkileyerek büyüme ve gelişmeyi sınırlar. Biyostimülanlar, hücre savunma mekanizmalarını güçlendirerek sıcaklık stresine karşı bitkileri korur. Polifenol içeren bitkisel ekstraktlar, serbest radikalleri temizleyerek oksidatif stresi azaltır. Deniz yosunu bazı biyostimülanlar, sıcaklık dalgalanmalarına karşı bitki dayanıklılığını artırır. Silisyum içeren inorganik biyostimülanlar ise, hücre zarlarını güçlendirerek sıcaklık stresine karşı dayanıklılığı artırır (Khan ve ark., 2009; Xu ve ark., 2021).

4.4. Soğuk Stresine Karşı Koruyucu Etkiler

Düşük sıcaklıklar, hücre membranlarında hasara neden olarak bitki büyümesini sınırlandırır. Biyostimülantlar, hücre zarlarını stabilize ederek ve antioksidan aktiviteyi artırarak bitkilerin soğuk stresine uyum sağlamasına yardımcı olur. Amino asit bazlı biyostimülantlar, protein sentezini teşvik ederek soğuk stresi toleransını artırır. Humik asitler, hücre yapısını koruyarak soğuk hasarını önler. Mikrobiyal biyostimülantlar, antifriz proteinlerin üretimini teşvik ederek düşük sıcaklıklara dayanıklılığı artırır (Colla 2014; Etesami ve Beattie, 2018).

5. SONUÇ

Biyostimülantlar, sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekleyen ve tarımsal üretimde önemi gün geçtikçe artan yenilikçi girdiler arasında yer almaktadır. Verim artışı, stres toleransı ve besin kalitesinin iyileştirilmesi gibi olumlu etkileri sayesinde biyostimülantlar, gelecekte daha geniş çapta kullanılacak ve tarımsal üretimde yeni bir dönemin kapılarını aralayacaktır. Günümüzde yapılan araştırmalar, bitki spesifik biyostimülant formülasyonlarının geliştirilmesi, stres dayanıklılığının artırılması, biyostimülant-mikrobiyota etkileşimlerinin anlaşılması ve nanoteknoloji destekli biyostimülantların geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, organik tarımda biyostimülantların kullanımına yönelik çalışmalar, sentetik girdilerin azaltılmasına katkı sağlayarak çevre dostu üretim sistemlerini desteklemektedir.

Biyostimülantların sürdürülebilirliğe katkıları; çevreye duyarlı üretim için kimyasal girdilerin sınırlandırılması, toprak ekosisteminin korunması, iklimsel olumsuzluklara karşı bitkisel dayanıklılığın artırılması ve hem verim hem de kalite açısından olumlu etkiler sunmaları şeklinde özetlenebilir. Bu nedenle, biyostimülantlar modern tarımın geleceğinde önemli bir rol oynayacak ve bilimsel gelişmeler ile yeni teknolojilerin entegrasyonu sayesinde kullanım alanları daha da genişleyecektir. Gelişen tarımsal ihtiyaçlara paralel olarak bu yenilikçi uygulamaların daha verimli hale getirilmesi ve uzun vadede küresel gıda güvenliğine katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, O., Teker, M., Günay, E., & Baltacıer, G. (2020). Kuraklık stresi altındaki buğdayda eksojen glisin betainin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 446-455.
- Akgün, İ., Karaman, R., & Şener, A. (2021). Şeker mısırında farklı organik materyal ve azot uygulamalarının koçan verimi ve bazı agronomik özellikler üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(3), 365-375.
- Aksu, G. (2022). Kuraklık stresi altında indol asetik asidin yemlik soya fasulyesine etkisi. *Turkish J. of Agri.-Food Sci. and Tech.*, 10, 2811-2814.
- Ali, N., Swarnkar, M., Veer, R., Kaushal, P., & Pati, A. (2023). Temperature-induced modulation of stress-tolerant PGP genes bioprospeted from *Bacillus* sp. IHBT-705 associated with saffron (*Crocus sativus*) rhizosphere: A natural-treasure trove of microbial biostimulants. *Plant Science*, 14, 1141538.
- Bat, M., Tunçtürk, R., & Tunçtürk, M. (2019). Kuraklık stresi altındaki ekinezya (*Echinacea purpurea* L.)’da deniz yosununun büyüme parametreleri, toplam fenolik ve antioksidan madde üzerine etkisi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 496-505.
- Broadley, M., Brown, P., Çakmak, İ., J., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). *Beneficial Elements*, In Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 249-269.
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306.
- Cirillo, V., Romano, I., Woo, S.L., Di Stasio, E., Lombardi, N., Comite, E., Pepe, O., Ventrino, V. & Maggio, A. (2023). Inoculation with a microbial consortium increases soil microbial diversity and improves agronomic traits of tomato under water and nitrogen deficiency. *Plant Science*, 14, 1304627.
- Clifford P.E., Pentland B.S., & Baylis A.D. (1992). Effects of growth regulators on reproductive abscission in faba bean (*Vicia faba* cv. Troy). *The Journal of Agricultural Science*, 119(1):71-78.

- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Roupael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38.
- Colla, G., Roupael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., & Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Plant Science*, 5, 448.
- Da Silva, N., Machado, J., Osorio, J., Duarte, R., & Santos, C. (2022). Non-essential elements and their role in sustainable agriculture. *Agronomy*, 12(4), 888.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P.S., & Hare, M.C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protect.*, 29(10), 1059-1075.
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Francioso, O., Sambo, P., Sanchez-Cortes, S., & Nardi, S. (2014). *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: Chemical and metabolomic approaches. *Plant Science*, 5, 375.
- Etesami, H., & Beattie, G.A. (2018). Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. *Microbiology*, 9, 148.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212.
- Fusco, G.M., Nicastro, R., Roupael, Y., & Carillo, P. (2022). The effects of the microbial biostimulants approved by eu regulation 2019/1009 on yield and quality of vegetable crops. *Foods*, 11(17), 2656.
- Gedeon, S., Ioannou, A., Balestrini, R., Fotopoulos, V., & Antoniou, C. (2022). Application of biostimulants in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) to enhance plant growth and salt stress tolerance. *Plants*, 11(22), 3082.
- Gómez-Merino, F.C., & Trejo-Téllez, L.I. (2018). *The Role of Beneficial Elements in Triggering Adaptive Responses to Environmental Stressors and Improving Plant Performance*. In: Vats, S. (eds) Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Springer, 37-172, Singapore.
- Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63-73.

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2014). *Silicon And Selenium: Two Vital Trace Elements That Confer Abiotic Stress Tolerance To Plants*, Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance, Volume (1): Biological Techniques 377-422.
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T., Masud, A., & Fotopoulos, V. (2021). Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells*, 10(10), 2537.
- Hidri, R., Barea, J., Mahmoud, O., Abdelly, C., & Azcón, R. (2016). Impact of microbial inoculation on biomass accumulation by *Sulla carnosa* provenances, and in regulating nutrition, physiological and antioxidant activities of this species under non-saline and saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, 201, 28-41.
- Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: A review. *Agronomy for Sustain. Develop.*, 36(1), 4.
- Ikuyinminu, E., Goñi, O., & O'Connell, S. (2022). Enhancing irrigation salinity stress tolerance and increasing yield in tomato using a precision engineered protein hydrolysate and *Ascophyllum nodosum*-derived biostimulant. *Agronomy*, 12(4), 809.
- Ikuyinminu, E., Goñi, O., Łangowski, Ł., & O'Connell, S. (2023). Transcriptome, biochemical and phenotypic analysis of the effects of a precision engineered biostimulant for inducing salinity stress tolerance in tomato. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 6988.
- İmamoğlu, Ö. (2011). Biyokontrolde doğal ürünlerin kullanılması; Kitosan. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68(4), 215-222.
- Joner, E., Skjerve, E., Sundheim, L., Tronsmo, A., Wastson, Y., Eckner, K., & Vold, L. (2019). Microorganisms in biostimulants. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 9(3), 310-311.
- Kaur, S., Kaur, N., Siddique, K., & Nayyar, H. (2016). Beneficial elements for agricultural crops and their functional relevance in defence against stresses. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62, 905-920.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of

- plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399.
- Korkutal, İ., & Bahar, E. (2024). Mikorizalar ve Bağcılıkta Kullanımı. *Anadolu Jour. of AARI*, 34(1), 97-107.
- Kosakivska, I., Vedenicheva, N., Babenko, L., Voytenko, L., Romanenko, K., & Vasyuk, V. (2021). Exogenous phytohormones in the regulation of growth and development of cereals under abiotic stresses. *Molecular Biology Reports*, 49, 617-628.
- Kumar, A., & Sivakumar, D. (2008). Role of hormones on seed germination-A review. *Agricultural Reviews*, 29, 281-289.
- Külahtaş, B., & Çokuysal, B. (2016). Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye'deki durumu. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 185-200.
- Latique, S., Elouaer, M., Chernane, H., Hannachi, C., & Elkaoua, M. (2014). Effect of seaweed liquid extract of *Sargassum vulgare* on growth of durum wheat seedlings (*Triticum durum* L) under salt stress. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7, 1430-1435.
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., & Herrera-Estrella, A. (2015). *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196, 109-123.
- Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi-Kouchebagh, P., & Khoshvaghti, H. (2015). Physiological responses of *Brassica napus* to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. *Crop Journal*, 3, 434-439.
- Mackiewicz-Walec, E., & Olszewska, M. (2023). Biostimulants in the production of forage grasses and turfgrasses. *Agriculture*, 13(9), 1796.
- Malécange, M., Sergheraert, R., Teulat, B., Mounier, E., Lothier, J., & Sakr, S. (2023). Biostimulant Properties of Protein Hydrolysates: Recent Advances and Future Challenges. *Int. Journal of Molecular Sciences*, 24.
- Moyo, M., Aremu, A.O., & Amoo, S.O. (2021). Potential of seaweed extracts and humate-containing biostimulants in mitigating abiotic stress in plants. *Biosti. for Crops from Seed Germ. to Plant Dev.*, 297-332.
- Oral, E., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., & Kulaz, H. (2020). Silisyumun fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) tuz (NaCl) stresini azaltmadaki etkisi.

- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Tarım ve Doğa Der., 23(6), 1616-1625.
- Öner, M. & Cengiz, R. (2023). Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisi Çimlenme Dönemi Parametrelerini İyileştirilmesi İçin Priming Yöntemiyle Kitosan Kaplamada Doz Belirlenmesi. *Journal of Agricultural Biotech.*, 4(2), 63-74.
- Partani, T. (2013). Determination of effect of different rates of seaweed extract on growth and performance of corn (Sc704) in Gorgan, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 6(4), 219-224.
- Pilon-Smits, E.A.H., Quinn, C.F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Beneficial elements for plants: Regulation, transport, and resistance mechanisms. *Annual Review of Plant Bio.*, 60(1), 119-142.
- Pilon-Smits, E., Quinn, C., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274.
- Qiu, X., Wang, W., Yang, J., Li, D., Jiao, J., Wang, E., & Yuan, H. (2024). Fulvic acid promotes legume-rhizobium symbiosis by stimulating endogenous flavonoids synthesis and secretion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72, 12, 6133-6142.
- Rani, M., Kaushik, P., & Kapoor, S. (2024). Effect of seaweed application on the growth, yield and physiological parameters in the intercropping farming system. *Current Agriculture Res. J.*, 12(1), 170-179.
- Selim, E., & Mosa, A. (2012). Fertigation of humic substances improves yield and quality of broccoli and nutrient retention in a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 273-281.
- Serraj, R. & Sinclair, T.R. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 333-341.
- Silletti, S., Di Stasio, E., Van Oosten, M., Ventrino, V., Pepe, O., Napolitano, M., Marra, R., Woo, S., Cirillo, V., & Maggio, A. (2021). Biostimulant activity of *Azotobacter chroococcum* and *Trichoderma harzianum* in durum wheat under water and nitrogen deficiency. *Agronomy*, 11, 380.
- Sootahar, M., Zeng, X., Wang, Y., Su, S., Soothar, P., Bai, L., Kumar, M., Zhang, Y., Mustafa, A., & Ye, N. (2020). The short-term effects of mineral- and plant-derived fulvic acids on some selected soil properties:

- Improvement in the growth, yield, and mineral nutritional status of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soils of contrasting textures. *Plants*, 9.
- Sun, W., & Shahrajabian, M. (2023). The Application of arbuscular mycorrhizal fungi as microbial biostimulant, sustainable approaches in modern agriculture. *Plants*, 12(17), 3101.
- Swami, P. & Munjal, R. (2020). *Use of Biostimulants in Conferring Tolerance to Environmental Stress*. In: Hasanuzzaman, M. (eds) *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II.*, 231-244, Springer, Singapore.
- Tejasree, A., Mirza, A.S., & Joka, V.S. (2024). Deciphering nature's secret of seaweed extract as a biostimulant on horticultural crops: A review. *J. Exp. Agric. Int.*, 46(6), 417-427.
- Turan, F., & Yağcı, E. (2024). Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) Bazı Ön Uygulamaların Tuzluluk Stresi Koşullarında Çimlenme ve Enzim Aktivitesi Üzerine Etkisi. *J. of the Institute of Sci. and Tec.*, 14(2), 901-912.
- Van Oosten, M., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agri.*, 4.
- Xu, S., Zhao, N., Qin, D., Liu, S., Jiang, S., Xu, L., Sun, Z., Yan, D., & Hu, A. (2021). The synergistic effects of silicon and selenium on enhancing salt tolerance of maize plants. *Env. and Experimental Botany*. 187, 104482.
- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Plant Science*, 7, 2049.
- Yamauchi, Y. (2018). *Integrated Chemical Control of Abiotic Stress Tolerance Using Biostimulants*. InTech. London, UK, 133-143.
- Zhu, S., Mi, J., Zhao, B., Wang, Z., Yang, Z., Wang, M., & Liu, J. (2024). Integrative transcriptome and metabolome analysis reveals the mechanism of fulvic acid alleviating drought stress in oat. *Plant Science*, 15.
- Zuzunaga-Rosas, J., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2024). Agroindustrial By-Products as a source of biostimulants enhancing responses to abiotic stress of horticultural crops. *Int. Journal of Molecular Sciences*, 25(6), 3525.



ISBN: 978-625-378-343-3