

TARLA TARIMINA GÜNCEL BAKIŞ

A CURRENT PERSPECTIVE ON FIELD AGRICULTURE

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Nuri YILMAZ

Prof. Dr. Özlem ÖNAL AŞCI

Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE



TARLA TARIMINA GÜNCEL BAKIŞ

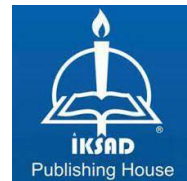
A CURRENT PERSPECTIVE ON FIELD AGRICULTURE

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Nuri YILMAZ
Prof. Dr. Özlem ÖNAL AŞCI
Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE

YAZARLAR

Prof. Dr. Fatih ÖNER
Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ
Prof. Dr. Nuri YILMAZ
Prof. Dr. Özlem Önal AŞCI
Prof. Dr. Sancar BULUT
Doç. Dr. Ebru BATI AY
Doç. Dr. Emel Karaca ÖNER
Doç. Dr. Gürkan DEMİRKOL
Doç. Dr. Meryem YEŞİL
Doç. Dr. Muhammed Akif AÇIKGÖZ
Doç. Dr. M. Akif AÇIKGÖZ
Doç. Dr. Yusuf ŞAVŞATLI
Doç. Dr. Yasin ALTAY
Dr. Öğr. Üyesi A. Özge ŞİMŞEK SOYSAL
Dr. Öğr. Üyesi Beril KOCAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ferda ÖZKORKMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Gözde Hafize YILDIRIM
Dr. Öğr. Üyesi Gülşah BİLGE ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇAMLICA
Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK
Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE
Dr. Öğr. Üyesi Sedef ÖZLİMAN
Dr. Öğr. Üyesi Yeliz Kaşko ARICI
Çağrı ARSLAN
Mualla ALTUN



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 Pubicator: 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: 978-625-378-384-6

Cover Design: İbrahim KAYA

November / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

EDİTÖRLER.....3

BÖLÜM 1

TAHİL ISLAHINDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER “SPEED BREEDING”

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK

Prof. Dr. Fatih ÖNER.....5

BÖLÜM 2

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SERİN İKLİM TAHILLARI VERİMİNE ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Sancar BULUT

Prof. Dr. Fatih ÖNER.....15

BÖLÜM 3

TÜRKİYE’DE İKLİM KRİZİ BAĞLAMINDA BAZI BUĞDAY (*TRITICUM SSP.*) GENOTİPLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Gözde Hafize YILDIRIM

Doç. Dr. Yusuf ŞAVŞATLI.....29

BÖLÜM 4

YEREL MISIR POPULASYONLARININ GENETİK KAYNAK OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Prof. Dr. Fatih ÖNER

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK.....55

BÖLÜM 5

KOYUNYÜNÜ GÜBRESİNİN ÇELTİKTE (*Oryza Sativa L.*) BAZI BİTKİSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Çağrı ARSLAN

Prof. Dr. Nuri YILMAZ.....67

BÖLÜM 6

AZOT FİKSASYONU VE TAHILLARDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi. Ferda ÖZKORKMAZ

Prof. Dr. Nuri YILMAZ.....85

BÖLÜM 7

ORGANİK TARIMDA AGRO-BİYOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

Prof. Dr. Sancar BULUT

Prof. Dr. Fatih ÖNER.....93

BÖLÜM 8

TÜRKİYE PATATES ÜRETİMİNİN DÜNÜ-BUGÜNÜ VE YARINI

Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE.....103

CHAPTER 9

TRADITIONAL USES, PHARMACOLOGY, PHYTOCHEMISTRY AND TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF TROPANE ALKALOIDS: *Atropa belladonna* L.

Assoc. Prof. Dr. Muhammed Akif AÇIKGÖZ

Assoc. Prof. Dr. Ebru BATI AY.....115

BÖLÜM 10

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİNE BİYOSTİMÜLANT KULLANIMININ ETKİSİ

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇAMLICA.....149

BÖLÜM 11

HALK TIBBİNDA KULLANILAN BAZI TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER

Doç. Dr. Meryem YEŞİL

Doç. Dr. Emel Karaca ÖNER.....191

BÖLÜM 12

TÜRKİYE'DE BAHARAT OLARAK KULLANILAN TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER

Doç. Dr. Emel Karaca ÖNER

Doç. Dr. Meryem YEŞİL.....217

BÖLÜM 13

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE ESANSİYEL YAĞ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ VE BİYOAKTİF PROFİLLER

Dr. Öğr. Üyesi Sedef ÖZLİMAN

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ.....261

CHAPTER 14

INSECTICIDAL ACTIVITY OF AMARYLLIDACEAE FAMILY ALKALOIDS

Assoc. Prof. Dr. Muhammed Akif AÇIKGÖZ

Assoc. Prof. Dr. Ebru Batı AY

Assist. Prof. Dr. Beril KOCAMAN.....303

CHAPTER 15

BEYOND THE GREEN CARPET: USES, VISUAL VALUE, AND CULTURAL CODES OF GRASS PLANTS

Assist. Prof. Dr. A. Özge ŞİMŞEK SOYSAL

Assist. Prof. Dr. Gülşah BİLGE ÖZTÜRK

Assoc. Prof. Dr. M. Akif AÇIKGÖZ.....327

CHAPTER 16

ESTIMATION OF PLANT FRESH WEIGHT OF COWPEA UNDER SALT STRESS BY CART, CHAID AND EXHAUSTED CHAID DATA MINING ALGORITHMS

Prof. Dr. Özlem Önal AŞÇI

Assist. Prof. Dr. Yeliz Kaşko ARICI

Assoc. Prof. Dr. Yasin ALTAY

Mualla ALTUN.....347

BÖLÜM 17

YEM BİTKİLERİNDE KURAKLIK STRESİ HAFIZASI

Doç. Dr. Gürkan DEMİRKOL.....367

ÖNSÖZ

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Bugün 8.2 milyar olan dünya nüfusunun 2030 yılında 8.6 milyar, 2050 yılında ise 9.8 milyar olması beklenmektedir. Buna karşın gıda maddelerindeki artış aynı hızla olmamaktadır. Bu da her doğan çocuğun gıdamıza ortak olduğu anlamına gelmektedir. Nüfus artışı oranında tarımsal üretimi artırmazsak, dünyada açlık sorununun giderek büyük boyutlar kazanacağı bir gerçektir. Bugün bile hala milyonlarca insanın yetersiz beslendiği bilinmektedir. Bu nedenle araştırmacıların ve tarımla uğraşanların hedefi artan dünya nüfusunu besleyebilmek hatta besleme düzeyini daha da artırmak olmalıdır.

Türkiye, üç önemli fitocoğrafik bölgenin kesişme noktasında yer alması ve çok farklı toprak ve iklim koşullarını barındırması nedeniyle çok zengin bir biyoçeşitliliğe ve yüksek bir tarımsal üretim potansiyeline sahiptir. Türkiye'deki biyolojik zenginliğin ve tarımsal üretim potansiyelinin korunması, geliştirilmesi ve sürdürülebilir olarak kullanımı ulusal gıda güvenliği ve toplum refahı açısından çok önemlidir. Bunun için her şeyden önce doğal kaynakların doğru ve verimli kullanımına imkân veren yeni ve modern tarımsal teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Türkiye'nin zengin biyoçeşitliliği ve yüksek tarımsal potansiyeli içerisinde başta tahıllar olmak üzere yemeklik tane baklagiller, endüstri bitkileri (yağ bitkileri, nişasta ve şeker bitkileri, lif bitkileri, tıbbi ve aromatik bitkiler) ve çayır-mera ve yem bitkileri gibi çok çeşitli bitki gurubunu bünyesinde barındıran tarla bitkilerinin çok önemli bir yeri vardır. Tarla bitkileri, öncelikle Türkiye olmak üzere insanlığın bitkisel gıda ihtiyacının karşılanması, çeşitli endüstri kollarına hammadde sağlaması ve tıbbi ilaç sektörü için materyal oluşturması olmak üzere sayısız alanda çok önemli faydalar sağlamaktadır. Bu yönleriyle tarla bitkileri, tarım sektörünün en stratejik bitkileri konumundadırlar. Tarla bitkileri alanında son yıllarda önemli gelişmeler sağlanmış olmakla birlikte, Türkiye'de üretim alanı, üretim miktarı, verim ve ithalat-ihracat verileri halen arzu edilen gelişmişlik seviyesine ulaşamadığını göstermektedir. Bu yüzden, Türkiye'nin farklı ekolojik bölgelerini gözetecek şekilde, tarla tarımındaki güncel gelişmeleri değerlendirmek gelecekle ilgili projeksiyon oluşturmak için bilimsel araştırmaların yürütülmesi çok önemli ve milli bir görev olarak kabul edilmelidir. Bu anlamda değerlendirildiğinde; hazırlanan söz konusu eser oldukça önem arz etmektedir.

Kitapta yer alan her bölüm konusunda uzman bilim insanları tarafından titizlikle ve büyük emekle hazırlanmış ve konuyla ilgili temel ve güncel bilgiler en uygun şekilde verilmiştir. Emeği geçen çok değerli bilim insanlarına Kitabın basımında gösterdikleri özveri ve özen için IKSAD Yayınevine kitabın editörleri olarak teşekkür ve şükranlarımızı sunarız.

EDİTÖRLER

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Nuri YILMAZ

1960 yılında Yozgat'ın Sorgun ilçesinde doğdu. 1984 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden mezun oldu. 1989 yılında Tahıllar ve Yemlik Baklagiller alanında Ege Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde doktorasını tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Ordu Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde 1997 yılında doçent ve 2004 yılında profesör unvanlarını aldı. Halen Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde görevine devam etmektedir. Evli ve 3 çocuk babasıdır.



Prof. Dr. Özlem ÖNAL AŞCI

1978 yılında Samsunda doğdu. 1998 yılında Ondokuzmayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Çayır-Mera ve Yem Bitkileri alanında doktorasını tamamladı. Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde 2013 yılında doçent ve 2019 yılında Profesör unvanlarını aldı. Halen aynı bölümde görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.



Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE

1966 yılında Artvin'in Şavşat ilçesinde doğdu. 1988 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Endüstri Bitkileri alanında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde doktorasını tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Ordu Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde 1999 yılında yardımcı doçent unvanını aldı. Halen Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde görevine devam etmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.



BÖLÜM I

TAHİL ISLAHINDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER “SPEED BREEDING”

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK ¹ Prof. Dr. Fatih ÖNER ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17603394>

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Rize, Türkiye. onder.albayrak@erdogan.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-2440-7748>

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Ordu, Türkiye. fatihoner38@gmail.com , Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6264-3752>

GİRİŞ

Speed breeding (hızlı ıslah) sistemi, uzatılmış fotoperiyot ve kontrollü iklim koşulları altında bitkilerin generasyon döngülerini kısa sürede tamamlayabildikleri, tek tohum soy yöntemine dayalı bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemin kökeni NASA'nın uzayda buğday yetiştirmeye yönelik çalışmalarına dayanmaktadır. Hickey ve ark. (2017) hızlı ıslah sistemini kullanarak erkenci tam bodur buğday çeşidi olan USU-Apogee'yi geliştirmişlerdir.

Klasik ıslah yöntemlerinde, özellikle serin iklim tahılları gibi birçok türü kendine döllen gruplarda, melezleme sonrası saf hat elde etme süreci yaklaşık 6-7 generasyon sürmektedir. Bu durum, ıslah çalışmasının amacından uzaklaşmasına, çözüm aranan sorunun ortadan kalkmasına veya daha da çözülemez hale gelmesine, ıslah programı sonucunda istenilen özelliklere sahip hatların elde edilememesine ve ayrıca yoğun iş gücü ve maddi külfete sebep olmaktadır. Klasik ıslah yöntemlerinin bu gibi dezavantajlarını ortadan kaldıracak yeni teknikler her geçen gün geliştirilmekte ve bilim dünyasına kazandırılmaktadır. Bu yeni tekniklerden biri olan hızlı ıslah yöntemi ile özellikle uzun gün/nötr gün bitkileri yılda yaklaşık 5-6 generasyon iletilerek ıslah süreci kısaltılabilmektedir. Ayrıca Jähne ve ark., (2020) hızlı ıslah sisteminin soya fasulyesi, çeltik ve horoz ibiği gibi kısa gün bitkilerinde de uygulanabileceğini ve yılda 5 generasyon alınabileceğini bildirmişlerdir.

Tahıllar, dünya tarla tarımı sisteminde önemli yere sahip bitki grubudur. Öyle ki, insan beslenmesinde dünyanın hemen her kıtasında kullanılmaktadır. Bunun yanında birçok türü hayvan beslenmesinde, sanayi ham maddesi olarak ta kullanılmaktadır. Adı geçen grup içerisinde buğday, arpa, yulaf, çavdar ve tritikale uzun gün bitkileri grubuna giren serin iklim tahılları olarak adlandırılırlar. Bunun yanı sıra sıcak iklim tahılları olarak adlandırılan ve kısa gün bitkileri olan mısır, çeltik ve darılar da yine tahıllar içerisinde önemli yer tutarlar.

Buğday, tahıllar içerisinde ilk kültüre alınan tür olup insan beslenmesinde önemli yer tutmaktadır. Dünyada günlük kalori ve protein ihtiyacının yaklaşık % 20'lik kısmı buğday tarafından karşılanmakta olup (Peng ve ark., 1999; Atak, 2017; Leyla ve ark., 2021), sahip olduğu yüksek adaptasyon kabiliyeti sayesinde neredeyse tarım yapılabilen tüm alanlarda yetiştirilebilecek çeşitleri geliştirilmiştir.

Dünyada genel olarak hayvan yemi ve malt sanayisinde kullanılan arpa tarımı genellikle kuru tarım sisteminin yaygın olduğu bölgelerde yapılmaktadır (Erdem ve ark., 2024). Sulanan alanlarda karlılığı yüksek bitki türlerine (pamuk, mısır, ayçiçeği vb.) yerini bırakan arpa, kurak alanlarda ise neredeyse kendisine rakip tanımamaktadır (Kaya ve Akçura, 2022).

Yulaf, çavdar ve tritikale türleri yoğun bir şekilde hayvan beslenmesinde kullanılsa da insan beslenmesinde de kullanılmaktadırlar. Ayrıca adaptasyon kabiliyetleri ve dayanıklılık bakımından da her birinin farklı özellikleri mevcuttur.

Mısır, sıcak iklim tahılları içerisinde en fazla üretimi yapılan bitki türüdür. Mısır, insan beslenmesi, hayvan yemi ve sanayi ham maddesi olarak çok farklı alanlarda kullanılan bir C4 bitkisidir. Birim alan tane ve hasıl ürün verimi bakımından pek çok tarla bitkisini geride bırakmaktadır. Monoik yapısı sebebi ile yabancı döllen mısır, heterosis ve heterobeltiosis sayesinde hibrit ıslahının yoğun kullanıldığı bir türdür.

Çeltik, köklerinin suda çözünmüş oksijenden faydalanabilirliği ile bilinen, insan beslenmesinde dünyanın neredeyse her bir köşesinde kullanılan bir türdür. Kısa gün bitkisi olması ve kendine döllenmesi sebebi ile ıslah çalışmalarının görece kolay olduğu bir türdür.

Tahılların kullanıldıkları alanlar ve besin değerleri göz önüne alındıklarında, ıslah çalışmalarının yoğun bir şekilde bu türlerde yapıyor olması şaşırtıcı değildir. Ancak, ıslah süreçlerinin uzaması ve maliyetin artması bu türler üzerinde istenilen çalışmaların yapılmasını sekteye uğratmaktadır.

Geliştirilen ıslah teknikleri içerisinde hızlı ıslah sistemi, ışık, sıcaklık, nem gibi parametrelerin kontrollü olduğu koşullarda generasyon sürelerini kısaltmakta ve ıslah sürecini önemli ölçüde kısaltmaktadır (Chaudhary ve Sandhu, 2024; Bayhan ve ark., 2024). Öyle ki; farklı araştırmacılar hızlı ıslah sistemi ile ekmeclik buğday, makarnalık buğday ve arpada yılda 6 generasyon; soya fasulyesinde yılda 5 generasyon; nohutta yılda 6-7 generasyon; börülcede yılda 7-8 generasyon; baklada yılda 7 generasyon; yer fıstığında yılda 4 generasyon; mercimekte yılda 3-4 generasyon ve kanolada yılda 4 generasyon ürün alındığı bildirilmişlerdir (Ochatt ve ark., 2002; Mobini ve ark., 2015; Ghosh ve ark., 2018; Watson ve ark., 2018; Idrissi, 2020; Jähne ve ark., 2020; Samineni ve ark., 2020; Edet ve Ishii, 2022).

HIZLI ISLAH SİSTEMİNİN METODOLOJİSİ

Hızlı ıslah sistemi, genellikle fotoperiyotu uzatarak bitkilerin vejetatif dönemden generatif döneme geçiş sürelerini kısaltan ve bitkilerin gelişim dönemlerinde ihtiyaç duydukları ışık ve sıcaklık ihtiyacını daha kısa sürede vererek jenerasyonu hızlandırma esasına dayanmaktadır. Kısaca tam kontrollü ortamlarda bitkilerin kısa sürede ihtiyaç duydukları ışık ve sıcaklığı, diğer tüm şartları da optimize ederek, sunma tekniği denilebilir.

Bitkilerin fotoperiyot sürelerini farklı bitki türlerine göre değiştirerek, gece ve gündüz sıcaklıklarını da optimize ederek hazırlanan yetiştirme ortamı, kısa sürede bitkilerden tane ürün almayı sağlamaktadır.

Hızlı ıslah sisteminde bahsedilen fotoperiyot süresinin ayarlanmasının yanında tohumların hasat zamanının, ki genellikle olgunlaşmaları beklenmeden hasat edilirler, belirlenmesi ve tekrar çimlenme için dormansinin kırılması olmak üzere üç aşama ile sürdürülmektedir.

Fotoperiyot süresini belirlemede bir çok araştırmacı özellikle uzun gün bitkilerinde çalışmalar yürütmüştür (Watson ve ark., 2018; Hickey ve ark., 2017; Ochatt ve ark., 2002).

Özkan ve ark. (2022), makarnalık buğday ıslahında jenerasyon süresini kısaltmada hızlı ıslah sistemini kullanmışlar ve çiçeklenme ardından 20. günde hasat edilen tohumların 4°C’de bekletilmesi ile (dormansi kırma metodu) normal çimlendirme şartlarına göre %10.01 oranında artış sağladığını belirtmişlerdir. Bitkileri 22 saat ışık 2 saat karanlık periyottan oluşan fotoperiyot sürecinde yetiştiren araştırmacılar, çalışmalarında kırmızı, mor ve sarı renkleri barındıran şerit ledler (276.15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) kullanmışlardır. Araştırmacılar bitkiler ile LED ışıklar arası mesafeyi kurdukları düzenek ile 20 cm olarak sabit tuttuklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar farklı çeşitlerin uzun fotoperiyot süresine farklı tepkiler verdiklerini belirterek, dormansi kırma uygulamasının avantaj sağladığından bahsetmişlerdir.

Bayhan ve ark. (2022) farklı bitki yetiştirme tekniklerinin hızlı ıslahta süre üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, bitkileri 22 saat ışık, 2 saat karanlık periyotta yetiştirmişlerdir. Çalışmada, kırmızı, sarı, beyaz ve mavi renkleri barındıran şerit LED lambalar (316,15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) kullanan araştırmacılar, karanlık periyotta 17 °C, aydınlık periyotta 22 °C sıcaklıkta bitkileri yetiştirmişlerdir. Ekmeklik ve makarnalık buğday üzerinde yürüttükleri çalışma sonucunda, her iki türde de başarılı bir şekilde vejetasyon

süresinin kısaltıldığına vurgu yapan araştırmacılar, kademeli su kısıtlılığı uygulamasının, tarla kapasitesinde verilen sulamaya göre vejetasyon süresini kısalttığını bildirmişlerdir.

Yayla ve ark. (2021), başakta çimlenmeye dayanıklı ekmeklik buğday geliştirme amacı ile markör destekli yürüttükleri ıslah çalışmasında hızlı ıslah yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar, bitki büyütme odasında yürüttükleri çalışmada LED lambalar kullanarak 21 saat ışıklı periyot ve 3 saat karanlık periyot uygulamışlardır. Oda sıcaklığını ise ışıklı periyotta 25°C, karanlık periyotta 18°C olacak şekilde ayarlamışlardır. Tohumların çiçeklenme döneminde 15-20 gün sonra hasat edildiğini ve inkübatörde 37°C sıcaklıkta yedi gün kurutularak ardından 4°C’de beş gün tutularak dormansinin kırılması sağlandığını bildirmişlerdir.

Özellikle serin iklim tahılları, yazlık ve kışlık tipleri bulunan farklı bir çok çeşidi içinde barındıran ve önemli miktarda üretimi yapılan bitkiler olan buğday ve arpa türlerini barındırır. Hızlı ıslah sistemi uzun ışıklanma süresi ve yüksek sıcaklık ile özellikle yazlık tipler için daha kolay uygulanabilen bir yöntem gibi görünse de kışlık tipler için ön üşütme sistemi ile hızlı ıslah sisteminin kullanılabileceği Erdem ve ark. (2024) tarafından bildirilmiştir. Araştırmacılar bu amaçla yürüttükleri çalışmalarında tohumlara önce dormansi kırma (4 °C’de dört gün bekletme) uygulandığını, sonrasında 22 °C’de bir gün çimlendirildiğini, gelişen fideleri de 2°C’de farklı sürelerde beklettiklerini belirtmişlerdir. Elde ettikleri fideleri 22 saat ışık, 2 saat karanlık periyotta sabit 22°C sıcaklıkta yetiştirmişlerdir. Alışma sonucunda araştırmacılar tüm faktörleri inceleyerek 4 haftalık vernalizasyon sürecinin kışlık arpa çeşitleri için yeterli olacağını bildirmişlerdir.

Kışlık buğday çeşitlerinin hızlı ıslah sisteminde yetiştirilmesi incesi vernalizasyon çalışması yapan Schoen ve ark. (2023), tohumları 2.5 cm derinlikte ekerek 12 saatlik gece/gündüz periyotu ile (150-250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) yaklaşık 5 gün çimlenmeye bırakmıştır. Bu süreç sonunda bitkiler aynı ışık periyotunda 4°C’de farklı sürelerde büyümeye bırakılmıştır. Ardından bitkileri farklı ışık süresi ve gece/gündüz sıcaklıkları ile oluşturdukları büyüme ortamlarında denemeye almışlardır. Çalışma sonucuna vernalizasyon süresinin kısaltılmasının vejetasyon süresini azaltabileceği, sadece 5 haftalık vernalizasyon süresinin 22 saatlik aydınlık periyot ile verimli başakların elde edildiğini belirtmişlerdir.

Bayhan ve ark. (2024) hızlı ıslah sisteminde ideal hasat zamanını belirlemek üzere yürüttükleri çalışmalarında erken tohum hasadının fotoperiyodun arttırılması ile oluşan erken çiçeklenme kadar generasyon süresini kısaltmada etkili olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında çiçeklenme başlangıcından 10 gün sonra başlamak üzere ikişer gün ara ile 10 farklı tarihte hasat yapmışlardır. Elde ettikleri başakları 35 °C’de 7 gün boyunca etüvde kurutmaya bırakmışlar ve ardından çimlendirdikleri tohumları incelemişlerdir. Sonuç olarak çiçeklenmeden 20 gün sonra yapılan erken hasat ile başarılı çimlenme elde edileceğini bildirmişlerdir. Bu sayede bir yılda 5 generasyon alınabileceğini bildirmişlerdir.

SONUÇ

Tahıllar, başta insan beslenmesi olmak üzere birçok alanda kullanılan ve tüm dünyada çok yaygın tarımı yapılan bitki topluluğudur. Bu nedenledir ki ıslah çalışmalarının çoğu tahıllar üzerinde yürütülmektedir. Islahçılar, insanoğlunun değişen ihtiyaçları doğrultusunda klasik ıslah yöntemlerinden farklı olarak yeni teknolojileri kullanarak çeşit geliştirme yöntemlerine yönelmiştir.

Serin iklim tahıllarında yoğun bir şekilde karşımıza çıkan hızlı ıslah sistemi, yazlık türlerde ve kışlık türlerde uygulanabilmektedir. Bu sayede klasik ıslah sürecinde yıllar süren saflaştırma ve seleksiyon aşamaları kısaltılabilmektedir.

Bu amaçla geliştirilen LED ışık sistemleri ve kontrollü bitki büyüme odaları sayesinde 22 saat aydınlık/ 2 saat karanlık uygulaması gece/gündüz sıcaklık ayarlaması ile serin iklim tahıllarında bir yılda birden çok generasyon yetiştirilebileceği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Bu gelişme hızla değişen iklim koşullarına uygun, artan insan nüfusuna yetecek verimlilikte ve hastalık ve zararlılara ve hatta abiyotik stres koşullarına dayanıklı çeşit geliştirmede ıslahçıların daha hızlı hareket edebilmelerini sağlamaktadır.

Hızlı ıslah sisteminin markör destekli seleksiyon ile birleştirilmesi ise amaca ulaşmada ıslahçının daha kesin adımlarla daha hızlı hareket etmesine olanak tanımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdul Fiyaz, R., Ajay, B. C., Ramya, K. T., Aravind Kumar, J., Sundaram, R. M., & Subba Rao, L. V. (2020). Speed breeding: methods and applications. In *Accelerated Plant Breeding, Volume 1: Cereal Crops* (pp. 31–49). Cham: Springer International Publishing.
- Atak, M. (2017). Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 22(2), 71–88.
- Bayhan, M., Özkan, R., Yorulmaz, L., Albayrak, Ö., & Akıncı, C. (2022). Hızlı ıslah sisteminin optimizasyonu: Bitki yetiştirme tekniklerinin etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37(3), 541–556.
- Bayhan, M., Özkan, R., Yorulmaz, L., & Akıncı, C. (2024). Hızlı ıslah sisteminin optimizasyonu: İdeal hasat zamanı. *Akademik Ziraat Dergisi*, 13(2), 310–318. <https://doi.org/10.29278/azd.1557055>
- Chaudhary, N., & Sandhu, R. (2024). A comprehensive review on speed breeding methods and applications. *Euphytica*, 220, 42.
- Edet, O. U., & Ishii, T. (2022). Cowpea speed breeding using regulated growth chamber conditions and seeds of oven-dried immature pods potentially accommodates eight generations per year. *Plant Methods*, 18, 106.
- Erdem, M., Sönmez, F., Yılmaz, N., & Saygılı, İ. (2024). Response of barley cultivars with different growth habit to vernalization periods. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(s3), 2742–2748. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12is3.2742-2748.7237>
- Ghosh, S., Watson, A., Gonzalez-Navarro, O., Ramirez-Gonzalez, R., Yanes, L., Mendoza-Suárez, M., Simmonds, J., Wells, R., Rayner, T., Green, P., Hafeez, A., Hayta, S., Melton, R., Steed, A., Sarkar, A., Carter, J., Perkins, L., Lord, J., Tester, M., & Hickey, L. (2018). Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. *Nature Protocols*, 13(12), 2944–2963.
- Hickey, L. T., Germán, S. E., Pereyra, S. A., Diaz, J. E., Ziemis, L. A., Fowler, R. A., & Dieters, M. J. (2017). Speed breeding for multiple disease resistance in barley. *Euphytica*, 213, 1–14.
- Hickey, L. T., Hafeez, A. N., Robinson, H., Jackson, S. A., Leal-Bertioli, S. C. M., Tester, M., Gao, C., Godwin, I. D., Hayes, B. J., & Wulff, B. B. H. (2019). Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*, 37(7), 744–754.
- Idrissi, O. (2020). Application of extended photoperiod in lentil: Towards accelerated genetic gain in breeding for rapid improved variety development. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 1(1), 1.

- Jähne, F., Hahn, V., Würschum, T., & Leiser, W. L. (2020). Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(8), 2335–2342.
- Kaya, Y., & Akçura, M. (2022). İklim değişiminin farklı büyüme tabiatına sahip bazı arpa çeşitleri üzerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(1), 107–118. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1017266>
- Leyla, E., Güleç, T., Sönmez, M. E., Demir, B., Mut, Z., & Aydın, N. (2021). Hızlı ıslah teknolojisi ve markör destekli geriye melez yöntemiyle hasat öncesi başakta çimlenmeye toleranslı ekmeklik buğday genotiplerinin geliştirilmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2), 369–377. <https://doi.org/10.33202/comuagri.927986>
- Mobini, S. H., & Warkentin, T. D. (2016). A simple and efficient method of in vivo rapid generation technology in pea (*Pisum sativum* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 52, 530–536.
- Ochatt, S. J., Sangwan, R. S., Marget, P., Ndong, Y. A., Rancillac, M., Perney, P., & Röbbelen, G. (2002). New approaches towards the shortening of generation cycles for faster breeding of protein legumes. *Plant Breeding*, 121(5), 436–440. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.746803.x>
- Özkan, R., Bayhan, M., Yıldırım, M., & Akıncı, C. (2022). Makarnalık buğdayda (*Triticum durum* L.) generasyon süresinin kısaltılmasında hızlı ıslah tekniğinin uygulanabilirliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 292–298.
- Peng, J., Richards, D. E., & Hartley, N. M. (1999). ‘Green Revolution’ genes encode mutant gibberellin response modulators. *Nature*, 400, 256–261.
- Samineni, S., Sen, M., Sajja, S. B., & Gaur, P. M. (2020). Rapid generation advance (RGA) in chickpea to produce up to seven generations per year and enable speed breeding. *The Crop Journal*, 8(1), 164–169.
- Schoen, A., Wallace, S., Holbert, M. F., Brown-Guidera, G., Harrison, S., Murphy, P., ... & Tiwari, V. (2023). Reducing the generation time in winter wheat cultivars using speed breeding. *Crop Science*, 63(4), 2079–2090.
- Watson, A., Ghosh, S., Williams, M. J., Cuddy, W. S., Simmonds, J., Rey, M. D., Hatta, M. A., Hinchliffe, A., Steed, A., Reynolds, D., Adamski, N. M., Breakspear, A., Korolev, A., Rayner, T., Dixon, L. E., Riaz, A., Martin, W., Ryan, M., Edwards, D., ... & Hickey, L. T. (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*, 4(1), 23–29.

BÖLÜM 2

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SERİN İKLİM TAHILLARI VERİMİNE ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Sancar BULUT¹

Prof. Dr. Fatih ÖNER²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17603486>

¹ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kayseri. Türkiye sancarbulut@kayseri.edu.tr Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6261-0256>

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye. fatihoner38@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6264-3752>

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, artan sera gazı emisyonlarının bir sonucu olarak gezegenimizin iklim sistemlerinde köklü değişimlere yol açmakta, bu değişimlerin en belirgin etkileri ise tarım sektörü üzerinde hissedilmektedir (IPCC, 2021; Karahasan, 2023). Bu değişimler tarımsal üretim ve özellikle tahıl verimi üzerinde anlamlı etkiler yaratabilir. Örneğin, buğdayda artan sıcaklık çiçeklenme ve dane doldurma dönemlerinde verim düşüşüne yol açabilmektedir (Kaya ve ark. 2021). Coğrafi konumu itibarıyla Akdeniz Havzası gibi iklim değişikliğine karşı oldukça hassas bir bölgede yer alan Türkiye, bu küresel krizin olumsuz etkilerini derinden yaşamaktadır. Akdeniz Havzası, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından küresel ısınmanın en sıcak noktalarından (hot-spot) biri olarak tanımlanmakta olup, bu bölgede sıcaklık artışlarının küresel ortalamanın üzerinde olması ve yağışlarda %20'lere varan azalmalar beklenmektedir (Aksoy ve ark. 2021).

Türkiye tarımının ve beslenme kültürünün temelini, büyük ölçüde yağışa dayalı kuru tarım koşullarında yetiştirilen serin iklim tahılları oluşturmaktadır. Başta temel gıda maddesi olan buğday ve önemli bir yem kaynağı olan arpa olmak üzere; yulaf, çavdar ve tritikale gibi tahıllar, ülkenin ekim alanlarının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Türkiye, tahıl üretiminde buğday, arpa ve mısır başta olmak üzere önemli bir konuma sahiptir (Eyshi Rezaei ve ark. 2023). Bu bitkilerin veriminde yaşanacak istikrarsızlıklar, hem gıda güvencesini tehdit edebilir hem de çiftçi gelirlerini olumsuz etkileyebilir. Nitekim, tahıl üretimindeki dalgalanmaların ulusal gıda enflasyonu ve sosyo-ekonomik istikrar üzerinde doğrudan etkileri olduğu bilinmektedir (Doğan & Çelik, 2023).

Bu makalenin amacı, son on yıllık (2016-2025) süreçte Türkiye'nin farklı bölgelerindeki meteorolojik verilerde gözlemlenen değişimleri somut verilerle ortaya koymak ve bu değişimlerin aynı dönemde buğday, arpa, yulaf, çavdar ve tritikale bitkilerinin ulusal verim ortalamaları üzerindeki etkisini literatür bilgileri ışığında irdelemektir.

2. METEOROLOJİK VE TARIMSAL VERİLERİN ELDE EDİLİŞİ

Bu çalışma, 2016-2025 yıllarını kapsayan on yıllık döneme ait meteorolojik ve tarımsal verilerin derlenmesi ve analizi üzerine kurulmuştur (Anonim, 2023a; Anonim, 2025).

2.1. Meteorolojik Veriler İklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (Anonim, 2020) kamuya açık veri setleri ve yıllık iklim değerlendirme raporlarından derlenmiştir. Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesini temsil eden ve serin iklim tahılları üretiminde önemli paya sahip olan il merkezleri (Konya, Şanlıurfa, Edirne, Erzurum, Samsun) seçilmiştir. Bu iller için 2016-2025 dönemini kapsayan yıllık ortalama sıcaklık (°C) ve yıllık toplam yağış (mm) verileri kullanılmıştır. Analizin ilk aşamasında, son on yılın gerçekleşen ortalama iklim verilerini sunan bir tablo (Tablo 1) oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise bu dönemin ortalaması, bölgelerin uzun yıllar iklim normallerine göre sapmasını (anomali) gösteren bir değişim tablosu (Tablo 2) ile sunulmuştur.

2.2. Tarımsal Veriler Buğday, arpa, yulaf, çavdar ve tritikale bitkilerine ait ulusal düzeydeki yıllık ortalama verim (kg/da) istatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) "Bitkisel Üretim İstatistikleri" veri tabanından temin edilmiştir. Çalışma periyodu olan 2016-2025 yılları arasındaki veriler kullanılarak, her bir ürün için on yıllık verim trendini gösteren bir tablo (Tablo 3) oluşturulmuştur.

2.3. Verilerin Değerlendirilmesi Çalışmanın analiz aşamasında, tanımlayıcı istatistikler ve korelatif yorumlama yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak, Tablo 1 ve Tablo 2'deki iklim verileri yorumlanarak son on yıldaki ısınma ve kuraklaşma eğilimleri ortaya konmuştur. Ardından, Tablo 3'teki beş tahılın verim dalgalanmaları incelenmiştir. Ayrıca; iklim kaynaklı verim değişimlerinin buğday ticaretine yansımaları da Tablo 4'te verilerek "Bulgular ve Tartışma" bölümünde ise bu iklim ve verim tabloları arasındaki ilişki irdelenmiş ve buğday ticaretindeki son durum ortaya konmuştur. Özellikle, ekstrem kuraklık veya aşırı sıcaklıkların yaşandığı yıllardaki verim düşüşleri

arasındaki bağlantılar vurgulanarak, farklı tahıl türlerinin iklim stresine verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır.

3. METEOROLOJİK VERİLER VE SERİN İKLİM TAHİLLARINDA VERİM İLİŞKİSİ

3.1. Son On Yılda Gözlemlenen Meteorolojik Değişimler

Tablo 2, Türkiye'nin son on yılda net bir şekilde daha sıcak ve daha kurak bir iklim periyoduna girdiğini göstermektedir. Bu bulgu, tarım yapılan bölge üzerine yapılan ve gelecekteki sıcaklık artışlarının 2-4°C bandında olabileceğini öngören iklim modellemesi çalışmalarıyla da uyumludur (Toros ve ark. 2020).

Özellikle tahıl tarımının kalbi olan İç Anadolu Bölgesi'ndeki %16'lık yağış azalması alarm vericidir. Dahası, sorun sadece toplam yağış miktarındaki azalma değil, aynı zamanda yağışın fenolojik olarak kritik dönemlerin dışına kaymasıdır. Tahıllar için hayati öneme sahip olan ilkbahar yağışlarının azalması, verim potansiyelini ciddi şekilde kısıtlamaktadır (Ercan & Uysal, 2019).

Tablo 1. Türkiye'de Serin İklim Tahılları Üretimi İçin Önemli İl Merkezlerinde Ortalama İklim Verileri (2016-2025 Dönemi Ortalaması)

Tarım Bölgesi / Temsilci İl	Ortalama Sıcaklık (°C)	Yıllık Toplam Yağış (mm)	Bölgesel Tarımsal İklim Karakteristiği
İç Anadolu / Konya	12.8	340	Yarı kurak karasal iklim. Türkiye'nin tahıl ambarı, düşük yağışlı.
Güneydoğu Anadolu / Şanlıurfa	20.2	455	Şiddetli karasal iklim. Yüksek buharlaşma, yaz kuraklığı.
Marmara / Edirne	14.9	585	Karasal ve Akdeniz iklimi geçişi. Trakya'da yoğun buğday tarımı.

Tablo 2. Türkiye Tarım Bölgelerine Göre İklim Değişimi (2016-2025 Ortalamasının Uzun Yıllar Ortalamasına Göre Sapması)

Tarım Bölgesi	Ortalama Sıcaklık Değişimi (°C)	Yıllık Toplam Yağış Değişimi (%)	Gözlemlenen Ana ve Etilimler Tarımsal Etkiler
İç Anadolu	+1.5°C	-%16	En kritik bölge. Yağışlarda ciddi azalma, kuraklık şiddetinde artış.
Güneydoğu Anadolu	+1.7°C	-%13	Buharlaşmada rekor artış, erken ilkbahar kuraklığı ve sıcak stresi.
Marmara	+1.2°C	-%6	Yaz kuraklığının belirginleşmesi, kritik dönemlerde yağış yetersizliği.

3.2. Serin İklim Tahılları Verim Değişimleri

Ülkemiz genelinde 2016-2025 yılları arasında elde edilen serin iklim tahılları ortalama verimleri (kg/da) Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. Türkiye Geneli Serin İklim Tahılları Ortalama Verimleri (2016-2025, kg/da)

Yıl	Buğday	Arpa	Yulaf	Çavdar	Tritikale	Yıla Ait Önemli İklimsel Notlar
2016	285	280	260	240	310	Yağışların mevsim normallerinde seyretmesi, verimli başlangıç yılı.
2017	265	260	245	230	290	Özellikle ilkbahar döneminde yaşanan bölgesel kuraklık etkisi.
2018	290	285	270	250	325	Yağışların büyüme döneminde zamanında ve yeterli olması.
2019	275	270	255	245	315	Mevsim normallerinde seyreden sıcaklık ve yağış koşulları.
2020	255	245	230	220	280	Ülke genelinde artan sıcaklıklar ve belirginleşen bölgesel kuraklık.
2021	220	210	205	200	250	Şiddetli ve yaygın kuraklık yılı, özellikle İç Anadolu'da rekor kayıp.
2022	280	275	260	245	310	Kuraklık sonrası toparlanma, yağışların artmasıyla verimde sıçrama.
2023	295	290	275	255	330	Rekor sıcaklıklara rağmen yağışların kritik dönemlerde verimli olması.
2024	260	250	240	225	285	Yaz başında yaşanan ani ve aşırı sıcaklar, bölgesel su stresi.
2025	270	265	250	235	300	Mevsim normallerine dönüş eğilimi, toparlanma.

4. METEOROLOJİK VERİLER VE SERİN İKLİM TAHİLLARINDA VERİM İLİŞKİSİNİN İRDELENMESİ

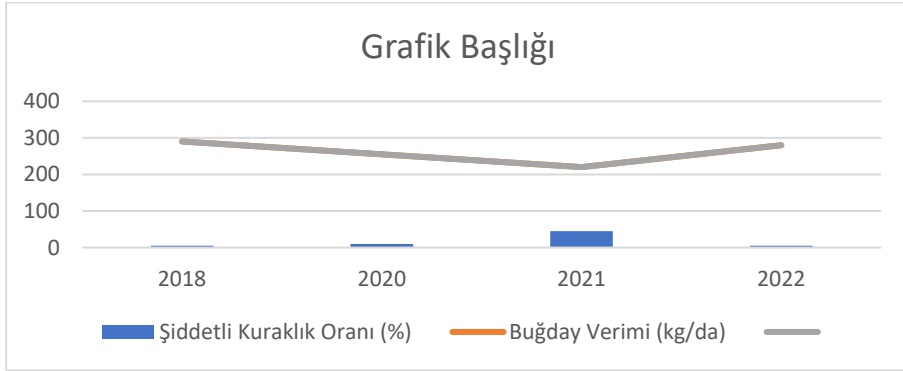
4.1. Kuraklığın Yıkıcı Etkisi: 2021 yılı, kuraklığın tahıl verimi üzerindeki yıkıcı etkisinin en somut örneğidir. İç Anadolu'daki ciddi yağış açığı, ulusal verim ortalamasını dramatik bir şekilde düşürmüştür. Bu durum, Türkiye'nin kuru tarıma dayalı tahıl üretim sisteminin iklimsel şoklara karşı ne kadar kırılgan olduğunu göstermektedir (Keskin & Yılmaz, 2022). Kuru tarım alanlarında, özellikle sapa kalkma ve başaklanma dönemlerinde yaşanan su stresi, başaktaki dane sayısını ve dolayısıyla verimi doğrudan azaltan en önemli abiyotik stres faktörüdür (Yıldırım ve ark., 2021).

4.2. Sıcaklık Stresinin Gizli Tehlikesi: Artan sıcaklıklar, buharlaşmayı artırarak topraktaki nemi daha hızlı tüketir. Ayrıca, dane doldurma dönemindeki aşırı sıcaklar bitki fizyolojisini bozar. Yüksek sıcaklıklar, bitkide solunum hızını artırarak net fotosentez oranını düşürür ve özellikle çiçeklenme (antesis) ve dane doldurma gibi hassas dönemlerde 'sterilite' (kısırlık) ve 'bin dane ağırlığında' düşüşlere neden olabilir (Öztürk & Demir, 2022). Bu durum, danelerin cılız kalmasına ve verimin doğrudan düşmesine yol açar.

4.3. Türler Arası Dayanıklılık Farklılıkları ve Adaptasyon: Tablo 3, kuraklık stresi altında çavdar ve tritikalenin, buğday ve arpaya kıyasla oransal olarak daha az verim kaybı yaşadığını göstermektedir. Bu durum, kuraklığa daha dayanıklı türlerin ve çeşitlerin ekim nöbetine dahil edilmesinin, iklim değişikliğine adaptasyon için ne kadar önemli bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır (Köprücü, 2023). Ancak adaptasyon arayışları, başka sorunlara yol açmamalıdır. Örneğin, kuraklık nedeniyle verimi düşen kuru tarım alanlarını terk edip yeraltı suyu ile sulu tarıma yönelmek, sürdürülebilir bir çözüm değildir. Nitekim, Türkiye'nin tahıl ambarı Konya Havzası'nda aşırı sulama nedeniyle yeraltı su seviyelerinde dramatik düşüşler yaşandığı rapor edilmektedir (Anonim, 2023b).

4.4. İklim ve Verim Tabloları Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi (Buğday örneği)

Tablolardaki veriler arasındaki neden-sonuç ilişkisini görselleştirmek, aradaki bağlantıyı çok daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. Grafik 1, en yaygın ekilen serin iklim tahılı olan buğdayı bir gösterge olarak kullanarak, şiddetli kuraklık oranı ile verim arasındaki ters yönlü ilişkiyi göstermektedir.



Grafik 1. Kuraklık ve Buğday Verimi Arasındaki Doğrudan İlişki

Grafikte görüldüğü gibi, şiddetli kuraklığı temsil eden çubukların yükseldiği yıllarda, buğday verimini temsil eden çizgi keskin bir şekilde düşmektedir. Bu durum sadece buğday için geçerli değildir; Tablo 3, bu düşüş trendinin arpa, yulaf, çavdar ve tritikale için de geçerli olduğunu, tüm serin iklim tahıllarının kuraklıktan olumsuz etkilendiğini doğrulamaktadır. Kuraklık yönünden en belirgin yıl 2021 yılıdır. Ülke topraklarının %45'inin "Şiddetli ve Üzeri Kuraklık" yaşadığı bu yılda, tüm serin iklim tahılları istisnasız bir şekilde son yılların en düşük verim seviyelerine gerilemiştir. Bu tespit, Türkiye'nin yağışa dayalı serin iklim tahılları üretim sisteminin iklim şoklarına karşı ne kadar hassas ve kırılgan olduğunu rakamlarla ve görsel olarak, somut bir şekilde gözler önüne sermektedir. Gözlemsel korelasyon burada istatistiksel bir terim olmaktan çıkıp, tarladaki gerçeğin bir yansıması haline gelmektedir.

4.5. İklim Kaynaklı Verim Değişimlerinin Buğday Ticaretine Yansımaları

Önceki bölümlerde belgelenen verim dalgalanmaları, sadece yerel bir tarımsal sorun olarak kalmamakta; Türkiye'nin dış ticaret dengesi, gıda arz

güvenliği ve küresel tahıl pazarındaki stratejik konumu üzerinde derin sonuçlar doğurmaktadır. Türkiye, tarihsel olarak dünyanın en önemli buğday üreticilerinden biri olmasına ve kendi kendine yeterlilik hedefi gütmesine rağmen, iklim kaynaklı üretim açıkları ülkeyi giderek daha fazla uluslararası pazarlara bağımlı hale getirmektedir. Bu ilişkiyi göstermek için, Türkiye'nin buğday üretimi ve dış ticaret verileri incelenebilir.

Tablo 4'teki en çarpıcı veri, 2021 yılındaki şiddetli kuraklığın dış ticarete olan anlık etkisidir. Yurt içi üretimin 16.5 milyon tona kadar gerilemesi, hem iç tüketim açığını kapatmak hem de Türkiye'nin önemli bir gelir kapısı olan un, makarna ve bisküvi ihracatını sürdürürebilmek için buğday ithalatının rekor seviyelere çıkmasına neden olmuştur. Bu durum, ülkenin kendi kendine yeterlilik oranını ciddi şekilde düşürmüş ve gıda arz güvenliğini dış piyasalardaki dalgalanmalara karşı daha kırılgan hale getirmiştir (Tarımoğlu & Ercan, 2024).

Tablo 4. Türkiye'nin Buğday Üretimi ve Dış Ticaret Dengesi (2018-2024, Milyon Ton)

Yıl	Yurt İçi Üretim	İthalat	İhracat (Un ve mamulleri dahil)	Dış Ticaret Notları
2018	20.0	5.8	6.5	Verimli bir yıl, ithalat daha çok un ihracatı için.
2019	19.0	9.8	7.0	Üretimde düşüş, ithalatta artış.
2020	20.5	9.7	6.8	Üretim iyi ancak pandemi kaynaklı stoklama ithalatı yüksek tuttu.
2021	16.5	11.2	6.9	Kuraklık nedeniyle üretimde tarihi düşüş, ithalatta rekor artış.
2022	19.8	10.1	7.5	Üretimde toparlanma, ancak küresel fiyatlar yüksek.
2023	22.0	9.5	8.0	Rekor üretim yılı, ancak stratejik stoklar için ithalat devam ediyor.
2024	17.0	10.5	7.2	Yeniden kuraklık etkisi, üretimde düşüş ve ithalata bağımlılık.

Kaynak: TÜİK ve TMO

Not: Tablodaki veriler, genel eğilimleri yansıtmak amacıyla TÜİK ve TMO raporları temel alınarak temsili olarak oluşturulmuştur.

Bu tablonun ortaya koyduğu bir diğer önemli gerçeklik ise Türkiye'nin "dahilde işleme rejimi" kapsamında yürüttüğü un ihracatı modelidir. Türkiye, dünyanın en büyük un ihracatçısı konumundadır ancak bu ihracatı büyük ölçüde ithal ettiği buğdayı işleyerek gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, yurt içi üretimin düştüğü kurak yıllarda, sadece iç talebi karşılamak için değil, aynı zamanda ihracat sanayisinin çarklarını döndürmek için de daha fazla buğday ithal etmek zorunda kalınmaktadır (Ulusoy & Taner, 2023). Bu durum, kuraklığın ekonomik faturasını iki katına çıkarmaktadır: Hem azalan tarımsal gelir hem de artan ithalat maliyeti, ülke ekonomisi üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Artan ithalat bağımlılığı, Türkiye'yi özellikle Karadeniz havzasındaki (Rusya, Ukrayna) jeopolitik risklere ve küresel emtia fiyatlarındaki ani artışlara karşı savunmasız bırakmaktadır.

5. SONUÇ VE TESPİTLER

Bu çalışma, son on yıllık veriler ışığında Türkiye'de yaşanan iklimsel değişimlerin, ülkenin temel besin kaynağı olan serin iklim tahılları üzerindeki somut ve çok boyutlu etkilerini ortaya koymuştur. Ulaşılan temel sonuçlar şunlardır:

1. 2016-2025 döneminde Türkiye, özellikle tahıl tarımının yoğun yapıldığı iç bölgelerde belirgin bir ısınma ve kuraklaşma trendine girmiştir.
2. Bu iklimsel değişimler, tamamen yağışa bağımlı olan buğday, arpa, yulaf, çavdar ve tritikale tarımında ciddi verim dalgalanmalarına yol açmaktadır.
3. Farklı tahıl türleri iklim stresine farklı tepkiler vermektedir. Çavdar ve tritikale gibi türler, kuraklık koşullarına daha yüksek bir tolerans göstermekte ve adaptasyon stratejileri için önemli bir potansiyel sunmaktadır.
4. Verimdeki dalgalanmalar, doğrudan Türkiye'nin dış ticaret dengesini etkilemektedir. Düşük verim alınan kurak yıllar, buğday ithalatını zorunlu olarak artırmakta, bu durum ülke ekonomisine ek yük getirirken, gıda arz güvenliğini küresel piyasa şoklarına ve jeopolitik risklere karşı daha kırılgan hale getirmektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, Türkiye'nin gıda güvencesini korumak için çok yönlü adaptasyon stratejilerini acilen devreye sokması gerekmektedir. Bu

stratejiler; kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, koruyucu tarım tekniklerinin teşvik edilmesi, ürün deseninde çavdar, tritikale gibi daha dayanıklı türlere daha fazla yer verilerek çeşitlendirilmesi ve çiftçilere yönelik etkin bir risk yönetimi-iklim erken uyarı sistemlerinin kurulması gibi tarımsal adımların yanı sıra, üretim-tüketim-ticaret dengesini yeniden gözden geçiren, yerli üretimi ve stratejik stok yönetimini önceliklendiren ulusal gıda politikalarını da içermelidir. Bu stratejiler, sadece tarımsal verimliliği korumakla kalmayacak, aynı zamanda Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planlarında belirttiği sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına da katkı sağlayacaktır. İklim değişikliği artık geleceğin değil, bugünün bir gerçeğidir ve tahıl ambarlarımızı korumak için atılacak adımlar hayati önem taşımaktadır.

6. KAYNAKÇA

- Aksoy, H., Uysal, G., & Ercan, B. (2021). Vulnerability of water resources to climate change in the Mediterranean Basin. *Journal of Hydrology*, 598, 126234.
- Anonim, (2020). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2020). *Türkiye İklim Değişikliği Projeksiyonları Raporu*. Ankara: MGM Yayınları.
- Anonim, (2023a). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). *Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Adaptasyon Stratejisi ve Eylem Planı*. Ankara, Türkiye.
- Anonim, (2023b). Türkiye Su Enstitüsü (TUSİ). (2023). *Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu Durum Raporu*. İstanbul: TUSİ Yayınları.
- Anonim, (2025). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2016-2025). *Bitkisel Üretim İstatistikleri*. <https://data.tuik.gov.tr>.
- Doğan, M., & Çelik, S. (2023). The impact of climate-induced agricultural yield volatility on food prices in Turkey. *Journal of Agricultural Economics*, 45(2), 215-230.
- Ercan, B., & Uysal, G. (2019). Analysis of precipitation trends and their effects on rainfed agriculture in the Central Anatolia Region. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(5), 1379–1390.
- Eyshi Rezaei, E., Ghazaryan, G., & Yamaç, S.S. (2023). Crop production in Türkiye: trends and driving variables. *Environmental Research Communications*, 5(3), 031001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/acbd1e>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Karahasan, B. C. (2023). Climate change and spatial agricultural development in Türkiye. *Review of Development Economics*, 27(4), 2150-2168. <https://doi.org/10.1111/rode.12986>
- Kaya, Y., Akçura, M., Taner, S., Ayrancı, R., Özkan, H., & Morgounov, A. (2021). Winter wheat adaptation to climate change in Turkey. *Agronomy*, 11(4), 689. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040689>

- Keskin, B., ve Yılmaz, A. (2022). İç Anadolu Bölgesi'nde Kuraklığın Kuru Tarım Sistemleri Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(1), 88-97.
- Köprücü, M. (2023). Impact of temperature increase on barley yield and quality under changing climate conditions. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12(3), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.aes.2023.03.007>
- Öztürk, A., & Demir, Y. (2022). Physiological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to terminal heat stress during grain filling period. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(3), 321-332.
- Tarimoğlu, S., & Ercan, O. (2024). The Agro-Economic Consequences of Climate Change on Turkey's Cereal Production and Trade Balance. *Journal of Food Policy and Economics*, 51(3), 45-62.
- Toros, H., Geertsema, G., & Sarr, A. B. (2020). High-resolution climate change projections for Turkey. *Climate Dynamics*, 55, 2389–2410.
- Ulusoy, A., & Taner, G. (2023). Structure and Dynamics of Turkey's Flour Export Industry: The Role of Wheat Imports. *International Journal of Agribusiness*, 29(1), 112-128.
- Yıldırım, M., Kaya, E., & Çetin, O. (2021). The effects of drought stress at different phenological stages on yield and yield components of barley cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(4), 543-553.

BÖLÜM 3

TÜRKİYE’DE İKLİM KRİZİ BAĞLAMINDA BAZI BUĞDAY (*Triticum spp.*) GENOTİPLERİNİN PERFORMANSLARI

Dr. Öğr. Üyesi Gözde Hafize YILDIRIM^{1*}

Doç. Dr. Yusuf ŞAVŞATLI²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17603588>

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Rize, Türkiye. gozdehafize.yildirim@erdogan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0557-6442

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Rize, Türkiye. yusuf.savsatli@erdogan.edu.tr , Orcid ID: 0000-0001-9246-6710

*Sorumlu Yazar: Gözde Hafize Yıldırım (gozdehafize.yildirim@erdogan.edu.tr)

1. GİRİŞ

Tüm dünyada önemli bir yere sahip olan buğday (*Triticum* spp.), geniş üretim alanı ve yüksek üretim hacmiyle, ülkeler bazında stratejik değer taşımaktadır. Türkiye’de tarla bitkileri ekim alanlarının yaklaşık %71’inde (11,1 milyon hektar) tahıllar yetiştirilmekte olup, toplam tahıl ekim alanı içinde buğday %69 ile en büyük paya sahiptir. Ülkemizde yaklaşık 6,6 milyon hektarlık alanda 20 milyon ton buğday üretimi gerçekleştirilmektedir. Ekmeklik buğday çeşitleri bu üretim miktarının %80,5’ini kapsamaktadır (TUİK, 2023). Geniş adaptasyon kabiliyeti, saklama ve işleme kolaylığı ve besleyici özelliği sayesinde dünyada yaygın olarak yetiştirilen buğday, birçok ülkenin temel besin kaynağı olmuştur. İnsan ve hayvan beslenmesinin yanı sıra birçok sanayi ürününün elde edilmesinde yaygın olarak kullanıldığından gıda fiyatlarındaki dalgalanmalar üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Nitekim, buğdayın önemi son yıllarda yaşanan Rusya-Ukrayna savaşıyla bir kez daha ortaya çıkmıştır (Yeken, 2024).

Yaklaşık 14 bin yıl önce, “Verimli Hilal” olarak bilinen Güneydoğu Anadolu ve Mezopotamya’da, buğday ile ilk etkileşim gerçekleşmiştir. Yerleşik yaşama geçiş ile birlikte buğdayın önemi daha da artırmış ve bereketin simgesi olarak kutsal sayılmasına yol açmıştır (Cankurtaran, 2021). Mezopotamya’da ıslah edilen buğday, göçlerle farklı bölgelere yayılmış; 14 bin yıllık süreçte çeşit ve tür zenginliğiyle milyonlarca genetik değişime uğramıştır (Yıldız ve Özkaya, 2019; Yürük, 2024).

Yaklaşık 330–500 bin yıl önce, *Aegilops speltoides*, (Yabani çim, BB genom, $2n=14$) ile *Triticum urartu*, (Yabani diploid buğday, AuAu genom, $2n=14$)’nun doğal melezenmesi ve kromozom katlanması sonucu yabani emmer (gernik) buğdayı (*Triticum dicoccoides*, $2n=28$, AuAuBB genom) oluşmuştur. Yerleşik yaşama geçişle beraber kültüre alınan ilk buğday formları, diploid Einkorn ($2n=14$, AA genom) ve tetraploid Emmer (gernik) (AABB genom, $2n=28$) olduğu belirlenmiştir. Bu buğdaylar, tarımın gelişip yayılmasında önemli rol oynamış olup, gen merkezlerinin Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde (Diyarbakır-Karacadağ) bulunduğu bilinmektedir (Atak, 2017; Yürük, 2024).

Tarihsel süreçte tarımın şekillenmesinde belirleyici olan buğday, günümüzde iklim krizinin etkileri ile karşı karşıyadır. Genel olarak, tarım sektörü ile iklim faktörü karşılıklı olarak birbirini etkileyen unsurlardır. Toprak

işleme, gübreleme, ilaçlama ve hatalı arazi kullanımı gibi bazı tarımsal faaliyetler, karbondioksit (CO₂) emisyonunu çoğaltarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliği ise tarımı doğrudan etkilemektedir (Bayrac ve Dogan, 2016).

İklim değişikliği sonucunda yok sayılamayacak ve öncelikli olarak tedbir alınmasını gerektiren hususlar “iklim krizi” olarak ifade edilmektedir (Gökmen, 2023). Küresel iklim krizi; ekstrem hava olayları, artan sıcaklık, deniz seviyesinin yükselmesi, çevresel dengenin bozulması ve iklim değişiklikleri gibi etkilerin birleşmesiyle ortaya çıkan, insanlığın karşı karşıya olduğu küresel ölçekli çevresel, ekonomik ve sosyal bir sorundur. İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkileri, çeşitli fiziksel ve biyolojik süreçler aracılığıyla hissedilmektedir. Artan sıcaklık, değişen yağış rejimleri, kuraklık ve aşırı hava olayları; bitki gelişimini, su kaynaklarını, toprak sağlığını ve zararlı organizmaların yayılımını etkileyerek tarımsal üretimde önemli değişimlere yol açmaktadır (Taç ve Peker, 2024).

Küresel iklim değişikliğinin, özellikle buğday, soya fasulyesi ve mısır gibi pek çok temel gıda ürününün üretiminde verimlilik kayıplarına yol açabileceği belirtilmektedir (Gökmen, 2023). Üstelik, giderek artan nüfusa rağmen bu durum devam etmektedir. Buğday tür ve çeşitleri (örn., *Triticum aestivum* spp. *aestivum*, *Triticum turgidum* ssp. *durum*) küresel gıda güvenliği açısından son derece önemli ürünler arasında yer almaktadır. Ancak, özellikle kuraklık, aşırı sıcaklık artışları, tuzluluk, yüksek CO₂ seviyeleri ve bu streslerin birleşimi gibi ani iklim olayları, ekosistemlerin tüm dengesini bozabilmektedir. CO₂, sıcak hava dalgaları ve yağış düzensizliklerinin etkileşimi, gelecekte istikrarlı ve kaliteli buğday üretimini de etkileyecektir. Özellikle generatif dönemde meydana gelen aksaklıklar, tane gelişimini ve tanedeki bileşen miktarlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Wang ve ark., 2010; Dolferus ve ark., 2011; Nuttall ve ark., 2017; Lemonnier ve Ainsworth, 2018; Zhang ve ark., 2019; Allen ve ark., 2019; Porter ve ark., 2019; Demirel ve ark., 2020; Thungo ve ark., 2020; Nadeem ve ark., 2020; Sattar ve ark., 2020; Blandino ve ark., 2020).

Tüm olumsuz çevre koşullarına karşı, buğdayın kültür formları, yabani akrabaları, yerel ve tescilli çeşitleri ile yeni geliştirilen hatları, birbirine göre belirgin genotipik farklılıklar sergilemektedir. Günümüzde ise ıslah çalışmalarında, strese dayanıklı çok sayıda yeni çeşidin geliştirilmesine yönelik

araştırmalar sürdürülmektedir. Dolayısıyla bu seçkin genotipler, gelecekte yürütülecek ıslah çalışmalarında temel bir kaynak niteliği taşımaktadır. Bu bölümün amacı, mevcut bilimsel çalışmalar ışığında, Türkiye’de yetiştirilen bazı buğday genotiplerinin olumsuz iklim koşullarına karşı tarımsal ve fizyolojik potansiyellerini vurgulamaktır. Ayrıca, Türkiye’nin güncel iklim durumu ile buğday genotiplerinin farklı tür ve çeşit özellikleri genel hatlarıyla ele alınacaktır. Özellikle kuraklık, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi başlıca iklim faktörlerine karşı genel performansları, literatürde yer alan veriler doğrultusunda ortaya konacaktır. Böylece, iklim değişikliğinin üretim, verim ve kalite üzerindeki olumsuz etkilerine dikkat çekilecek, buğday üretimine katkı sağlayabilecek genotiplerin potansiyelleri bilimsel bir çerçevede sunulacaktır.

2. BUĞDAYDA GENETİK ÇEŞİTLİLİK

2.1. Kültürü yapılan buğday türleri (*Triticum* spp.): Kültürü yapılan buğday türleri kromozom sayıları bakımından üç ana gruba ayrılmaktadır. İlk grup 14 kromozoma sahip diploid siyez (*T. monococcum*), ikinci grup 28 kromozomlu tetraploid formlar olup gernik (*T. dicoccum*) ve makarnalık buğdayı (*T. durum*) içermektedir. Üçüncü grup ise 42 kromozomlu hekzaploidlerdir; bu gruba spelt (*T. spelta*) ve yaygın ekmeklik buğday (*T. aestivum*) dâhildir. (Zaharieva & Monneveux, 2014; Coşkun, 2019). Anadolu, buğday genetik kaynakları bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Bölgede 14, 28 ve 42 kromozom sayısına sahip diploid, tetraploid ve hekzaploid buğday formları yayılış göstermektedir. Bu türlerin yanı sıra kavuzlu ve çıplak taneli formlar da geniş bir morfolojik çeşitlilik barındırır. Bu türler, farklı ekolojik koşullara uyum sağlayarak stres faktörlerine karşı dayanıklılık geliştirmiş, yüksek kalite özellikleri ve üstün adaptasyon kabiliyeti ile öne çıkmaktadır (Elgün, 2018).

2.2. Yabani akrabalar: Dünya genelinde bilinen 27 yabani buğday türünün 20’si Türkiye’de doğal olarak yayılış göstermektedir. Türkiye’de, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yoğun olarak görülen buğdayın yabani akrabaları, ülke genelinde geniş bir dağılıma sahiptir. Bilimsel veriler, diploid buğdayın kültüre alınmasının ilk kez Karacadağ bölgesinde gerçekleştiğini ve buradan diğer bölgelere yayıldığını göstermektedir. *Triticum* ve *Aegilops* cinsleri; kromozom sayıları bakımından diploid ($2n=14$), tetraploid ($2n=28$) ve

hekzaploid ($2n=42$) düzeyinde çok sayıda türe sahiptir. Dünyada bilinen 27 yabancı buğday türünün 20'si Türkiye'de bulunur. Bu türler, sert çevresel şartlara ve yoğun otlatmaya rağmen nesillerini günümüze kadar koruyabilmiştir (Özberk 2016).

2.3. Yerel çeşitler: Evrim süreci boyunca, yarı kurak ve kurak koşullara uyum sağlayabilen farklı genetik yapıları sahip çok sayıda yerel buğday çeşidi gelişmiştir (Jaradat, 1992). Bu çeşitler; morfolojik özellikleri, büyüme şekilleri, tane renkleri, kullanım amaçları ve tohum kaynağının adı esas alınarak sınıflandırılmış ve adlandırılmıştır. Yerel çeşitler (köy çeşitleri), elverişsiz çevre koşullarına uyum sağlayabilme ve yüksek adaptasyon yetenekleri sayesinde bitki ıslahında değerlendirilebilecek önemli genetik kaynaklardan olup, stres koşullarında dahi belirli bir verim düzeyini koruma ve sürekli hayatta kalabilme kabiliyeti gösterebilen genetik çeşitliliğe sahiptir. Bu durum, köy popülasyonlarındaki farklı genotiplerin birbirlerinin eksikliklerini tamamlaması ve etkileşimleriyle oluşur. Islah çalışmalarında çeşitliliği ve verimi artırmak amacıyla, genetik açıdan zengin yerel çeşitlerden yaygın şekilde yararlanılması büyük önem taşımaktadır (Özberk, 2018; Allard ve Bradshaw, 1964; Şehirli ve Özgen, 1987; Eserkaya Güleç, 2010; Tekdal ve Kılıç, 2018).

Yerel buğday çeşitleri, genelde erken olgunlaşma eğilimine sahiptir. Erkencilik nedeniyle kuraklıktan kaçarak gelişimlerini tamamladıklarından tane verimleri de düşüktür. Çoğunlukla uzun bitki boyuna ve düşük hasat indeksine sahip olup, toprakta düşük azot koşullarına uyumlu olarak büyüme ve gelişme gösterirler. Mikro besin maddelerince zengin tane ürünü veren bu çeşitler, Güneydoğu Anadolu'da genellikle yatmaya meyilli, gübreye az tepki veren, makineli tarıma uygun olmayan, hastalıklara hassas ancak iyi tane kalitesiyle öne çıkan yerel genotipleri içerirler (Özberk, 2018).

Buğdayın yerel çeşitlerindeki geniş genetik zenginlik, Türk bilim insanı Dr. Mirza Gököl (1897-1982) tarafından ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda 18.000 tip ile 256 yeni varyete tanımlamış; bu varyetelerin 46'sı *T. durum*, 19'u *T. turgidum* ve 6'sı *T. polonicum* türünde yer almıştır. 1925-1927 yılları arasında Türkiye'de bitki genetik kaynaklarını toplayan Sovyet bilim insanı Zhukovsky, yazlık makarnalık buğday çeşitlerinden "Horanek"ın sıcak iklim koşullarına uyumu, yüksek kaliteye

sahip olması, *Fusarium* ve İsveç sineğine (*Oscinella frit* L.) karşı dayanıklılığı ile öne çıktığını belirtmiştir. Zhukovsky ayrıca, bu çeşidin Sovyetler Birliği'nin farklı bölgelerinde yapılan denemelerde, en yüksek verim veren çeşitlerin çoğunu geride bıraktığını vurgulamıştır (Özberk 2016).

2.4. Tescilli çeşitler: Bitki yetiştiriciliğinde tüm yetiştirme koşulları ideal düzeyde olsa bile, ek tarımsal uygulamalar, bitkinin genetik kapasitesinin belirlediği sınırın ötesinde bir verim artışı sağlayamaz. Ürünlerin verim ve kalitesi, esasen kullanılan tohumun taşıdığı genetik potansiyel ile sınırlıdır. Dolayısıyla, tarımsal üretimde daha yüksek bir verim hedefleniyorsa, genetik kapasitesi yüksek sertifikalı buğday çeşitlerine ait tohumlukların, ekolojik olarak uygun bölgelerde ve doğru yetiştirme yöntemleriyle kullanılması büyük önem taşır (Köksal ve Cevher, 2015). TTSMM kayıtlarına göre, Türkiye'de Milli Çeşit Listesi'nde 427 buğday çeşidi yer almaktadır. Bu çeşitlerin tescil süreçleri, TAGEM'e bağlı araştırma enstitüleri, üniversiteler, özel sektör Ar-Ge kuruluşları, TİGEM, üretici birlikleri ve bireysel başvuru sahipleri tarafından yürütülmektedir. Kamu kurumları arasında ise en büyük buğday ıslah faaliyetleri, TAGEM tarafından yürütülmektedir (Taşcı ve ark., 2023).

3. TÜRKİYE'DE DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARI: MEVCUT DURUM ANALİZİ

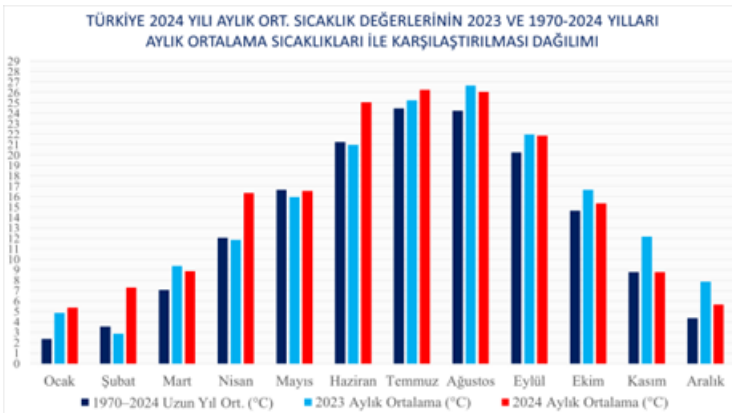
Küresel boyutta iklim değişikliği, doğa ile tarımsal üretim sistemlerini kapsayan başlıca küresel sorunlardan bir tanesidir. Sera gazı miktarındaki artış; ortalama sıcaklıkların yükselmesine, yağış düzeninin bozulmasına, ekstrem hava olaylarının ortaya çıkmasına, deniz seviyelerinin yükselmesine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır (Legg, 2021: Özdemir ve Kapan, 2025). Biyolojik çeşitliliğin azalmasında temel sebep, değişen ekosistemler ve doğal yaşam alanlarıdır. Sıcaklık değişimi gibi temel faktörler, türlerin yaşam alanlarını daraltmakta ya da tamamen ortadan kaldırmaktadır. Bu da ekosistem dengesini bozarak bazı türlerin yok olmasına neden yol açmaktadır (Kurnaz, 2023). Ayrıca, tüm bunlara bağlı olarak tarımı yapılan temel bitkilerin büyüme dönemlerinde değişiklikler meydana gelmekte ve ürün kalitesinde bozulmalar yaşanmaktadır (Taşkın, 2022).

İklim yapısı, yerkürenin oluşmasından bugüne kadar sürekli bir değişim sürecindedir. Ancak, Sanayi Devrimi'ne kadar yalnızca doğal süreçlerle sınırlıyken, sonrasında insan etkisinin de devreye girmesiyle süreç

hızlanmıştır (Kılıç, 2022). Sanayi devriminden günümüze kadar geçen yaklaşık 300 yıllık süreçte ortalama sıcaklık 1°C artış göstermiştir. Ancak önümüzdeki 25 yıl içinde bu artışın 1.5°C'ye, 21. yüzyılın sonunda ise 5.8°C'ye kadar yükselmesi öngörülmektedir. İstatistiksel verilerle değerlendirilen hava koşullarındaki farklılıklar, iklim değişikliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. (Wu ve ark., 2016; Fawzy ve ark., 2020; Duru, 2025).

Günümüzde Türkiye'de uzun yıllar ortalaması (1970–2024) ile 2023 ve 2024 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki artışlar belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 1 ve Tablo 1). Tablo incelendiğinde, 1970–2024 uzun yıllar ortalaması ile 2023 ve 2024 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklıkların karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği ve birçok ayda dikkate değer farklılıkların gözlemlendiği anlaşılmaktadır. Ocak ayı sıcaklığı 1970–2024 uzun yıllar ortalamasına göre 2,4 °C iken, 2023 yılında 4,9 °C, 2024 yılında ise 5,4 °C olarak gerçekleşmiştir. Şubat ayında uzun yıllar ortalaması 3,6 °C olup, 2023'te 2,9 °C, 2024'te 7,3 °C ölçülmüştür. Mart ayında ortalama sıcaklık 7,1 °C iken, 2023 yılında 9,4 °C'ye, 2024 yılında ise 8,9 °C'ye çıkmıştır. Nisan ayı uzun yıllar ortalaması 12,1 °C olup, 2023'te 11,9 °C, 2024'te ise 16,4 °C'ye yükselmiştir.

Mayıs ayında 16,7 °C olan uzun yıllar ortalaması, 2023'te 16 °C, 2024'te 16,6 °C olmuştur. Haziran ayında ortalama sıcaklık 21,3 °C iken, 2023'te 21 °C, 2024'te 25,1 °C'ye çıkmıştır. Temmuz ayında 24,5 °C olan uzun yıllar ortalaması, 2023'te 25,3 °C, 2024'te ise 26,3 °C'ye yükselmiştir.



Şekil 1: Türkiye’de 2024 yılı aylık ortalama sıcaklıklarının, 2023 yılı ve 1970–2024 uzun yıllar ortalaması ile karşılaştırılması

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025b

Tablo 1. Türkiye’de 1970–2024 uzun yıllar ortalaması, 2023 ve 2024 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklıklar (°C)

Ay	1970–2024 Uzun Yıl Ort. (°C)	2023 Aylık Ortalama (°C)	2024 Aylık Ortalama (°C)
Ocak	2,4	4,9	5,4
Şubat	3,6	2,9	7,3
Mart	7,1	9,4	8,9
Nisan	12,1	11,9	16,4
Mayıs	16,7	16	16,6
Haziran	21,3	21	25,1
Temmuz	24,5	25,3	26,3
Ağustos	24,3	26,7	26,1
Eylül	20,3	22	21,9
Ekim	14,7	16,7	15,4
Kasım	8,8	12,2	8,8
Aralık	4,4	7,9	5,7

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025b

Ağustos ayında uzun yıllar ortalaması 24,3 °C iken, 2023’te 26,7 °C, 2024’te 26,1 °C ölçülmüştür. Eylül ayında uzun yıllar ortalaması 20,3 °C olup, 2023’te 22 °C, 2024’te 21,9 °C olarak kaydedilmiştir. Ekim ayında 14,7 °C olan uzun yıllar ortalaması, 2023’te 16,7 °C, 2024’te 15,4 °C’ye yükselmiştir. Kasım ayında 8,8 °C olan uzun yıllar ortalaması, 2023’te 12,2 °C’ye çıkmış ancak 2024’te tekrar 8,8 °C seviyesine dönmüştür. Aralık ayında uzun yıllar ortalaması 4,4 °C olup, 2023’te 7,9 °C, 2024’te ise 5,7 °C olarak gerçekleşmiştir.

Dünya üzerindeki tüm canlıların yaşayabilmeleri için gerekli olan su miktarının belirli süre içerisinde ortalamanın altına düşmesi nedeniyle ortaya çıkan afete kuraklık denilmektedir. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi’nde ise kuraklık, ‘yağışların normal seviyelerin belirgin biçimde altına düşmesi sonucu arazi ve kaynak üretim sistemlerini olumsuz etkileyen ve ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan doğal olay’ olarak tanımlanmaktadır. Güncel araştırmalar da iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde giderek artan baskılayıcı etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Duvan ve ark., 2021). Türkiye’nin güncel durumu da bu etkileri açıkça yansıtmaktadır.

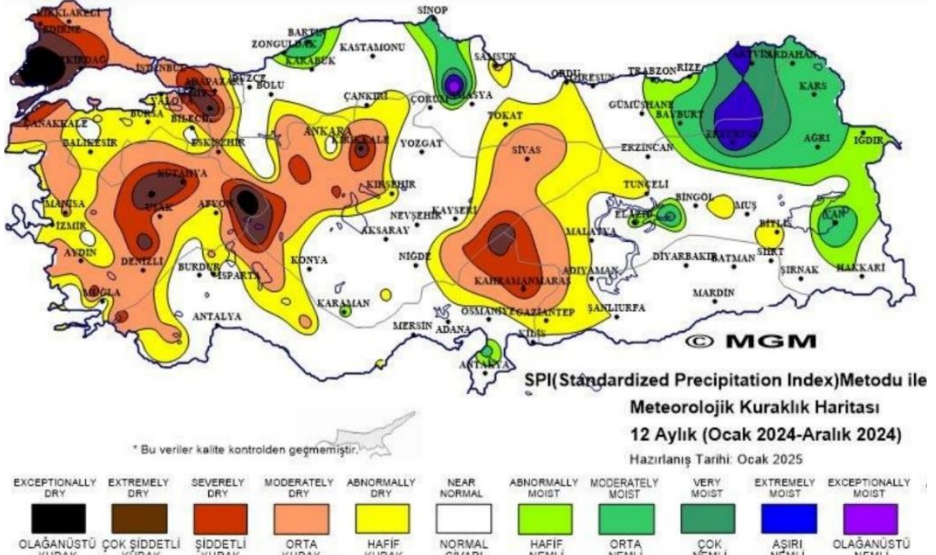
Standart Yağış İndeksi yöntemiyle hazırlanan 2024 yılı (Ocak–Aralık) 12 aylık meteorolojik kuraklık haritası, Türkiye’nin farklı bölgelerinde değişen şiddetlerde kuraklık yaşandığını göstermektedir. Şekil 2 incelendiğinde, son

yıllarda ülkemizde şiddetli kuraklığın etkilerinin giderek daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

2024 yılı için Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemiyle oluşturulan 12 aylık meteorolojik kuraklık haritası, Türkiye genelinde farklı şiddetlerde kuraklıkların yaşandığını göstermektedir. Buna göre; Marmara Bölgesi'nde Bilecik ile Balıkesir'in Gönen ilçesi ve çevresi dışında kalan alanlarda, Ege Bölgesi'nde ise İzmir'in Dikili, Seferihisar, Çeşme ve Ödemiş ilçeleri ile Muğla ve çevresi hariç diğer kesimlerde kuraklık etkili olmuştur (Şekil 2).

Akdeniz Bölgesi'nde kuraklık, Antalya'nın Elmalı ilçesi, Isparta, Mersin'in Silifke ilçesi ile Kahramanmaraş ve çevresinde; İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara'nın Polatlı ve Beypazarı ilçeleri, Kırıkkale, Eskişehir, Konya'nın Akşehir, Kulu, Ereğli, Hadim ve Ilgın ilçeleri, Kırşehir, Sivas, Kayseri'nin Sarız ve Develi ilçeleri ile çevrelerinde oldukça etkilidir (Şekil 2).

Karadeniz Bölgesi'nde Samsun, Ordu, Giresun'un Şebinkarahisar ilçesi, Tokat ve çevresinde; Doğu Anadolu Bölgesi'nde Tunceli, Bingöl'ün Solhan ilçesi ile Bitlis ve çevresinde; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise Gaziantep ve çevresinde meteorolojik kuraklık gözlenmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025a).



Şekil 2. 2024 yılına ait Standart Yağış İndeksi yöntemi ile hazırlanan 12 aylık (Ocak-Aralık 2024)

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025a

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KARŞISINDA BAZI BUĞDAY GENOTİPLERİNİN PERFORMANSLARI

4.1. Kuraklık

Araştırmalar, Türkiye'nin küresel ısınma bakımından en riskli ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir. Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği sonucunda su kaynaklarında yaşanacak azalmanın, beraberinde kuraklığı artırarak ülkemiz tarımına olumsuz yansıtacağı öngörülmektedir (Dikici, 2020). Bu nedenle, kurağa dayanıklı buğday genotipleri üzerinde yürütülen çalışmalarının önemi de giderek artmaktadır.

Rekombinant kendilenmiş hat (RIL, Recombinant Inbred Line) popülasyonları, tarımsal araştırmalarda yaygın olarak kullanılan önemli haritalama materyalleridir. Yapılan bu çalışmada, Tosunbey ve Tahirova-2000 çeşitlerinin melezlenmesiyle, sırasıyla 420 ve 362 hattı içeren iki resiprokal RIL popülasyonu geliştirilmiştir. Popülasyonların oluşturulmasında tek tohum soy yöntemi uygulanmış ve F7 generasyonuna ulaşan homozigot hatlar, Samsun lokasyonunda yetiştirilmiştir. Popülasyonlarda bitki boyu ve başaklanma süresinde belirgin düzeyde transgresif varyasyon gözlenmiştir. Ayrıca 324 hattın çavdar translokasyonu (1BL.1RS) taşıdığı, bu translokasyonun protein kalitesini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. GluA3b alleleline sahip hatların SDS sedimentasyon değerleri, GluA3e alleleline taşıyanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen bulgular, geliştirilen bu popülasyonların ekmeklik buğdayda kalite ve kuraklıkla ilgili araştırmalarda değerlendirilebilecek elit genetik kaynaklar içerdiğini ortaya koymaktadır (Aydın ve ark., 2021).

Tutuş ve Erdem (2023)'in yaptığı araştırmada, hekzaploid yabani buğday türlerinden *Triticum spelta*'ya ait genotiplerin kuraklık koşullarına dayanıklılık düzeyleri incelenmiştir. Deneme, üç farklı sulama düzeyinde (TK70 – kontrol, TK35 ve TK45) yürütülmüştür. Tane olgunlaşma aşamasında yapılan ölçümlerde, bitkilerde kuru madde ve tane verimi, bin tane ağırlığı, hasat indeksi ile stres tolerans indeksi; ayrıca danedeki N, P ve K içerikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, TK35 ve TK45 sulama seviyelerinde, kontrol grubu TK70'e kıyasla kuru madde, tane verimi ve bin tane ağırlığı değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) düşüşler meydana geldiğini ortaya koymuştur. SP434, SP521 ve SP2 genotiplerinin, kuru madde ve tane verimi ile hasat ve stres tolerans indeksleri açısından diğer genotiplere göre

daha yüksek performans sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, kuraklık şiddetinin artışı ile birlikte tane N, P ve K içeriklerinin de önemli ölçüde ($p<0.05$) yükseldiği tespit edilmiştir. Sonuçlar, T. spelta genotiplerinin kuraklık karşısında farklı tepkiler verdiğini ve özellikle SP434, SP521 ile SP2'nin diğer genotiplere oranla daha toleranslı olduğunu ortaya koymuştur.

Türkiye'de kuraklığa toleranslı buğday çeşitleri geliştirmeye yönelik ıslah çalışmalarında, Bazı morfolojik nitelikler ve erkencilik özelliği, verimle ilişkili parametrelerle birlikte erken generasyonlarda seçim kriteri olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca, bitkiler stres koşullarına maruz kaldığında ortaya çıkan başlıca biyokimyasal tepkilerden biri olan aktif oksijen türleri (AOT) üretimi, önemli bir belirteç niteliği taşımaktadır. Etkili bir koruma mekanizmasının bulunmadığı durumlarda AOT'ler; lipidler, proteinler ve nükleik asitlerde oksidatif bozulmalar yol açarak metabolizmayı ciddi biçimde bozabilmektedir. Kuraklığa dayanıklı bitkiler ise bu zararlı etkileri azaltmak amacıyla çeşitli enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemleri geliştirmiştir (Allen, 1995; Farooq ve ark., 2009). Kutlu ve ark. (2017), ekmeklik buğday genotiplerinde kuraklık stresi altındaki verim bileşenleri ile antioksidan enzim aktivitelerinin istikrarını ve aralarındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Eskişehir koşullarında 9 ekmeklik çeşit ve 7 doubled haploid genotip üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, başak boyu, çiçeklenme süresi, başakta tane sayısı, tane ağırlığı ve bin tane ağırlığı ile yapraklardaki antioksidan enzimler olan katalaz (CAT) ve glutatyon redüktaz (GR) aktiviteleri değerlendirilmiş, stres duyarlılık indeksi (SSI) hesaplanmıştır. CAT ve GR artışı Krasunia, Bezostaja-1 ve DH19 genotiplerinde en yüksek düzeyde gerçekleşmiştir. bin tane ağırlığı ile GR arasında, CAT ile bin tane ağırlığı dışındaki tüm özellikler arasında negatif ve anlamlı korelasyon bulunmuştur. Stres duyarlılık indeksi (SSI) değeri 1'in altında olan ve stres altında antioksidan enzim aktivitelerini koruyabilen DH6, DH19 ve Bezostaja-1 genotipleri, kuraklık toleransını artırmaya yönelik ıslah programları için öne çıkan ebeveyn adaylarıdır.

22 yerel ekmeklik buğday çeşidi ile 5 tescilli çeşidin (Gün 91, Müfitbey, Dağdaş 94, Bezostaja 1 ve Aldane) kullanıldığı, sulu ve geç kuraklık stresi koşullarında Tokat-Kazova'da yürütülen başka bir araştırmanın sonuçlarına göre; hem sulu hem de geç kuraklık stresine maruz bırakılan koşullarda; bin tane ağırlığında TGB 003246, TR 63581 ve Çam buğdayı; hektolitre ağırlığında

TGB 003247, TR 48371 ve TR 63575; protein oranında TGB 003248, TGB 003249, TR 63501, Ak Sunteri, Dimenit ve Zerun; Zeleny sedimentasyon değerinde TR 63575 ve Zerun; bayrak yaprak kül oranında TGB 003232, Çalı Basıran ve Zerun; tane kül oranında ise TGB 000521, Çalı Basıran ve Ak Sunteri çeşitleri ön plana çıkmıştır (Özdemir ve Sakin, 2028).

4.2. Yüksek Sıcaklıklar

Yüksek sıcaklık koşulları, bitkilerdeki fizyolojik ve biyokimyasal işleyişi bozarak ürün kalitesi ile verimi düşürmektedir. Her bitki türü, en iyi gelişim gösterdiği belirli bir sıcaklık aralığına sahiptir. Bu aralığın dışına çıktığında hücresel metabolizma ve buna bağlı olarak bitki büyümesi zarar görmektedir. Araştırmalar, Tane dolum evresinde sıcaklığın her 1°C yükselmesi, verimde yaklaşık %3–5 oranında kayba neden olmaktadır. Ayrıca, kısa süreli fakat aşırı sıcaklıkların (örneğin, tane doldurma evresinde 35°C'nin üzerinde seyreden 3–5 günlük dönemlerin) buğday verim ve kalitesinde ciddi azalmalar oluşturduğunu göstermektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çiçeklenme ve tane dolum dönemlerinde 35–40°C'ye ulaşan yüksek sıcaklıklar, uzun süredir çiftçilerin buğdayda yaşadığı verim ve kalite sorunlarının başlıca sebeplerinden biri olmuştur (Burke, 1990; Gibson ve Paulsen, 1999; Stone ve Nicholas, 1995; Kılıç ve Aktaş, 2007).

Tekdal ve Yıldırım (2017), makarnalık buğdayın sıcaklık stresine karşı dayanıklılığı belirlemede kullanılabilecek, ölçümü kolay ve hızlı yapılabilen bazı fizyolojik ve morfolojik kriterleri incelemiştir. Denemede, kuraklık etkisi sulama ile ortadan kaldırılmış; geç ekim yöntemi uygulanarak yüksek sıcaklık koşulları oluşturulmuştur. Tane veriminden elde edilen sıcaklık hassasiyet indeksi (SHI) sonuçları, çeşitlerin tolerans düzeylerini ortaya koymuştur. Buna göre, Diyarbakır-81 ve Fırat-93 çeşitleri yüksek toleranslı; Fuatbey-2000, Ç-1252, Özberk, Sarıçanak-98, Şahinbey ve Zühre çeşitleri orta düzeyde toleranslı; Sorgül, Svevo, Bağacak, Şölen ve Omrabi çeşitleri ise hassas grupta yer almıştır. Bulgular, düşük bitki örtüsü sıcaklığı ile yüksek tane dolum hızının, sıcaklığa karşı dayanıklılıkla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, yaprak klorofil düzeyi, yaprakların dik durma eğilimi ve mumsuluk oranı gibi özelliklerin sıcaklık toleransı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ancak bu özelliklerin, özellikle yüksek verimli

genotiplerin belirlenmesinde yardımcı seçim kriterleri olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Buğdayda dane doldurma döneminde karşılaşılan yüksek sıcaklıklar, birçok bölgede verimi sınırlayan temel stres faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu dönemde artan sıcaklık, danelerin küçülmesine ve buruşmasına yol açarak verimde önemli düşüslere neden olmaktadır. Ayrıca, tane doldurma sürecinde yüksek sıcaklığın yaygın olduğu alanlarda atmosferdeki CO₂ seviyesinin yükselmesi, terminal sıcaklıkların ve kuraklık etkisinin daha da ağırlaşmasına neden olabilir (Wardlaw ve ark., 1989; Wardlaw ve Wrigley, 1994; Kılıç ve ark., 1999; Zahedi and Jenner, 2003; Reynolds ve ark., 2014; James ve ark., 2018;).

Nurkent, Gönen-98, Pehlivan ve Sagittario çeşitleri ile birlikte 21 ileri hat ekmeklik buğday genotipinin yüksek sıcaklık koşullarına dayanıklılığını belirlemek amacıyla, 2006/2007 yetiştirme sezonunda Diyarbakır ve Mardin-Göllü yöresine ait ekolojik koşullarda bir araştırma yürütülmüştür. Ortalama değerlere göre, en yüksek tane verimi Diyarbakır sulu koşullarında (693 kg da⁻¹) ve Diyarbakır kuru koşullarında (608 kg da⁻¹) elde edilmiş; en düşük verim ise Mardin-Göllü lokasyonunda (315 kg da⁻¹) kaydedilmiştir. Biplot analiz sonuçları, hem tane verimi (458.8 kg da⁻¹) hem de protein oranı (%64.4) bakımından öne çıkan erkenci G24 genotipinin, sıcaklık stresine karşı en yüksek toleransa sahip olduğunu göstermiştir (Kılıç ve ark., 2020).

Kuraklığın bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri, ilave sulama ile büyük ölçüde azaltılabilse de yüksek sıcaklığın zararlarını hafifletmek genellikle daha zordur. Üstelik, kuraklık ile yüksek sıcaklığın aynı anda ortaya çıkması, tek başına olduklarındaki etkilerden daha güçlü bir etki yaratmaktadır. Başka bir ifadeyle, 35/30 °C (gündüz/gece) sıcaklık koşullarında kuraklığın etkisi belirgin şekilde artmaktadır (Shah ve Paulsen, 2003). Yapılan çalışmalarda, sapa kalkma ve dane doldurma dönemlerinin sonlarına doğru, 3 gün boyunca günde 12 saat yaklaşık 30°C, gün ortasında ise 3 saat 38°C sıcaklık şokuna maruz bırakılan bitkilerde fotosentez hızının ve tane gelişiminin yavaşladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu yüksek sıcaklık stresinin, çeşide ve gelişim evresine bağlı olarak yaprak fotosentez oranını %40 ile %70 arasında düşürdüğü bildirilmiştir (Schapendonk ve ark., 2007).

Kılıç (2020), yüksek sıcaklık iklim şartlarıyla bilinen Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin 1. ve 2. alt bölgelerinde, sulu ve yağışa dayalı koşullar

altında bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, 25 durum buğday genotipinin tane verimi ile birlikte performans oranı, başaklanma süresi, bin tane ağırlığı (BTA), hektolitre ağırlığı (HL), protein oranı (PO), mini SDS sedimentasyon değeri (mSDS) ve tane rengi (b) gibi kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Tane verimi açısından en yüksek sonuçlar Diyarbakır sulu (695 kg da^{-1}) ve Diyarbakır kuru (638 kg da^{-1}) koşullarında elde edilmiş; en düşük değer ise, dane doldurma döneminde sıcaklığın 35°C 'nin üzerine çıktığı Mardin-Göllü lokasyonunda (301 kg da^{-1}) kaydedilmiştir. Stabilite analizi sonuçlarına göre, G16 ve G7 genotipleri yüksek verim düzeyine sahip olup belirli bölgeler için uygun bulunurken, G14 genotipi genel adaptasyon yeteneği en yüksek olan çeşit olarak belirlenmiştir.

Türkiye'de buğday üretimi büyük ölçüde kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışa bağımlı koşullarda gerçekleştirilmektedir. Yazlık buğdaylar, özellikle çiçeklenme ve tane doldurma dönemlerinde yüksek sıcaklık stresine maruz kalmakta, bu durum ise verimde belirgin düşüşlere yol açmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan araştırmalarda, iklim değişikliğinin etkileri sıkça vurgulanmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 2007 yılında gerçekleştirdiği toplantıda, sıcaklık artışlarının bitkisel üretim üzerinde temel belirleyici faktörlerden biri olacağı ifade edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve kuraklık, dünya genelindeki başlıca buğday üretim alanlarında bitki büyümesini kısıtlayan en önemli çevresel etkenler olup çoğu zaman eşzamanlı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, gelişme dönemi boyunca ortalama sıcaklığın optimum değerlerin yalnızca 1°C üzerine çıkması bile, yazlık buğdaylarda dekara yaklaşık $5,7 \text{ kg}$ verim kaybına neden olabilmektedir (Sayılğan, 2016).

Ülkesel Serin İklim Tahılları Projesi kapsamında, bölge verim denemelerinde öne çıkan ileri kademedeki ekmeklik buğday hatlarının Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında tane verimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada materyal olarak 17 ekmeklik buğday ileri hattı ile 8 tescilli çeşit (Basribey-95, Kaşifbey-95, Pamukova-97, Tahirova-2000, Adana-99, Sakin, Nurkent ve Canik-2003) kullanılmıştır. Denemeler, Diyarbakır ve Ceylanpınar lokasyonlarında yağışa dayalı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Standart çeşitlerin ortalama tane verimi Diyarbakır'da $489,4 \text{ kg/da}$, Ceylanpınar'da ise $285,7 \text{ kg/da}$ olarak belirlenmiştir. Diyarbakır'da en yüksek verimi sırasıyla G21, G24, G17, G12, G20, G13 ve G10 numaralı genotipler elde ederken; Ceylanpınar'da öne çıkan

genotipler G14, G8, G21, G10, G11, G17 ve G13 olmuştur. Her iki lokasyonda da G21, G17, G13, G12 ve G10 numaralı hatlar en yüksek verim grubunda yer almıştır (Kılıç ve ark., 2014).

4.3. Düşük Sıcaklıklar

Buğdayın düşük sıcaklıklara verdiği tepki oldukça karmaşık bir süreçtir ve bazı genotipler, sapa kalkma ile başaklanma evrelerine ulaşabilmek için belirli bir süre soğuklama ve ışıktanma gereksinimi duyar. Sapa kalkmak için ya hiç soğuklama ihtiyacı olmayan ya da bu ihtiyacı çok az olan buğdaylar “yazlık buğday” olarak tanımlanırken, belirgin soğuklama gereksinimi olanlar “kışlık buğday” sınıfında yer alır. Soğuklama ihtiyacının, bitkileri düşük sıcaklıklara karşı koruyan bir adaptasyon mekanizması olduğu kabul edilmektedir. Soğuğa dayanıklılık, bitkilerin belirli gelişme evrelerinde düşük sıcaklıklara maruz kalsalar bile canlılıklarını sürdürebilmeleri olarak tanımlanır ve bu özellik hem genetik yapıya hem de çevresel koşullara bağlıdır. Don zararı ise, kısa süreli de olsa 0 °C’nin altındaki sıcaklıkların bitkilerde oluşturduğu hasar olarak ifade edilir. Bu durum, bitki özsuyunun donması sonucu hücre zarının yırtılması ile ortaya çıkar. Kışlık buğdaylar, gelişimlerinin erken safhalarında -20 °C’ye kadar soğuğa dayanabilmelerine rağmen, başaklanma ve çiçeklenme dönemine yaklaştıkça bu dayanıklılık kademeli olarak azalır (Mossad ve ark., 1995; Taner ve Bayram, 2005).

Kırık, Doğu Anadolu Bölgesi’nde üreticiler tarafından yaygın şekilde yetiştirilen ve özellikle kurak sezonlarda öne çıkan, yüksek kaliteli bir yerel buğday genotipidir. Bölgedeki üreticilerden temin edilip saflaştırılan 186 Kırık genotipi ile 8 standart çeşidin yer aldığı bir çalışmada, verim ve verim unsurlarının yanı sıra soğuğa dayanıklılık oranlarını belirlemek ve üstün performans gösteren hatları ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. Soğuğa dayanıklılık testlerinde, -15 °C’de yapılan değerlendirmelerde Nenehatun ve Kırık çeşitleri dışında kalan 25 hattın tamamı %50’nin üzerinde canlılık oranı sergilemiştir. -17 °C koşullarında ise Kırık ve Nenehatun çeşitleri ile birlikte 117 hat, %50’den fazla canlı kalma oranına ulaşmıştır. Sıcaklığın -19 °C’ye düşürüldüğü durumda, yalnızca 24 hat ve 2 çeşidin yer aldığı toplam 26 genotip %50’nin üzerinde canlılık göstermiş, diğer tüm genotipler bu derecede %50’nin üzerinde kayıp yaşamıştır. Elde edilen bulgular, Kırık popülasyonu içerisinde

soğuğa dayanıklılık bakımından oldukça geniş bir genetik varyasyon bulunduğunu ortaya koymuştur (Dumlu, 2023).

Farklı bir çalışma da Erzurum Ilıca ekolojik koşullarında yürütülmüştür. Çalışmada, 90'ı yerel hat ve 6'sı tescilli çeşit (Ayyıldız, P'97, Alparslan, Gerek 79, Karahan 99 ve D'88) olmak üzere toplam 96 buğday genotipi kullanılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'nden toplanarak önceki çalışmalarla saflaştırılan yerel genotipler ve tescilli çeşitler, verim, verim bileşenleri ve soğuğa dayanıklılık düzeyleri bakımından değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kontrollü koşullarda yapılan soğuğa dayanıklılık testleri sonucunda; -13 °C'de 24 yerel genotip ile tüm tescilli çeşitler canlılığını korumuştur. -15 °C'de ise 2 yerel genotip ve 5 tescilli çeşit dayanıklılık göstermiştir. Sıcaklığın -17 °C'ye düşürüldüğü koşullarda yerel genotipler arasında dayanıklı olan bulunmazken, 2 tescilli çeşit bu sıcaklığa dayanabilmiştir. -19 °C'de ise yalnızca Alparslan çeşidinin hayatta kaldığı belirlenmiştir (Küçüközdemir ve Tosun, 2014).

Bir diğer araştırmada, ekmeklik buğday çeşitlerinden soğuğa dayanıklı olduğu bilinen Alparslan genotipi ile soğuğa duyarlı beş referans genotip (Aldane, Kırık, Daphan, Nevzatbey ve Tosunbey) farklı sıcaklık koşullarına (+4 °C, 0 °C, -4 °C, -15 °C ve -17 °C) maruz bırakılmıştır. Uygulamalar sonrasında, soğuğa karşı en hassas genotipi belirlemek amacıyla morfolojik ve fizyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Fizyolojik değerlendirmelerde katalaz, süperoksit dismutaz ve peroksidaz enzim aktiviteleri ölçülmüştür. Bulgular, katalaz aktivitesinin Alparslan, Daphan ve Nevzatbey genotiplerinde yüksek, Kırık, Aldane ve Tosunbey'de ise düşük seviyelerde olduğunu göstermiştir. SOD aktivitesi yalnızca Alparslan genotipinde artış gösterirken, diğer genotiplerde azalma tespit edilmiştir. POX aktivitesi incelendiğinde ise Kırık genotipi hariç tüm genotiplerde aktivitenin yükseldiği görülmüştür. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, soğuğa karşı en hassas ekmeklik buğday genotipinin Kırık olduğu sonucuna varılmıştır (Tosun ve ark., 2024).

5. SONUÇ

İklim değişikliği Türkiye genelinde giderek belirginleşmektedir. Ortalama sıcaklıklar, uzun yıllar ortalamalarının üzerinde seyretmekte, yağış rejimleri değişmekte ve farklı bölgelerde kuraklık etkisi hissedilmektedir. Tarım sektörü bu değişimden en fazla etkilenen sektörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin gıda üretimi üzerindeki olumsuz

etkileri derinleşmeden gereken tedbirlerin alınması ve yürütölmekte olan sonuç odaklı tarımsal çalışmaların hızlandırılması önem arz etmektedir. Ülkemizde yetiştirilen költür bitkileri içerisinde en fazla ekim alanına sahip olan ve beslenmede stratejik bir önemi bulunan buğdayın kuraklığa ve soğuşa dayanıklı çeşitlerinin yaygın olarak yetiştirilmesi, sürdürülebilir bir buğday tarımı açısından önemli olacaktır. Türkiye, buğday genetik çeşitliliğı açısından küresel ölçekte önemli bir merkezdir ve geniş bir tür ve çeşit yelpazesine sahiptir. Bu bağlamda, genetik zenginliklerimiz, ıslah çalışmaları bakımından değerli bir kaynak oluşturmaktadır.

6. KAYNAKÇA

- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. *Crop Science*, 4(5), 503–508.
- Allen, R. (1995). Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 107(4), 1049–1054.
- Allen, M., Antwi-Agyei, P., Aragon-Durand, F., Babiker, M., Bertoldi, P., Bind, M., ... Cartwright, A. (2019). *Technical summary: Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. IPCC. <http://pure.iiasa.ac.at/15716>
- Atak, M. (2017). Buğday ve Türkiye Buğday Köy Çeşitleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2):71-88.
- Aydın, N., Demir, B., Güleç, T., Şermet, C., Bayramoğlu, H. O., Sayaslan, A., & Mut, Z. (2021). Ekmeklik buğdayda geliştirilen rekombinant kendilenmiş hat populasyonunda kalite özellikleri için fenotipik ve genotipik değişim. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(3), 418-432.
- Bayraç, N. H., & Doğan, E. (2016). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(1), 23-48.
- Blandino, M., Badeck, F.-W., Giordano, D., Marti, A., Rizza, F., Scarpino, V., ... Reyneri, A. (2020). Elevated CO₂ impact on common wheat (*Triticum aestivum* L.) yield, wholemeal quality, and sanitary risk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(44), 10574–10585. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04750>
- Burke, J. J. (1990). High temperature stress and adaptation in crops. In R. G. Alscher & J. R. Cummings (Eds.), *Stress response in plants: adaptation and acclimation mechanisms* (pp. 295–309). Wiley-Liss.
- Cankurtaran Kömürcü, T. (2021). Çimlendirilmiş bazı ilkel buğdayların fonksiyonel özellikleri ile erişte ve ekmek üretiminde

- kullanılabilirliklerinin araştırılması* (Doktora tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Coşkun, İ. (2019). *Türkiye kökenli diploid ve tetraploid kavuzlu buğday hatlarının genetik ilişkilerinin belirlenmesi ve morfolojik tanımlanması* (Yüksek lisans tezi). Akdeniz Üniversitesi.
- Demir, İ., & Tosun, M. (1991). Buğdayda stabilite istatistikleri ve stabilite üzerine araştırmalar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(1), 7–24.
- Demirel, U., Morris, W. L., Ducreux, L. J., Yavuz, C., Asim, A., Tindas, I., ... Hancock, R. D. (2020). Physiological, biochemical, and transcriptional responses to single and combined abiotic stress in stress-tolerant and stress-sensitive potato genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 11, 169. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00169>
- Dikici, M. (2020). Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey). *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Dolferus, R., Ji, X., & Richards, R. A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science*, 181(4), 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.015>
- Dumlu, B. (2023). *Kırık buğday popülasyonlarının soğuğa dayanıklılık, bazı tarımsal özellikler ve kalite bakımından değerlendirilmesi* (Doktora tezi). Atatürk Üniversitesi.
- Duru, S. (2025). Sürdürülebilir tarım ve iklim değişikliği. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 5(1), 21–32.
- Duvan, A., Aktürk, G., & Yıldız, O. (2021). Meteorolojik kuraklığın zamansal ve alansal özelliklerine iklim değişikliğinin etkisi: Sakarya Havzası örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 207–217.
- Elgün, A. (2018). İlkel ve yerel buğdayların endüstriyel çapta değerlendirilme imkânları. *Türkiye Yerel Buğdaylar Sempozyumu*, Bolu, Türkiye. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi.
- Eserkaya Güleç, T. (2010). *Yerel makarnalık buğday çeşitlerinin makarna kalitesini etkileyen gliadin genleri bakımından moleküler ve biyokimyasal analizleri* (Yüksek lisans tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

- 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, 185–212.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Gibson, L. R., & Paulsen, G. M. (1999). Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science*, 39(6), 1841–1846.
- Gökmen, G. (2023). *İklim değişikliğinin Türkiye'nin tarım ürünleri dış ticaretine etkileri: Buğday örneği* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- James GN., Kirsten MB., Audrey JD., Brendan PC., Garry JO. (2018). Acute High temperature response in wheat. *Agronomy Journal* 110(4), 1-13
- Jaradat, AA (1992). Ürdün'den gelen sert buğday yerel çeşitlerinin üreme potansiyeli: Fenotipik çeşitlilik. *Hereditas*, 116 (3), 301-304.
- Kılıç H., Aktaş H., Tekdal S. (2019). Durum Buğday genotiplerinde bazı morfolojik özelliklerin ekin sap arısı ((*Cephus pygmaeus* L. (*Hymenoptera: Cephidae*)) Zararı bakımından değerlendirilmesi *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 5(2), 95-106.
- Kılıç, C. (2022). Türkiye’de iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkileri: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 36(1), 125–132.
- Kılıç, H. (2020). Durum buğday genotiplerinin (*Triticum durum* L.) yüksek sıcaklık şartlarında verim ve bazı kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(1), 17-32.
- Kılıç, H., & Aktaş, H. (2007). Güneydoğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü 2006/2007 sezonu serin iklim tahılları gelişme raporu. Diyarbakır.
- Kılıç, H., Aktaş, H., & Kendal, E. (2020). Ekmeklik buğday genotiplerinin (*Triticum aestivum* L) yüksek sıcaklık şartlarında verim ve bazı kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 1-18.

- Kılıç, H., Kendal, E., Aktaş, H., & Tekdal, S. (2014). İleri kademe ekmeklik buğday hatlarının farklı çevrelerde tane verimi ve bazı kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 4(4), 87-95.
- Köksal, Ö., & Cevher, C. (2015). Buğday tarımında sertifikalı tohumluk tercihini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 29-39.
- Kurnaz, M. L. (2023). İklim değişikliği ve uyum süreçlerinde Türkiye. *Resilience*, 7(1), 199–208.
- Kutlu, İ., Turhan, E., Yorgancılar, Ö., & Yorgancılar, A. (2017). Kuraklık stresinde buğday genotiplerinde verim komponentleri ve antioksidan enzim metabolizmasında değişimler. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 273-277.
- Küçüközdemir, Ü., & Tosun, M. (2014). Bazı yerel buğday genotiplerinde verim, verim unsurları ve soğuğa dayanıklılığın belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(1), 43-54.
- Legg, S. (2021). IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44-45.
- Lemonnier, P., & Ainsworth, E. A. (2018). Crop responses to rising atmospheric [CO₂] and global climate change. *Food security and climate change* (pp. 51–69). John Wiley & Sons.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025a). *Kuraklık analizi*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yillik#sfB> Son Erişim Tarihi 13.08.2025
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025b). *Sıcaklık analizi*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx?s=m#sfB> Son Erişim Tarihi 13.08.2025
- Mossad, M., Ortiz-Ferrara, G., Mahalakshmi, V., & Fisher, R. A. (1995). Phyllochron response to vernalization and photoperiod in spring wheat. *Crop Science*, 35, 168–171.
- Nadeem, M., Tariq, M. N., Amjad, M., Sajjad, M., Akram, M., Imran, M., ... Yaseen, G. (2020). Salinity-induced changes in the nutritional quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 42(1), 1–12. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v42i1.2317>

- Nuttall, J., O’Leary, G., Panozzo, J., Walker, C., Barlow, K., & Fitzgerald, G. (2017). Models of grain quality in wheat—A review. *Field Crops Research*, 202, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.011>
- Ondokuz Mayıs Üniversitesi. (2025). Ders notları – Akademik Veri Yönetim Sistemi. <https://avys.omu.edu.tr/lessons> Son Erişim Tarihi: 10.08.2025
- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., & Atlı, A. (2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye’de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233.
- Özberk, İ. (2018). Mezopotamya’nın yerel buğdayları. *Türkiye Yerel Buğdaylar Sempozyumu*, Bolu, Türkiye. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Özdemir Dirik, K., & Sakin, M. A. (2028). Bazı Yerel Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) Sulu Koşullarda ve Geç Kuraklık Stresi Oluşturulan Koşullarda Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 28(4), 1025-1042. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1589654>
- Özdemir, B., & Kapan, D. (2025). Küresel iklim değişikliğinde yerel çeşitlerin önemi. *Genç araştırmacıların tarıma bakışı* (pp. 40–60). Bidge Yayınları. ISBN: 978-625-372-653-9
- Porter, J. R., Challinor, A. J., Henriksen, C. B., Howden, S. M., Martre, P., & Smith, P. (2019). Intergovernmental panel on climate change, agriculture, and food—A case of shifting cultivation and history. *Global Change Biology*, 25(8), 2518–2529. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgado, M. I. B., Amani, I., & Fischer, R. A. (1994). Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot irrigated conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 717–730.
- Richards, R. A., Condon, A. G., & Rebetzke, G. J. (2001). Traits to improve yield in dry environments. In M. P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio, & J. I. McNab (Eds.), *Application of physiology in wheat breeding* (pp. 88–101). CIMMYT.
- Sattar, A., Sher, A., Ijaz, M., Ullah, M. S., Ahmad, N., & Umar, U. (2020). Individual and combined effect of terminal drought and heat stress on allometric growth, grain yield and quality of bread wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 52(2), 405–412.

- Sayılğan, Ç. (2016). Küresel sıcaklık artışının buğdayda beklenen etkileri ve yüksek sıcaklığa toleranslılığın fizyolojik göstergeleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 439-447.
- Schapendonk, A.H.C.M., Xu, H.Y., Van Der Putten, P.E.L., Spiertz, J.H.J., 2007. Heat-shock effects on photosynthesis and sink-source dynamics in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Wageningen Journal of Life Sciences*, 55(I):37-54.
- Shah, N.H., Paulsen, G.M., 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, 257:219–226.
- Stone, P. J., & Nicholas, M. E. (1995). A survey of the effects of high temperature during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(3), 475–492.
- Şehirali, S. ve Özgen M., 1987. Bitki Genetik Kaynakları. *Ankara Üniv., Ziraat Fak. Yayınları*, No: 1020, 294 s, Ankara
- Taç, M., & Peker, O. (2024). İklim Krizinin Tarım Sektörüne Etkisinin Ekonometrik Bir Analizi: Türkiye Örneği. *Söke İşletme Fakültesi Dergisi*, 1(2), 20-37.
- Taner, S., & Bayram, S. (2005). Düşük sıcaklığın serin iklim tahıllarına etkileri (Derleme). *Bitkisel Araştırma Dergisi* (2005) 2: 19–28
- Taşcı, R., Özercan, B., Tarhan, S., Söylemez, E., Hamarat, T., Karabak, S., & Bolat, M. (2023). TAGEM tarafından geliştirilen buğday çeşitlerinin üreticiler açısından değerlendirilmesi; Kayseri ili örneği. *Ziraat Mühendisliği*, (377), 4-18.
- Taşkın, Ö., Somuncu, M., & Çapar, G. (2022). İklim değişikliğinin Türkiye’de su kaynakları ve tarım sektörüne etkileri üzerine bir değerlendirme. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 67–79.
- Tekdal, S., & Kılıç, H. (2018). Makarnalık buğdayda çeşit, hat ve yerel genotiplerin verim ve kalite özellikleri yönünden karşılaştırılması. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(3), 194-200.
- Tekdal, S., & Yıldırım, M. (2017). Bazı makarnalık buğday genotiplerinde fizyolojik ve morfolojik parametrelerin sıcaklık stresi ile ilişkisi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(2), 72-78.

- Thungo, Z., Shimelis, H., Odindo, A., Mashilo, J., & Shayanowako, A. (2020). Genetic relationship among selected heat and drought tolerant bread wheat genotypes using SSR markers, agronomic traits and grain protein content. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 70(7), 594–604.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1786564>
- Tosun, B., Karadayı, G., Tiryaki, D., Karadayı, M., Güllüce, M., Küçüközdemir, U., & Karagöz, H. (2024, September). Selection of cold-sensitive wheat genotypes from local bread wheat varieties and determination of antioxidant enzyme activities. In *7th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress*, Erzurum, Turkey.
- Tutuş, Y. & Erdem, H. (2023). Kuraklık stresinin *Triticum spelta* genotiplerinin verim ve verim bileşenleri üzerine olan etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 27(1): 83-93. DOI:10.29050/harranziraat.1241691
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). *Bitkisel üretim istatistikleri*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: Ağustos 01, 2023).
- Wang, Y., Liu, F., Andersen, M. N., & Jensen, C. R. (2010). Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation. *Functional Plant Biology*, 37(2), 175–182.
- Wardlaw, I. F., Dawson, I. A., & Munibi, P. (1989). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Grain development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 15–24.
- Wardlaw, I. F., & Wrigley, C. W. (1994). Heat tolerance in temperate cereals: An overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 695–703.
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, 14–23.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007>
- Yeken, M. Z. (2024). Giberellik Asit Dozlarının Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 1366-1374.

- Yıldız, M. Y. ve Özkaya, T. (2019). Atalık Buğdaylara Dönüş ve Öncü Girişimler. *Meltem İzmir Akdeniz Akademisi Dergisi*, (5): 27-59. doi: 10.32325/iaad.2.
- Yürük, A. (2024). *Ekmek yapımında kullanılan Triticum spelt unu ve ahlat armut ununun somun ekmeğin karakteristik özelliklerine etkisinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zaharieva, M. and Monneveux, P. 2014. Cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*): the long life of a founder crop of agriculture”, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61: 677-706.
- Zahedi, M., & Jenner, C. F. (2003). Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *Journal of Agricultural Science*, 141, 203–212.
- Zhang, X., Shi, Z., Jiang, D., Högy, P., & Fangmeier, A. (2019). Independent and combined effects of elevated CO₂ and post-anthesis heat stress on protein quantity and quality in spring wheat grains. *Food Chemistry*, 277, 524–530. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.006>

BÖLÜM 4

YEREL MISIR POPULASYONLARININ GENETİK KAYNAK OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Prof. Dr. Fatih ÖNER¹

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17603843>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Ordu, Türkiye. fatihoner38@gmail.com , Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6264-3752>

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Rize, Türkiye. onder.albayrak@erdogan.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-2440-7748>

GİRİŞ

Mısır, üretim miktarı ve kullanım alanı bakımından önemli bir tahıl türüdür. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de mısır insan gıdası, hayvan yemi ve sanayi ham maddesi olarak önem arz eden bir türdür. Mısırın gen merkezi olarak Meksika bilinmekle birlikte, bazı araştırmacılar menşei olarak Güney Afrika’yı işaret etmektedirler. Ancak Benson ve Pearce (1987), Meksika’nın Tehuacan vadisinde yaklaşık 7000 yıl öncesine tarihlenen mısır kalıntılarının bulunduğunu bildirmişlerdir. Mısırın yabani atalarına ait kalıntılar bulunamadığından dolayı, günümüzde bile orjini hakkında kesin bilgiler vermek zor olmaktadır. Yapılan arkeolojik çalışmalardan aktarılan bilgilere göre mısırın geçmişi 8-10 bin yıl geriye dayanmaktadır (Jugenheimer, 1958; Berger, 1962; Kün, 1985; Dowswell ve ark., 1996; Kırtok, 1998; Bayramoğlu ve Bozdemir, 2018; Albayrak, 2019).

Amerika kıtasının keşfinden sonra İspanyol denizciler tarafından yeni dünyadan çıkarılan mısır, ilk olarak İspanya’ya ve ardından birkaç yıl sonra Güneydoğu Avrupa ve Kuzey Afrika’da yayılmaya başlamıştır (Jugenheimer, 1958; Berger, 1962; Dowswell ve ark., 1996). Türkiye’ye yine ticaret yolları üzerinden giren mısır (Kün, 1985; Kırtok, 1998), ülkenin ekolojik uygunluğu sebebi ile çok hızlı bir şekilde yayılmıştır. Dünyada Antarktika dışında neredeyse her yerde mısır yetiştirilebilmektedir.

Türkiye’de mısırın tarihsel gelişimi özellikle 1980’li yıllardan sonra hızlanmıştır. Ülkemizde ana ve ikinci ürün olarak yetiştirilebilen mısır, Devlet teşvikleri ile birlikte yeni üretim tekniklerinin gelişmesi, sulama imkanlarının artması ve hibrit tohum üretiminin gelişmesi ile hızla yayılmıştır. Cengiz (2016), geçmiş yıllarda Akdeniz Bölgesi’nde günümüzde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yoğun bir şekilde artan mısır üretiminin ülke mısır üretimini gözle görülür bir şekilde artırdığını bildirmiştir. Tarım ve Orman Bakanlığının Temmuz, 2024’te yayınladığı Tarım Ürünleri Piyasaları raporuna göre 2023/24 sezonunda Türkiye mısır üretimi 9 milyon ton ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Üretim bakımından Konya, Şanlıurfa ve Adana illeri ilk sırada yer alırken verim 932 kg/da olarak bildirilmiştir.

Yerel popülasyonlar, uzun yıllar yetiştirildikleri bölgede elde ettikleri adaptasyon kabiliyetleri, doğal ve insan eli ile yapılan seleksiyonlar sonucu biyotik-abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık yetenekleri bakımından ıslah ana materyali olarak ön plana çıkmaktadırlar. Islahçılar, amaçlarına uygun

anaçları büyük çoğunlukla yerel popülasyonlardan veya onlardan geliştirilmiş çeşitlerden elde etmektedirler. Günümüz dünyasında değişen ihtiyaçlar, artan nüfus ve küresel iklim değişikliği, yerel popülasyonlara olan ihtiyacı daha da arttırmaktadır. İklim değişikliğine karşı tarım ürünlerinin dayanıklılığını arttırmak amacı ile güncel yaklaşımlar ve modern teknikler kullanılabilse de yerel çeşitler özellikle adaptasyon kabiliyeti ve dayanıklılık bakımından önemini korumaktadır (Dwivedi ve ark., 2016; Jarvis ve ark., 2008). Uzun yıllar bulunduğu çevre koşullarına adapte olup yüksek genetik çeşitlilik ve stres toleransı geliştiren yerel çeşitler (Bellon, 2008), iklim kaynaklı streslere karşı dayanıklılık gösterebilmektedirler (Ceccarelli ve ark., 2010; Dawson ve ark., 2019).

Yerel popülasyonların genetik çeşitliliğinin belirlenmesi, ıslah programlarında kullanılabilirliğini ortaya koymanın yanında korunması için de önemli bir adımdır. Öyle ki tarımsal açıdan önemli türlerin seçimi ıslah süreçleri ile ilgili temel sorun olan genetik erozyon (Rivas ve ark., 2022) yerel popülasyonların kaybolmasına ve genetik açılmalar sonucu değişimlerine sebep olabilmektedir.

Modern ıslah yöntemleri ile tane veriminde artış sağlanmış olsa da bitkilerin hastalık ve zararlılara tepkisi ve iklim değişikliğine adaptasyon kabiliyetleri bakımından yetersiz kalabilmektedir (Hoisington ve ark., 1999; McCouch ve ark., 2013). Yerel popülasyonlar, bu noktada anaç popülasyonların dar genetik tabanının genişletilebilmesi için kullanılabilecek yegane unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Artan dünya nüfusu, gıdaya olan talebi arttırmakta, buna karşı değişen iklim koşulları ve azalan tarım alanları ise gıda üretimini tehdit etmektedir. Tüm değişim senaryoları ele alındığında, yerel popülasyonların farklı iklim ve şartlara adapte olabilme özellikleri, genetik tabanlarının genişliği ve stres faktörlerine dayanıklılıkları gibi özellikleri, ıslahçıları yerel popülasyonların genetik çeşitliliğini belirlemeye ve ıslah süreçlerinde bu materyalleri kullanmaya yöneltmiştir.

Yerel çeşitler, popülasyonlar arasında ve içinde önemli bir çeşitliliği korurken belirli tarımsal iklim koşullarına uyum sağlar (Brown, 1978; Marone ve ark., 2021) ve gelecekteki ıslah çalışmalarının yanı sıra yeni tarımsal sistemlerin ve yeni ürünlerin geliştirilmesi için de ilgi çekici bir genetik

çeşitlilik rezervuarı oluşturur. Bu nedenle, genetik çeşitliliklerinin araştırılması ve gelecek nesiller için korunması önemlidir.

MELEZ MISIR ISLAHI

Amerika kıtasının keşfinden sonra dünyaya yayılan mısır, günümüzden yaklaşık 10 bin yıl kadar önce kültüre alınmıştır. Amerikan çiftçileri tarafından kültürü yapılan mısırın ilk hibrit çalışmaları ise 1920'lerde yapılmaya başlanmıştır. Ancak 1940'lı yıllara kadar çoğu üretici hibrit mısırlara ulaşamamıştır. Hibrit mısır geliştirmede yeni tekniklerin gelişmesi ile (özellikle sitoplazmik erkek kısırlık) hibrit mısır çeşitleri yaygınlaşmaya, üreticilerin ihtiyaçlarına cevap vermeye başlamıştır.

Mısır, tüm dünyada başlıca olarak tane verimini arttırmak amacı ile ıslah edilmektedir. Tane verimi karmaşık bir yapıda bir karakterdir ve tane verimini etkileyen genetik faktörler, fizyolojik, morfolojik ve biyolojik faktörleri de etkilemektedir (Toklu, 2022). Günümüz hibrit çeşitleri, eski çeşitlere göre yeşil kalma süreleri uzun, yüksek hasat indeksine sahip, yatmaya dayanıklı, stres koşullarına dayanıklı ve sık ekime uygun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Melez mısır ıslahında anaç elde etme, diğer bitkilere oranla daha zordur. Yabancı dölleme görülen mısırdaki heterozigotluk oranı her generasyonda artmaktadır. Melez mısır ıslahının ilk aşaması olan ebevyn homozigot hatları geliştirmek zorlaşmaktadır. Özellikle istenilen özellikteki anaçları belirleme, klasik yollarla yapılan kendilemelerde uzun yıllar almaktadır. Bu nedenle farklı yöntemler geliştirilmiş olup süre ve iş gücü azaltılmaktadır. Double-haploid tekniği son yıllarda en yaygın kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bayhan ve ark. (2021), *In vivo* double haploid tekniği ile yerel mısır popülasyonlarından haploid bitkiler elde ederek saf hatlar geliştirdikleri çalışmalarında 12 adet haploid genotip üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar, çalışmalarının sonucunda yerel çeşitlerden elde edilecek saf hatlarda bulunabilecek biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık genlerinin belirlenmesinde double haploid bitkilerin kolaylık sağlayacağını bildirmişlerdir.

Double-haploid tekniği ile ortalama haploid indirgeme oranını %2.03, ortalama kromozom katlama oranını %50 olarak belirten Taşkın (2023), çalışmasından 20 adet katlanmış haploid hat üretmiştir.

Mısır ıslahında süre gelen bu yeniliklerin karşısında tüketici istekleri, dünya nüfusu, iklim stabilitesi ve diğer stres faktörleri sürekli değişmektedir. Bu nedenle, eski çeşitler veya yerel popülasyonlar ön plana çıkabilmektedir. Yerel popülasyonlar, belirli stres faktörlerine dayanıklılık bakımından ıslah süreçlerinde anaç olarak kullanılabilecek genetik materyallerdir.

YEREL MISIR POPÜLASYONLARININ ISLAH SÜRECİNDEKİ ROLÜ

Türkiye, mısır bitkisi ile yeni sayılabilecek bir geçmişe sahip olsa da, özellikle ticaret yollarının üzerinde olması sebebi ile farklı alt varyetelerde ve değişik genetik yapıda mısır popülasyonlarına ev sahipliği yapmaktadır. Öyle ki, Cengiz (2016), yayınladığı bir çalışmada Türkiye’de at dişi mısır varyetesinin sarı ve beyaz tane rengine sahip tiplerinin, sert mısır varyetesinin sarı tane rengine sahip tiplerinin, cin mısır varyetesinin ve şeker mısır varyetesinin yerel popülasyonlarının bulunduğunu aktarmıştır.

Türkmenistan menşeli yerel mısır popülasyonları ile yürütülen bir çalışmada, incelenen popülasyonların bitkisel özellikler bakımından kullanılan standart çeşitlerden yüksek ortalamalara sahip oldukları belirtilmiştir. Araştırmacılar, bu yerel popülasyonların ıslah çalışmalarında materyal olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Kahrıman ve ark., 2020)

Mısır, farklı kullanım alanlarının yanı sıra sürekli artan ihtiyaç ve değişen iklim koşulları ile birlikte üzerinde çok yönlü ıslah çalışması yürütülen bir bitkidir. Bu noktada yerel popülasyonların adaptasyon kabiliyetleri, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklılıkları gibi özellikleri sayesinde ıslah çalışmalarında ön plana çıkmaktadırlar. Öyle ki, Shanbao ve ark. (2009) hibrit çeşitlerin verimlerini arttırmada, hastalık ve diğer stres faktörlerine dayanıklılık bakımından ıslah çalışmalarında kullanılabilecek yararlı allelerin potansiyel kaynağı olarak yerel popülasyonları işaret etmektedirler.

Öner (2017), Ordu ili yerel mısır popülasyonları ile yürüttüğü çalışmada 156 adet farklı popülasyon üzerinde morfolojik karakterizasyon yapmıştır. Araştırmacı, incelediği popülasyonların % 49’unun ortalamanın üzerinde tek bitki verimine sahip olduğunu bildirmiştir.

Akbulut ve ark. (2021), Türkiye’nin farklı bölgelerinden 120 genotip ile yürüttükleri çalışmalarında Anadolu’ya ait popülasyonların protein fraksiyonları bakımından oldukça geniş bir varyasyona sahip olduğunu, farklı

bölgelerden temin edilen mısır popülasyonlarının akrabalık ilişkilerinin olabileceğini bildirmişlerdir.

Singh ve ark. (2019), yayınladıkları bir çalışmada, mısır yerel popülasyonlarının genetik olarak iyileştirilmesinin ve çeşitli ıslah programlarında daha fazla kullanılmasının, başarılı bir ürün ıslah programına büyük katkı sağlayacağını belirtmişlerdir. Yerel popülasyonların, bölgenin yaygın tarımsal-ekolojik koşullarıyla dengeli bir şekilde geliştirildiğinden, bölgesel streslere daha iyi adaptasyon sağlamaları beklenmektedir. Yerli germ plazmaları, popülasyonlar, heterotik havuzlar ve akraba hatlar geliştirmek için kullanılabilir (Yadav ve ark., 2015). Bu tür akraba hatlar, yerel çeşitlere göre potansiyel olarak daha yüksek verim sağlayan melezlerin geliştirilmesinde ebeveyn olarak kullanılabilir.

Alaca Yıldırım ve ark. (2025), yerel mısır çeşitlerinin genetik varyasyonlarının ortaya konmasının, ıslah programlarında kullanılabilirliğinin yanı sıra genetik kaynakların korunması açısından da önemli olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar yürüttükleri çalışmalarında, Türkiye’de yetiştirilen 34 farklı renkli mısır popülasyonlarının genetik açıdan önemli çeşitliliğe sahip olduklarını ve bu çeşitliliğin tarımsal veya kalite özellikleri yönünden yapılacak ıslah çalışmalarında genetik kaynak olarak değerli olacağını bildirmişlerdir. Etkili bir ıslah yöntemi geliştirme ve ıslah programlarını iyileştirmenin en iyi yolu bir popülasyonun genetik yapısını ve çeşitliliğini belirlemektir (Diaw ve ark., 2021).

Yerel mısır popülasyonları kısa mesafelerde bile oldukça farklı genotip ve fenotipe sahip olabilmektedirler (Takou ve ark., 2025). Fenotipik farklılıkların yanı sıra ıslah programları için genomik seçilime dayalı çalışmalar ıslah süreçlerinin daha hızlı ve daha doğru ilerlemesini sağlar (Marone ve ark., 2021). Uzun yıllar sadece fenotipik belirteçler ve morfolojik karakterler üzerinden sürdürülen ıslah çalışmaları modern ıslah teknikleri ile genomik bazda hızla ilerleme kaydetmektedir. Yerel popülasyonların genetik varyabilitesinin belirlenmesi, ıslahçılar için ortaya çıkacak farklı senaryolarda daha hızlı hareket etme ve yüksek verimli ve adaptasyon kabiliyeti yüksek çeşitleri geliştirmede yardımcı olmaktadır.

Yerel popülasyonlar içerisindeki genetik çeşitliliği değerlendirmek için onlardan elde edilecek Double-haploid (DH) hat koleksiyonları gibi tekrarlanabilir genetik birimlerin, bazı dezavantajların üstesinden gelebileceği

öne sürülmüştür (Wilde ve ark., 2010; Strigens ve ark., 2013; Melchinger ve ark., 2017). Doğal çeşitliliğin hedefli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için, ilgi duyulan özellik ve mümkün olduğunca çok sayıda diğer agronomik ve morfolojik özellik için hat başına ve test melezi performansının kapsamlı bir karakterizasyonu yapılmalıdır. Ve böylece diğer özelliklerde önemli dezavantajlar yaratmadan, elit germ plazmasına uygun çeşitliliğin introgresyonuna izin veren bir ön ıslah stratejisi geliştirilmelidir (Sood ve ark. 2014; Hölker ve ark., 2019).

SONUÇ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz için de önemli bir tahıl türü olan mısır, üzerinde yoğun ıslah çalışmaları yapılan bir türdür. Mısır ıslah çalışmalarında amaca yönelik ebeveyn kendilenmiş saf hat geliştirme süreçleri uzun, zahmetli ve zordur. Amaca yönelik aranan genetik materyaller, bölge şartlarına adapte olmuş yerel popülasyonlardan temin edilebilir. Ülkemiz, yerel mısır popülasyonu bakımından zengin genetik kaynaklara sahiptir. Bu kaynakların karakterize edilmesi, saklanması ve ıslah çalışmalarında kendine yer bulabilmesi önemlidir.

Yerel mısır popülasyonları, genetik çeşitlilik oluşturma açısından korunması gereken materyallerdir.

KAYNAKÇA

- Alaca Yıldırım, E., Kahrıman, F., & Matur, F. (2025). Genetic diversity of Turkish colored maize landraces assessed by simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1–12.
- Bayhan, M., Özkan, R., Albayrak, Ö., Yıldırım, R., & Akıncı, C. (2021). *İn vivo* double haploid tekniği ile yerel çeşitlerden elde edilen haploid hatların saf hat olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(5), 1029–1036. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.8251521>
- Bayramoğlu, Z., & Bozdemir, M. (2018). Economic development analysis of maize production in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(8), 1092–1100. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i8.1092-1100.2120>
- Bellon, M. R. (2008). Do we need crop landraces for the future? *Agrobiodiversity Conservation and Economic Development*, 10, 51.
- Benson, G. O., & Pearce, R. B. (1987). Corn perspective and culture. In S. A. Watson & P. E. Ramstad (Eds.), *Corn chemistry and technology* (pp. 1–31, p. 605). American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Berger, J. (1962). *Maize production and the manuring of maize* (p. 315). Geneva: Centre d'Étude de l'Azote.
- Brown, A. H. D. (1978). Isozymes, plant population genetic structure and genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics*, 52, 145–157.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., ... & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 627–637.
- Dawson, I. K., Powell, W., Hendre, P., Bančić, J., Hickey, J. M., Kindt, R., ... & Jamnadass, R. (2019). The role of genetics in mainstreaming the production of new and orphan crops to diversify food systems and support human nutrition. *New Phytologist*, 224(1), 37–54.
- Diaw, Y., Tollon-Cordet, C., Charcosset, A., Nicolas, S. D., Madur, D., Ronfort, J., et al. (2021). Genetic diversity of maize landraces from the South-West of France. *PLoS ONE*, 16(2), e0238334. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238334>
- Dowswell, R. C., Paliwal, R. L., & Cantrell, R. P. (1996). *Maize in the Third World* (p. 268). Westview Press.
- Dwivedi, S. L., Ceccarelli, S., Blair, M. W., Upadhyaya, H. D., Are, A. K., & Ortiz, R. (2016). Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science*, 21(1), 31–42.

- Hoisington, D., Khairallah, M., Reeves, T., Ribaut, J. M., Skovmand, B., Taba, S., et al. (1999). Plant genetic resources: What can they contribute toward increased crop productivity? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 96, 5937–5943. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5937>
- Hölker, A. C., Mayer, M., Prestler, T., Bolduan, T., Bauer, E., Ordas, B., ... & Schön, C. C. (2019). European maize landraces made accessible for plant breeding and genome-based studies. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(12), 3333–3345.
- Jarvis, A., Lane, A., & Hijmans, R. J. (2008). The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1–2), 13–23.
- Jugenheimer, R. W. (1958). Hybrid maize breeding and seed production (FAO Agricultural Development Paper No. 62, p. 369). Rome: FAO.
- Kahrıman, F., Ada, F., & Uysal, Z., & Songur, U. (2020). Türkmenistan menşeli yerel mısır popülasyonlarının Çanakkale koşullarında verim ve tane kalite özelliklerinin incelenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 79–86.
- Kırtok, Y. (1998). Mısır: Üretimi ve kullanımı (p. 448). İstanbul: Kocaoluk Basım ve Yayınevi.
- Kün, E. (1985). Sıcak iklim tahılları (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 953, Ders Kitabı No. 257, p. 317). Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Marone, D., Russo, M. A., Mores, A., Ficco, D. B., Laidò, G., Mastrangelo, A. M., & Borrelli, G. M. (2021). Importance of landraces in cereal breeding for stress tolerance. *Plants*, 10(7), 1267.
- McCouch, S., Baute, G. J., Bradeen, J., Bramel, P., Bretting, P. K., Buckler, E., et al. (2013). Feeding the future. *Nature*, 499, 23–24.
- Melchinger, A. E., Schopp, P., Müller, D., Schrag, T. A., Bauer, E., Unterseer, S., Homann, L., Schipprack, W., & Schön, C. C. (2017). Safeguarding our genetic resources with libraries of doubled-haploid lines. *Genetics*. <https://doi.org/10.1534/genetics.115.186205>
- Öner, F. (2017). Ordu ili yerel mısır (*Zea mays* L.) genotiplerinin morfolojik karakterizasyonu. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 3(2), 108–119. <https://doi.org/10.24180/ijaws.344833>
- Shanbao, Q., Yuhua, W., Tingzhao, R., Kecheng, Y., Shibin, G., & Guangtang, P. (2009). Effective improvement of genetic variation in maize lines derived from R08×Donor backcrosses by SSRs. *Biotechnology*, 8, 358–364.
- Singh, A. R., Devi, E. L., Dayal, V., Saha, S., Lungmauna, D. S., Boopathi, T., & Singh, S. B. (2019, March). Diversity of landraces maize in Mizoram:

- Prospects, challenges and opportunities. In *Souvenir of National Workshop on Scientific Maize Cultivation in North East India* (pp. 98–104). Aizawl, India.
- Sood, S., Flint-Garcia, S., Willcox, M., & Holland, J. (2014). Mining natural variation for maize improvement: Selection on phenotypes and genes. In R. Tuberosa, A. Graner, & E. Frison (Eds.), *Genomics of plant genetic resources*. Dordrecht: Springer.
- Strigens, A., Schipprack, W., Reif, J. C., & Melchinger, A. E. (2013). Unlocking the genetic diversity of maize landraces with doubled haploids opens new avenues for breeding. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057234>
- Takou, M., Schulz, K., & Stetter, M. G. (2025). Local selection shaped the diversity of European maize landraces. *Molecular Ecology*, e17720.
- Taşkın Zere, S. (2023). *In vivo* katlanmış haploid tekniği ile mısır genotiplerinin (*Zea mays* L.) geliştirilmesi (Doktora tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toklu, F. (2022). Melez mısır ıslahı. In *Mısır: Islah teknikleri ve yetiştiriciliği*. Ankara: IKSAD Yayın Evi.
- Wilde, K., Burger, H., Prigge, V., Presterl, T., Schmidt, W., Ouzunova, M., & Geiger, H. H. (2010). Testcross performance of doubled-haploid lines developed from European flint maize landraces. *Plant Breeding*, 129, 181–185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01677.x>
- Yadav, O. P., Hossain, F., Karjagi, C. G., Kumar, B., Zaidi, P. H., Jat, S. L., Chawla, J. S., Kaul, J., Hooda, K. S., Kumar, P., Yadava, P., & Dhillon, B. S. (2015). Genetic improvement of maize in India: Retrospect and prospects. *Agricultural Research*, 4(4), 325–338.

BÖLÜM 5

KOYUNYÜNÜ GÜBRESİNİN ÇELTİKTE (*Oryza sativa* L.) BAZI BİTKİSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ*

Çağrı ARSLAN
Prof. Dr. Nuri YILMAZ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17603863>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Ordu, Türkiye.
y_nuri@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-0597-6884

* Bu çalışmadaki veriler Çağrı Arslan'ın Yüksek lisans tezinden elde edilmiştir.

GİRİŞ

Tahıllar dünya besin ihtiyacını karşılamakta önde gelen besin grupları içerisinde yer alır. Dünya nüfusunun yarısından fazlası besin kaynağı olarak yararlandığı en önemli tahıl ürünlerinden birisi de sıcak iklim tahılı olan çeltik bitkisidir. Bu durum çeltik bitkisini önemli bir gıda maddesi haline getirmektedir. Çeltik tarımı M.Ö. 3000 yıllarında yapılmaya başlanmıştır. Çeltik orijini Güneydoğu Asya’da Hindistan ve Çin-Hindi olup dünyaya da buradan yayılmıştır. Ülkemizde de yaklaşık 500 yıl önce çeltik tarımına başlanmıştır. Günümüzde dünya üzerinde buğday ve mısır ile beraber en çok yetiştirilen çeltik, günlük karbonhidrat gereksinimlerini karşılamada ana besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla hızla artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacını karşılayabilmek için de tahıl üretimi büyük önem arz etmektedir (Akay, 2010; Emeklier, 2012). Çeltik, pirince işlendikten sonra içeriğinde daha az miktarda protein barındırmasına karşın beslenme için mutlak gerekli aminoasitlerce zengindir. Ayrıca pirinçte birçok bitki proteininde az rastlanan lizin ve threonine aminoasitleri bulunmaktadır (Geçit ve ark., 2018).

Dünya 2023 yılında çeltik ekiliş alanı yaklaşık 168.356.566 ha, üretim 799.999.504 ton ve ortalama verim 475 kg/da olarak gerçekleşmiştir. Başlıca çeltik üreticisi olan ülkeler Çin, Hindistan, Bangladeş, Endonezya ve Vietnam’dır. Dünya çeltik üretiminin yaklaşık %71.2’si bu ülkeler tarafından karşılanmaktadır. Çin ve Hindistan ise dünya ekiliş alanının %45.6 ‘sına sahiptirler (FAO, 2024).

Ülkemizde 2019 yılında ekim alanı 126.419 ha, üretim 1.000.000 ton olup verim 791 kg/da; 2020 yılında çeltik ekim alanı yaklaşık 125.398 ha, üretim 980.000 ton ve verim 781 kg/da; 2021 yılında ekim alanı 129.475 ha, üretim 1.000.000 ton, verim 772 kg/da; 2022 yılına gelindiğinde ise ekim alanı 120.522 ha, üretim 950.000 ton ve verim 788 kg/da olarak gerçekleşmiştir (FAO, 2024). Verim ve üretimdeki yıllar arasındaki dalgalanmaların 2020/21 yıllarında dünyada ve ülkemizde görülen COVID-19 pandemi hastalığının neden olabileceği düşünülmektedir (Yazıcı, 2021).

Ülkemizde çeltik yetiştiriciliğinde Marmara ve Orta Karadeniz bölgelerinin önemli bir pay sahibidir. Ekim alanı ve üretim olarak Batı Marmara Bölgesi ön plana çıkmaktadır. Bölgelere kıyasla illerde en fazla ekiliş alanı ve üretimin Edirne, Samsun, Balıkesir ve Çanakkale olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. 2022 Yılı Türkiye’de Bölgelere Çeltik Ekiliş Alanı, Üretimi ve Verimi *

Bölgeler	Ekilen Alan (da)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Marmara Bölgesi (%68.2)	822 409	666 852	810
Karadeniz Bölgesi (%28.6)	344 309	261 769	760
Akdeniz Bölgesi (%1.3)	15 747	8 362	531
Orta Anadolu Bölgesi (%0.6)	7 735	6 513	842
Güneydoğu Anadolu Bölgesi (%1.3)	14 746	6 363	431
Doğu Anadolu Bölgesi (<%0.1)	280	141	503
Toplam	1 205 226	950 000	788

*TÜİK, 2024

Çeltik tarladan tane ve sap olarak fazla miktarda kuru madde kaldırdığı için bitki besin maddelerine de önemli ölçüde ihtiyaç duymaktadır. İyi verim elde edebilmek için ise doğru gübreleme önemlidir. Çeltikte özellikle azotlu ve fosforlu gübrelerin önemli derecede verime etkileri olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir.

Çeltiğin azotlu gübre isteği diğer bitkilere göre daha fazladır. Çeltikten iyi tane verimi elde edebilmek için 15-17 kg/da N, 6-8 kg/da P, 2-4 kg/da K uygulaması ideal bir gübrelemedir (Şahin, 2002; Geçit ve ark., 2018).

Uzun süreli ve gereğinden fazla kimyasal gübre kullanımı toprağın sahip olduğu besin maddeleri dengesinde bozulmalara neden olabilmektedir. Ayrıca toprak tuzluluğu, ağır metal birikimi, ötrofikasyon, sularda nitrat birikimi, ozon tabakasının incilmesi ve sera etkisi gibi periferik sorunlara da neden olabilmektedir (Sönmez ve ark, 2008). Ülkemizde gübreleme üzerine yapılan çalışmalarda araştırmacılar genellikle kimyasal gübreleri tercih etmesinin yanı sıra organik gübreleme konusunda yapılan araştırmaların kısıtlı olması da sürdürülebilir toprak özelliği ve toprak verimliliği açısından önemli hale gelmektedir. Organik gübre kullanılarak yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde organomineral gübreleme ile bitkisel verim öğeleri, bitkilerin mineral beslenmeleri ve toprak özellikleri üzerinde olumlu etkiler

sağladığını göstermektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir toprak verimliliği ve ülkemiz tarımı yönünden organomineral gübrelerle yönelik çalışmaların artırılması ve kullanımının teşvik edilmesi sürdürülebilir tarım açısından oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir (Erdal, 2018).

Organik tarımın yapılabilmesi, daha sağlıklı beslenme ve çevre için organik gübre son zamanlarda daha da önem kazanmaktadır. Organik gübreler; ahır gübresi (sığır, at, koyun, kanatlı hayvan gübresi), yeşil gübreler, kent atığı gübreler ve kompost gübrelerle ilaveten yapağı sayılabilmektedir. Yapağı yani yün, keratin proteinin yanı sıra bitki beslenmesinde önemli olan azot, karbon ve kükürtü de bünyesinde bulundurmaktadır. Yapılan çalışmalarda da birçok bitki türünde verimlilik üzerine olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir (Tüfekci ve Olfaz, 2015).

Yün pelet işlemi ile satılamayan yünler için alternatif bir pazarlama fırsatı olmakla kalmayıp, aynı zamanda mineral gübrelerle birlikte sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif oluşturmaktadır.

Bitkilerdeki besin içeriğinin analizine dayanarak, koyun yünü gübresi peletlerinin bazı bitki kültürleri için başarılı bir şekilde mineral gübrelerin yerini alabileceği görülmektedir (Böhme ve ark., 2010).

Bu çalışma, çeltik bitkisinde (*Oryza sativa* L.) koyun yünü gübresinin bazı bitkisel özelliklere etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

1. MATERYAL ve YÖNTEM

1.1 Materyal

Araştırma, Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait ısıtmasız yarı polikarbon-plastik araştırma serasında yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak; Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilen Kocamaninci çeltik çeşidi kullanılmıştır. Materyal temini yine geliştiricisi olan Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden sağlanmıştır.

Denemede kullanılan Kocamaninci çeşidi KA464 x Kızılırmak melezinden geliştirilmiştir. Bitki boyu 80-85 cm arasında değişmektedir. Yaprakları yarı dik pozisyonda ve yeşil renktedir. Sağlam saplıdır ve yatmaya karşı dayanıklıdır. Kocamaninci çeşidinin çeltik bin dane ağırlığı 33-34 gr, pirinç bin dane ağırlığı ise 23-25 gr'dır. Pirinç tanesi 6.1-6.2 mm uzunluğunda ve 2.8-2.9 mm genişliğindedir. Uzunluk/genişlik oranı 2.1-2.2'dir. Tanelerin

görünümü camsı ve mattır. Olgunlaşma süresi 125-130 gün olup, 800-1000 kg/da yüksek verim potansiyeline sahiptir.

Koyun yünü gübresi, kırkım sezonlarında elde edilen yünün zararlı maddelerden arındırılıp öğütülmesi ve peletlenmesiyle üretilir. Bu gübre, %70 toplam organik madde (bunun %30'u toplam organik karbon ve %42'si toplam humik ve fulvik asit), %7 toplam azot (N) ve %5 suda çözünür potasyum oksit (K_2O), içermektedir. Koyun yünü gübresinin pH değeri 11-13 aralığındadır.

Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toprak örneği; kumlu-tınlı bir yapıya sahip, nötr pH'lı, tuzsuz, çok az kreçli ve düşük seviyede organik madde içeren bir yapı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

<i>Özellik</i>	<i>Değerlendirme</i>	
Bünye	Kumlu Tın	
Kum (%)	64.20	
Kil (%)	16.70	
Silt (%)	19.10	
pH	7.07	Nötr
EC (ds/m)	0.07	Tuzsuz
Organik Madde (%)	0.68	Çok az
Organik C (%)	0.39	
Toplam N (%)	0.06	Az
Alınabilir P ($mg\ kg^{-1}$)	11.00	Yeterli
Alınabilir K ($mg\ kg^{-1}$)	127.20	Yeterli
Alınabilir Mg ($mg\ kg^{-1}$)	158.20	Az
Alınabilir Ca ($mg\ kg^{-1}$)	5529	Fazla
Alınabilir Fe ($mg\ kg^{-1}$)	19.60	Fazla
Alınabilir Cu ($mg\ kg^{-1}$)	1.80	Fazla
Alınabilir Mn ($mg\ kg^{-1}$)	14.70	Yeterli
Alınabilir Zn ($mg\ kg^{-1}$)	0.43	Az

1.2. Yöntem

1.2.1. Denemenin Kurulması

Deneme tesadüf parseller deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede 12.5 L hacimli ve 10'ar kg elenmiş toprak içeren 36 saksı ($9 \times 4 = 36$) kullanılmıştır. Her saksıda 16 çeltik bitkisi olacak şekilde yastıklardan alınan yaklaşık 20 cm boylu fideler (Kün, 1985) ile fideleme işlemi 09.08.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

Dekara 15 kg N (CaNO_3), 10 kg P ve 10 kg K (KH_2PO_4) olacak şekilde temel gübreleme yapılmıştır. Fosfor ve potasyum gübrelerinin tamamı dikim ile verilirken azot 2 farklı dönemde (yarısı dikimle beraber; yarısı sapa kalkma evresi sonunda) verilmiştir. Araştırmada 9 farklı koyun yünü gübresi dozu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 kg/da) kullanılmıştır. Koyun yünü gübresinin dozları 10 kg toprak içeren saksılara oranlanarak verilmiştir. Dekara 100 kg koyun yünü gübresi için 4 g gübre uygulanmıştır (0:0, 50kg:2g, 100kg:4g, 150kg:6g, 200kg:8g, 250kg:10g, 300kg:12g, 350kg:14g, 400kg:16g). Koyun yünü gübre uygulaması fideleme işlemi öncesinde toprağa karıştırılarak gerçekleştirilmiştir.

İlk gözlemler salkım oluşumunun olduğu 15.09.2022 tarihinde yapılmıştır (Gövde çapı, Spad ölçümü). Diğer gözlemler hasat ile beraber 10.11.2022 tarihinde alınmıştır. Dikim zamanından hasatın gerçekleştiği tarihin bir hafta öncesine kadar sulama işlemi devam etmiştir. Yabancı ot kontrolü el ile sağlanmıştır. Çeltikler tam olum zamanına eriştiğinde hasat işlemi yapılmıştır.

1.2.2. Verilerin Elde Edilmesi

Denemede hasat yapıldıktan sonra, bitkilerin %14 rutubete kadar kurumaları sağlanmıştır. Daha sonra TTSM (Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi) tarafından yayımlanan çeltik bitkisi teknik talimatlarına göre aşağıda belirtilen gözlemler alınmıştır (Anonim, 2003).

1.2.2.1. Bitki Boyu (cm)

Saksılardaki tüm bitkiler toprak seviyesinden salkım uç tanesine kadar olan kısım metre ile ölçülüp ortalaması alınmıştır.

1.2.2.2. Kardeşlenme Sayısı

Hasat ile beraber her saksıda kardeşlenme sayılıp ortalaması alınmıştır.

1.2.2.3. Gövde Çapı (mm)

Bitkiler hasat edilmeden önce saksılardaki tüm bitkilerin gövde kısmı kumpas ile ölçülüp ortalaması alınmıştır.

1.2.2.4. Salkım Uzunluğu (cm)

Bitkiler hasat edildikten sonra saksılardaki tüm bitkilerin salkım boğumuyla salkımın en uç başakçığı arasında kalan mesafe ölçülmüştür.

1.2.2.5. Pirinç Tane Uzunluğu (mm)

Her saksıdan tesadüf olarak seçilen parlatılmış 10 adet sağlam tanenin ölçülmesi ve ortalamasının alınmasıyla belirlenmiştir. Aşağıda belirtilen şekilde pirinç tane uzunluğu sınıflandırılmıştır (Emeklier, 2012).

Sınıf	Uzunluk
Çok uzun	7.50 mm'den uzun
Uzun	6.61 – 7.50 mm
Orta	5.51 – 6.60 mm
Kısa	5.51 mm'den kısa

1.2.2.6. Pirinç Tane Genişliği (mm)

Her saksıdan tesadüf olarak seçilen parlatılmış 10 adet sağlam tanenin geniş kısmının ölçülmesi ve ortalamasının alınmasıyla belirlenmiştir. Aşağıda belirtilen şekilde pirinç tane genişliği sınıflandırılmıştır (Emeklier, 2012).

Sınıf	Uzunluk
İnce	3 mm'den fazla
Orta	2.1 – 3.0 mm
Yassı	1.1 – 2.0 mm
Yuvarlak	1.1 mm'den az

1.2.2.7. Hasat İndeksi (%)

Hasat İndeksi = $\frac{\text{Tane Verimi}}{\text{Sap} + \text{Tane}} \times 100$ formülüne göre hesaplanmıştır.

1.2.2.8. SPAD Değeri

Her saksıdan sapa kalkma devresinin sonunda tesadüfen seçilen 8 bitkinin genç yapraklarının orta kısımları SPAD cihazı ile ölçülerek SPAD birimi cinsinden belirlenmiştir.

1.2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmadan elde edilen veriler JMP 13.0 istatistik paket program kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu önemli çıkan ortalamalar LSD çoklu karşılaştırma testine göre gruplandırılmıştır.

2. BULGULAR ve TARTIŞMA

2.1. Bitki Boyu (cm)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinin bitki boyuna ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir.

Yapılan ölçümlerde bitki boyu 62.13-73.48 cm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek bitki boyu koyun yünü gübresinin 300 kg/da dozunda belirlenirken en kısa bitki boyu ise 0 (kontrol) dozunda elde edilmiştir. Ortalama bitki boyu 68,31 cm olarak bulunmuştur. Uygulanan koyun yünü gübresi dozlarına göre bitki boyu 300 kg/da dozuna kadar artış göstermiştir. Sonrasında uygulanan dozlarda dalgalanma gözlemlenmiştir. 250 kg/da dozu da ilk grup içerisinde yer aldığından en yüksek bitki boyu elde edilen 300 kg/da ile aralarında istatistiksel bir farklılık yoktur. Ayrıca uygulamada 200 kg/da ve üstü dozların uygulama bitki boyu ortalamasının üzerinde olduğu da gözlemlenmiştir (Çizelge 3). Bitki boyunun çeşit özelliğine kıyasla daha kısa olmasının nedeni vejetasyon süresinin kısa olması ve sera ortamındaki sıcaklığın kontrolsüz bir şekilde artışından kaynaklı olabileceği tahmin edilmektedir.

Yıldırım ve Yılmaz (2023) çeltik bitkisine farklı dozlarda solucan gübresi uygulaması sonucu bitki boyunu 43.94-52.48 cm; Sezer ve ark., (2017) serpme ekim ortalamasını 70.19 cm, fideleme ekim yöntemi ortalamasını ise 77.80 cm; Akyıldız ve Alp (2023) en düşük bitki boyunu herbisit uyguladıkları Sarıçanak popülasyonundan 50.67 cm olarak bulurken en yüksek bitki boyunu ise kontrol dozu olan Sarıçanak popülasyonundan 71.20 cm ve istatistiksel olarak aynı grup içerisinde yer alan Cobi popülasyonundan 71.00 cm olarak elde etmişlerdir.

2.2. Kardeşlenme Sayısı

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinin kardeşlenmeye ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir. Çeltik bitkisinde kardeşlenme sayısı 1.47 ile 2.45 adet arasında değişim göstermiştir. En fazla

kardeşlenme koyun yünü gübresinin 400 kg/da dozunda 2.45 olarak ölçülürken en az kardeşlenme ise 0 (kontrol) dozunda ölçülmüştür. Ortalama kardeşlenme sayısı 2.02 adet olarak bulunmuştur. 150 kg/da ve üstü dozların ortalamasının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan dozlarda 250 kg/da dozuna kadar artış gözlemlenmiş olup 300 kg/da dozundan sonra tekrar artış gözlemlenmiştir (Çizelge 3).

Çalışmamızda uygulanan gübre miktarı arttıkça kardeşlenme sayısının da arttığı söylenebilmekle beraber kardeşlenme sayısı ile koyun yünü gübresinin arasında pozitif korelasyon olduğu da söylenebilmektedir.

Aydın (2014) uygulanan azot arttıkça bitki gelişime etkisini belirlemiştir. Azotlu gübre ve farklı gübre dozları ile kardeşlenme sayısının arttığını bildirmiştir. Yaptığımız çalışmada da gübre dozu arttıkça kardeşlenme sayısı artmış olup aralarında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Kant ve ark., (2006) suya doymun koşullarda uygulanan farklı azotlu gübre ve dozlarının sera koşullarında incelediklerinde kardeşlenme sayısını 1.33-5 adet arasında ortalamasını da 3.17 olarak bulmuşlardır. Her azotlu gübre formunda uygulanan doz miktarı arttıkça kardeşlenme sayısında artış gözlemlenmiştir.

2.3. Gövde Çapı (mm)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinin gövde çapına ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir. Uygulama sonucunda çeltik bitkisinde gövde çapı 2.48-3.39 mm arasında değişiklik göstermiştir. En kalın gövde çapı 400 kg/da dozundan elde edilmiş olup en ince gövde çapı ise 0 (kontrol) dozundan elde edilmiştir. Gövde çapı ortalaması 3.11 mm olarak bulunmuş olup 200 kg/da ve üstü dozlar bu ortalamasının üzerinde ölçülmüştür (Çizelge 3).

Araştırmada gövde çapının uygulanan dozlara göre düzensiz olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Gövde çapı 200 kg/da dozuna kadar artış gösterirken bu dozdan sonrasında kısmen sabit kalmıştır. 400 kg/da dozu ile 200 kg/da, 250 kg/da, 300 kg/da ve 350 kg/da dozları istatistiksel olarak aynı gruplandırma içerisinde yer aldıklarından aralarında istatistiksel olarak farklılık bulunmamaktadır.

Çizelge 3. Koyun Yünü Gübresinin Çeltik Bitkisinde Bitki Boyu, Kardeşlenme Sayısı, Gövde Çapı, Salkım Uzunluğu, Pirinç tane Uzunluğu, Pirinç Tane Genişliği, Hasat İndeksi ve SPAD Değeri Ortalamaları

KY G	BB**	KS**	GÇ**	SU**	PTU	PTG	Hİ **	SPAD Değeri**
0	62.13 e	1.47 g	2.48 c	8.49 g	5.78	2.88	41.57 d	23.40 e
50	63.27 de	1.60 f	2.81 bc	10.10 f	5.73	2.85	42.60 d	26.90 de
100	64.42 d	1.92 e	2.81 bc	10.56 e	5.66	2.83	43.46 d	24.81 e
150	66.57 c	2.06 d	3.09 ab	12.44 d	5.88	2.85	45.91 c	30.07 cd
200	70.36 b	2.14 c	3.37 a	12.89 cd	5.92	2.88	51.98 ab	32.82 bc
250	72.67 a	2.14 c	3.34 a	12.93 cd	5.80	2.85	52.09 ab	36.23 ab
300	73.48 a	2.13 bc	3.38 a	13.29 bc	5.84	2.90	50.61 b	35.45 ab
350	70.55 b	2.25 b	3.36 a	13.45 ab	5.91	2.80	51.31 ab	33.43 bc
400	71.36 b	2.45 a	3.39 a	13.85 a	5.91	2.95	53.06 a	38.18 a
ort	<i>68.31</i>	<i>2.02</i>	<i>3.11</i>	<i>12.00</i>	<i>5.83</i>	<i>2.87</i>	<i>48.07</i>	<i>31.25</i>

(**): %1 önem seviyesi)

Bir yüksek lisans çalışmasında Temür (2016), farklı silisyum dozları uygulaması sonrasında gövde çapını 3.30-3.74 mm arasında bildirmiştir. Uygulanan silisyum dozu arttıkça gövde çapında azalma olduğunu gözlemlenmiştir. Uygulama alanları farklı olsa da bulunan sonuçlar birbirine yakın değerler göstermektedir. Azot uygulaması sonucu bitki boyunun artmasına karşılık gövde çapı da artmıştır.

2.4. Salkım Uzunluğu (cm)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinin salkım uzunluğuna ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir. Yapılan ölçümlerde en kısa salkım uzunluğu 8.49 cm olarak 0 (kontrol) dozundan ölçülürken en uzun salkım uzunluğu 13.85 cm olarak 400 kg/da dozundan ölçülmüştür. En uzun salkım uzunluğu 400 kg/da dozundan ölçülmüş olsa da 350 kg/da dozu ile aynı grup içerisinde yer aldıklarından aralarında istatistiksel

olarak bir fark yoktur. Ortalama salkım uzunluğu 12.00 cm olarak bulunmuştur. 150 kg/da ve üstü dozların ortalamasının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 3).

Uygulanan gübre miktarı arttıkça salkım uzunluğu da artmıştır. Dolayısıyla azot miktarı ile salkım uzunluğu arasında pozitif korelasyon olduğu söylenebilmektedir.

Yıldırım ve Yılmaz (2023), farklı dozlardaki solucan gübresi ile yapmış oldukları çalışmada salkım uzunluğunu 8.93-11.23 cm arasında bulmuşlardır. Fakat artan solucan gübresi dozunun salkım uzunluğunda etkili olmadığı sonucuna varmışlardır.

2.5. Pirinç Tane Uzunluğu (mm)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinde pirinç tane uzunluğuna ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3'de verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda pirinç tane uzunluğu 5.66-5.92 mm arasında değişiklik göstermektedir. Dozlar arasında tane uzunluğu olarak fark olsa da istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır. Uygulama neticesinde 200 kg/da, 300 kg/da, 350 kg/da ve 400 kg/da dozlarının pirinç tane uzunluğu ortalamasının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 3). Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi teknik talimatlarına ve Emeklier (2012)'in pirinç tane uzunluğu skalasına göre pirinç tane uzunluğu orta olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışma sonucunda elde edilen pirinçlerin çeşit pirinç tane uzunluğu standartının altında kaldığı gözlemlenmiştir.

Yılmaz ve Sonkaya (2018) yapmış olduğu çalışmada çeşitlerin pirinç tane uzunluğu ortalamasını 5.91 ile 6.05 mm arasında bulmuştur.

2.6. Pirinç Tane Genişliği (mm)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinde pirinç tane genişliğine ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3'de verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda pirinç tane genişliği 2.80-2.95 mm arasında değişiklik göstermektedir. Dozlar arasında tane genişliği olarak fark olsa da istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır. Uygulama neticesinde 0 (kontrol), 200 kg/da, 300 kg/da ve 400 kg/da dozlarının uygulama pirinç tane ortalamasının üzerinde olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 3). Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi teknik talimatlarına ve Emeklier (2012)'in pirinç tane genişliği skalasına göre pirinç tane genişliği orta olarak bulunmuştur. Çalışma

sonucunda elde edilen pirinçlerin çeşit pirinç tane genişliği standartına uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Yılmaz ve Sonkaya (2018) yapmış olduğu çalışmada pirinç tane genişliğini 2.53-2.64 mm olarak bulmuştur. Hem pirinç tane uzunluğu hem pirinç tane genişliği, denemelerde kullanılan çeşitlerin özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca denemeler farklı zamanlarda kurulduklarından dolayı dönemin mevsimsel şartları parametre değerlerini etkileyebileceği düşünülmektedir.

2.7. Hasat İndeksi (%)

Yapılan çalışmada çeltik bitkisinde hasat indeksine ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir. Yapılan ölçümlerde hasat indeksi %41.57 ile % 53.06 arasında değişmektedir. Hasat indeksi en az kontrol (0) dozunda ölçülmüştür. Hasat indeksi en fazla 400 kg/da dozunda olsa da 200 kg/da, 250 kg/da ve 350 kg/da dozları da aynı grupta yer aldığından aralarında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. Ayrıca hasat indeksi ortalaması %48.06 olarak bulunmuş olup 200 kg/da ve üstü dozlar bu ortalamanın üzerindedir (Çizelge 3).

Şahin ve ark., (2012) Çankırı ili Kızılırmak ilçesinde yaptıkları bir denemede farklı çeltik çeşitlerinde hasat indeksini %28.8-53.3 olarak bulmuşlardır. Özcan ve Taban (2018) farklı çeltik çeşitlerine farklı dozlarda çinko uygulaması sonucunda hasat indeksini %38.49 ile %57.17 arasında bulmuşlardır. Kahraman ve ark., (2021) Diyarbakır’da yaptıkları çalışmada konvansiyonel ve organik uygulama sonucunda Karacadağ çeşidinde %35.83 ve Osmancık-97 çeşidinde ise %28.4 ortalama değerleri bulmuşlardır.

2.8. SPAD Değeri

Yapılan çalışmada SPAD değerine ait ortalama değerleri ve istatistiksel gruplandırmalar çizelge 3’de verilmiştir. SPAD ortalama değerlerine göre en az klorofil miktarı kontrol (0) dozunda 23.39 olarak, en fazla klorofil miktarı ise koyun yünü gübresinin 400 kg/da dozunda 38.18 olarak ölçülmüştür. SPAD değerleri arasında farklılık bulunsada 250 kg/da ve 300 kg/da dozları da ilk grup içerisinde yer aldığından 400 kg/da ile aralarında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır. Uygulama SPAD değeri ortalaması 31.25 olarak bulunmuş olup 200 kg/da ve üstü dozların ortalama üzerinde olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 3).

Özdemir ve ark., (2019) italyan çiminde uyguladıkları farklı azot dozları (0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 N/kg) sonucunda iki yıllık ortalamanın genellemesi olarak 40 kg N/da'a kadar artış gösterdiğini ve bu sdozdan sonra istatistiksel olarak önemli düzeyde değişim olmadığını vurgulamışlardır.

Her iki çalışmada da azot dozu arttıkça yukarı yönlü dalgalanma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak azot miktarı arttıkça SPAD değerinin de arttığı söylenebilmektedir. Yıldırım ve ark., (2009); Bavec ve Bavec (2001)'in kışlık buğday çeşitlerinde tane verimi ile SPAD değerleri arasında başaklanma ve dolum döneminde olumlu ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Araştırma 9 farklı koyun yünü gübresi dozu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 kg/da)'nın çeltik bitkisinde bazı bitkisel özelliklere etkisi incelenmiştir. Araştırmada bitki boyu, kardeşlenme sayısı, gövde çapı, salkım uzunluğu, pirinç tane uzunluğu, pirinç tane genişliği, hasat indeksi ve spad değeri gibi parametreler incelenmiştir. Araştırma sonucunda koyun yünü gübresi dozlarının bitki boyu, kardeşlenme sayısı, gövde çapı, salkım uzunluğu, hasat indeksi ve spad değerlerine istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) etkisi varken; pirinç tane uzunluğu ve pirinç tane genişliğine istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Bitki boyu en yüksek 300 kg/da dozunda 73.48 cm olarak ölçülmüştür fakat 250 doz da aynı grupta olduğundan aralarında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır. Bitki boyu 300 kg/da dozuna kadar sürekli artış gösterirken daha sonrasında dalgalı olarak artış göstermiştir. Bitki boyu ortalaması 68.31 cm olarak bulunmuştur. 200 kg/da ve üstü dozlar ortalamanın üzerindeyken 150 kg/da ve altındaki dozların ortalamanın altında olduğu gözlemlenmiştir.

Kardeşlenme sayısı en yüksek 400 kg/da 2.45 adet ölçülmüştür. En düşük değer ise 0 (kontrol) dozunda 1.47 adet olarak ölçülmüştür. Kardeşlenme sayısı ortalama olarak 2.02 adet olup 150 kg/da ve üstü dozlar da uygulama ortalamasının üzerinde bulunmuştur.

Gövde çapı en yüksek değer 400 kg/da dozunda 3.39 mm olarak ölçülmüş olsa da 350, 300, 250, 200 ve 150 kg/da dozları da aynı grupta olduğundan aralarında istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır. Gövde

çapı ortalaması 3.11 mm olup, ilk grup içerisinde yer alan dozlar bu ortalamanın da üzerindedir.

Salkım uzunluğu en fazla 13.85 cm olarak 400 kg/da dozunda ölçülse de 350 kg/da dozu da aynı grupta yer aldığından aralarında istatistiksel olarak bir farklılık yoktur. Salkım uzunluğu 12.00 cm olarak bulunurken, 150 kg/da ve üstü dozlar ortalamanın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Hasat İndeksi en fazla 400 kg/da dozunda %53.06 olarak bulunmuştur. Uygulamda 200 kg/da ve üstü dozlar ortalamanın üzerinde ölçülmüştür. Aralarında fark bulursa da 400 kg/da, 350 kg/da, 300 kg/da, 250 kg/da ve 200 kg/da dozları aynı grupta yer aldıklarından aralarında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır.

SPAD değeri en yüksek 400 kg/da dozunda 38.18 SPAD olarak ölçülmüştür. Aynı grup içerisinde bulunduğundan 300 ve 250 kg/da dozlarıyla aralarından istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır.

Çalışmamız sonucunda elde edilen verilere göre bitki boyu, kardeşlenme sayısı, gövde çapı, salkım uzunluğu, hasat indeksi ve SPAD gibi çoğu parametrelerde en yüksek değer 400 kg/da koyun yünü gübresi uygulamasından elde edildiği görülmüştür.

Araştırma sonucunda koyun yünü gübresinin ilerleyen dönemlerde organik tarım ve sürdürülebilirlik açısından alternatif bir gübreleme yöntemi olabileceği düşünülmektedir.

Daha güvenilir ve faydalı sonuçlar elde edebilmek için koyun yünü gübresinin farklı dozları ile farklı ortam veya ekolojik alanlarda denenmesi, denemenin farklı versiyonlarının kurulması ayrıca deneme süresininin uzatılması daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek açısından daha faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akay, H. (2010). Çeltikte (*Oryza sativa* L.) Farklı somatik explantlarından kallus oluşumunun ve bitki elde etme potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Samsun
- Akyıldız, M.İ. & Alp, A. (2023). Yerel Karacadağ çeltik (*Oryza sativa* L.) popülasyonlarının bazı bitkisel özelliklerinin kimyasal mutagen uygulamasına dayanıklılığının belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 747-758.
- Anonim, (2003). Tarımsal değerleri ölçme denemeleri teknik talimatı. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Tescil/Teknik%20Talimatlar/Sıcak%20İklim%20Tahılları/çeltik.pdf>-(Erişim Tarihi: 10.11.2022)
- Aydın, A. (2014). Urfa yöresi toprak örneklerine suya doymun koşullarda uygulanan değişik azotlu gübrelerin verime ve çeltik bitkisinin element içeriğine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2).
- Bavec, F. & Bavec, M. (2001). Chlorophyll meter readings of winter wheat cultivars and grain yield prediction. *Commun. Soil Sci. Plant Anal. Res.*, 32: 2709–2719.
- Böhme, M., Pinker, I., Grüneberg, H. & Herfort, S. (2010). Sheep wool as fertiliser for vegetables and flowers in organic farming. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 933* (pp. 195-202).
- Emeklier, Y. (2012). Sıcak iklim tahılları. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayın No:1589, Ankara, 22s.
- Erdal, İ. (2018). Türkiye’de organomineral gübrelerin kullanıldığı araştırma çalışmaları ve elde edilen sonuçlar. *Çalıştay Bildiriler*, 156.
- FAO. (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>-(Erişim Tarihi: 19.02.2024).
- Geçit H.H., Çiftçi C.Y., İkincikarakaya S.Ü. & Adak M.S. (2018). Tarla bitkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:1643, Ankara
- Kahraman, Ş., Atakul, Ş., Kılınç, S., Aydın, A., Duman, M., Baran, B. & Özasan, C. (2021). Çeltik yetiştiriciliğinde organik tarım olanaklarının

- araştırılması ve konvansiyonel tarım ile karşılaştırılması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 54-61.
- Kant, C., Aydın, A. & Barik, K. (2006). Erzurum Daphan ve Pasinler Ovası toprak örneklerine suya doymuş koşullarda uygulanan değişik azotlu gübrelerin çeltik bitkisinin gelişimine, mineral içeriğine, besin maddesi alımı ve yıkanmasına etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 145-152.
- Özcan, H. & Taban, S. (2018). Çinko uygulamasının bazı çeltik çeşitlerinde agronomik parametreler üzerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(1), 12-18.
- Özdemir, S., Çarpıcı, EB. & Aşık, BB. (2019). Farklı azot dozlarının italyan çiminin (*Lolium multiflorum* Westerwoldicum Caramba) ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(1), 131-137.
- Sezer, İ., Şenocak, HS. & Akay, H. (2017). Bazı çeltik çeşitlerinde fideleme ve serpmeye ekim yöntemlerinin karşılaştırılması. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 292-296.
- Şahin, S. (2002). Tosya-Osmancık ve Kargı ilçelerinde çeltik ziraatı. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(3), 19-35.
- Şahin, M., Sezer, İ., Dengiz, O., Akay, H. & Öner, F. (2012). Kızılırmak şartlarında yetiştirilen bazı çeltik çeşitlerinin verim performanslarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 33-36.
- Temür, G. (2016). Bazı çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitlerinde silisyumun verim, verim öğeleri ve kaliteye etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ordu.
- Tüfekci, M. & Olfaz, H. (2015). Yapağının alternatif kullanım alanları. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 1(1-2), 18-28.
- Tüik, (2024). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>-(Erişim Tarihi: 21.02.2024).
- Yazıcı, E. (2021). Durum tahmin pirinç, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE), Tepge Yayın No: 344, Ankara.
- Yıldırım, M., Akıncı, C., Koç, M. & Barutçular, C. (2009). Bitki örtüsü serinliği ve klorofil miktarının makarnalık buğday ıslahında kullanım olanakları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3), 158-166.

- Yıldırım, GH. & Yılmaz, N. (2023). Çeltik (*Oryza sativa* L.)’de farklı vermikompost uygulamalarının bazı bitkisel özellikler üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(4), 3030-3039.
- Yılmaz, N. & Sonkaya, MC. (2018). Çinko uygulamasının çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitlerinde bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(1): 35-40.

BÖLÜM 6
AZOT FİKSASYONU
ve TAHILLARDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Ferda ÖZKORKMAZ¹
Prof. Dr. Nuri YILMAZ²

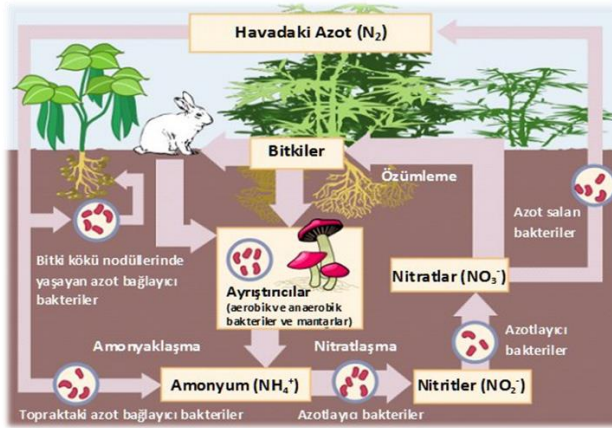
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17604112>

¹Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, TÜRKİYE.
ferda.ozkorkmaz@email.com, Orcid ID: 0000-0003-4345-9711

²Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, TÜRKİYE.
y_nuri@email.com, Orcid ID: 0000-0002-0597-6884

GİRİŞ

Atmosferde yüksek oranda (%78) bulunmasına rağmen en fazla eksikliği görülen azot, aynı zamanda bitkilerin en fazla ihtiyaç duyduğu besin elementlerinden biridir. Ancak bitkiler azotu doğrudan N^2 formunda değil nitrat (NO_3^-) ya da amonyak (NH_3) formunda kullanabilirler.



Şekil 1. Doğada azot döngüsü

Kaynak: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Denitrifikasyon>

Azot fiksasyonu, bitkilerde fotosentezden sonra meydana gelen en önemli fizyolojik olaydır. Azotun bitkisel üretimde kullanımı ile verim ve kalitenin artırılması için azot fiksasyon mekanizmasının iyi anlaşılması gereklidir.

1. Biyolojik Olmayan Azot Fiksasyonu

Atmosferdeki azot, yıldırım ve şimşek gibi hava olayları sonucunda bitkilerin kullanabileceği forma dönüşmektedir. Bu şekilde biriken azot miktarı diğer fiksasyonlara göre daha az miktardadır.

2. Endüstriyel Azot Fiksasyonu

Endüstriyel azot fiksasyonunda azotun amonyağa dönüşmesi için 400 °C sıcaklığa ihtiyaç vardır. Bu amaçla petrol gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yolla yılda yaklaşık 45 milyon ton azot biriktirilmektedir. Bu yöntemle hem çevre kirliliği oluşmakta hem de çok iş gücü gerekmektedir.

3. Biyolojik Azot Fiksasyonu

Azotun (N_2) mikroorganizmalar tarafından fiske edilmesine biyolojik azot fiksasyonu denilmektedir. Biyolojik azot fiksasyonu toplam elde edilen azotun %70'ini oluşturmaktadır.

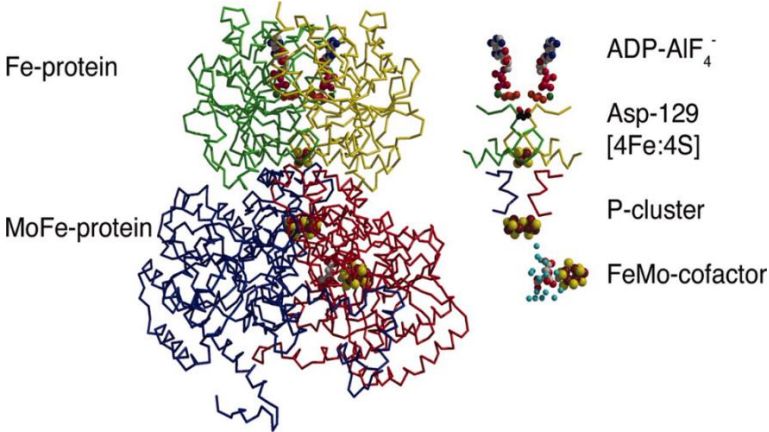
Biyolojik azot fiksasyonu simbiyotik ve simbiyotik olmayan azot fiksasyonu olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1. Simbiyotik Olmayan Azot Fiksasyonu

Atmosferdeki serbest azotun nitrojenaz enzimine sahip mikroorganizmalar tarafından herhangi bir konakçı olmaksızın fiske edilmesine simbiyotik olmayan azot fiksasyonu denir (Zehr JP ve ark., 2003.) Bu yolla yılda yaklaşık 45-100 kg/ha azot biriktirilmektedir.

Azotun fiksasyonunda görev alan enzimler NİF genleri tarafından kodlanmaktadır. Fiksasyonda kullanılan en önemli enzim nitrojenaz enzimidir. Nitrojenaz enzimi azotu bitkilerin kullanabileceği forma dönüştürmekten sorumludur. NİF genleri hem serbest yaşayan hem de çeşitli bitkilerdeki simbiyotik bakterilerde bulunur (Masson-Boivin ve ark., 2009).

Nitrojenaz enzimi yaklaşık 20 farklı NİF geni tarafından kodlanmaktadır (Rubio ve Ludden, 2008). Nitrojenaz enzimi, dinitrojenaz (MoFe proteini) ve dinitrojenaz redüktaz (Fe proteini) olmak üzere iki proteinden oluşmaktadır (Seelfelt ve ark., 2009).



Şekil 2. Nitrojenaz enzimi moleküler yapısı

Kaynak: Cheng, Q. (2008). Perspectives in biological nitrogen fixation research. Journal of integrative plant biology, 50(7), 786-798.

3.2. Simbiyotik Azot Fiksasyonu

Simbiyotik azot fiksasyonunu *Rhizobium* adı verilen ve baklagillerle ortak yaşayan bakteriler tarafından meydana getirilmektedir. Bakteri uygun baklagil bitkisi ile bir araya geldiğinde bitkiden kendi ihtiyacı olan karbonhidratları alırken, havadan aldığı azotu bitkiye verir. Karşılıklı iş birliği esasına dayanan bu yaşam şekline “simbiyotik yaşam” denir (Dent ve Cocking, 2017).

20 000 baklagil türünün % 15’i simbiyotik ilişki göstermektedir

Rhizobium bakterisi uygun bitki ile bir araya geldiğinde bitki köklerinde nodül denen yumrular meydana getirir ve bu yumrular içerisinde azot fiksasyonu meydana gelir. (Mergaert ve ark., 2006).

Bakteri uygun bitki ile interaksiyon meydana getirdiğinde baklagil bitkisi köklerinden flavonoid adı verilen sekonder metabolitleri salgılayarak bakterileri köklere çekmeye başlarlar. Flavonoidler bakterideki Nod D geni tarafından algılanarak, diğer nod genlerinin aktif hale geçmesini sağlamaktadırlar (Kobayashi, ve ark., 2004)

Nod genleri nod faktör olarak adlandırılan lipopolisakkaritlerin sentezlenmesinden sorumludurlar. Bu faktörler bakterinin uygun simbiyot olarak tanınmasını sağlar. Bunun sonucunda ilk olarak nodül meristematik bölgesi oluşmakta ve devam eden hücre bölünmesi sonucunda olgun nodül oluşumu meydana gelmektedir (Giraud ve ark., 2007).

Nodüllerin içerisinde bulunan leghemoglobin varlığı ile bütün nitrojen fikse eden baklagil nodüllerinde karakteristik olarak kırmızı-kahverengi bir renge sahiptir. Leghemoglobin nitrojenaz enziminin oksijen duyarlılığı korumasında görev alır.

Simbiyotik azot fiksasyonunun baklagiller dışındaki azot fikse etme yeteneği olmayan özellikle insan beslenmesi açısından oldukça önemli olan Buğday, Mısır ve Çeltik gibi tahıllarda uygulanabilir olması oldukça önemlidir. Baklagiller ve *rhizobium*lar arasındaki simbiyotik ilişkinin baklagil dışındaki bitkilerde de meydana gelebilmesi için hala araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmalardan özellikle biyoteknoloji alanındakiler önem kazanmaktadır. En önemli aşama tahıllarla bakteriler arasında simbiyotik yaşamın oluşmasını sağlamaktır Fiksasyonu katalizleyen nitrojenaz enziminin kodlanmasından sorumlu bakteri genlerinin tanımlanması bu özelliğin tahıllara

aktarılabilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu konuda biyoteknolojik çalışmalar halen devam etmektedir (Al-Mallah ve ark., 1987).

Fiksasyonun olması için rhizobium bakterisinin tahıl kökleriyle uyum sağlayarak enfeksiyon yaratması ve O_2 'siz ortamın sağlanması gerekmektedir. Bakteri-baklagil arasındaki flavanoid-nod geni ilişkisinin tahıl-bakteri arasında da meydana gelmesi gerekmektedir.

Bir diğer yaklaşımda simbiyotik olmayan bazı bakterilerle tahılların bir araya gelmesiyle azot fiksasyonunun meydana getirilmesidir. Asetilen-redüksiyon tekniği denen bu yöntem günümüzde de kullanılan ve başarılı sonuçlar sağlayan bir yöntemdir (Burlage ve ark.,1998). Asetilen-redüksiyon tekniği kullanılarak simbiyotik olmayan bakterilerde nitrojenaz atkivesi hesaplanarak bu bakterilerin tahıllarla bir araya gelmesi sağlanmış ve azot fiksasyonunun meydana geldiği görülmüştür

Son yaklaşım nitrojenaz enzimini bitki hücrelerine tanıtılması işlemidir. Bu şekilde organellerin kendi nitrojenazını üretmesini sağlamak amaçlanmaktadır. Bu işlem için kullanılabilecek en uygun organeller Mitokondri ve Kloroplast'dır. Ancak bu organellerde O_2 'nin varlığından dolayı nitrojenaz enziminin aktivitesi inhibe olmaktadır.

Bu yaklaşımlar tahıllarda azot fiksasyonunun meydana gelebilmesi açısından oldukça önemli ama bir o kadar da uygulanabilmesi zor olan işlemlerdir. Azot fiks etme yeteneğine sahip, simbiyotik olmayan bir bakteri olan Klebsiella'da yapılan bir çalışmada nitrojenaz enziminin aktarılması üzerine çalışılmıştır. Çalışma sonucu nitrojenaz enzimini kodlayan genler E.coli bakterisine başarıyla aktarılmıştır. Aynı işlem bitki hücrelerinde de denemiş ancak bitki hücresi ökaryot yapıda olduğu için, prokaryot hücre yapısındaki E.coli bakterisinde olduğu gibi olumlu sonuç alınamamıştır (Jones ve Bradshaw, 1996).

Biyolojik azot tespiti bitki verimi ve kalitesi yönünden önemli olduğu gibi toprak kalitesini zenginleştirmesi açısından da üzerinde durulması gereken bir konudur. Azotlu gübrelerin fazla uygulanması durumunda özellikle gübrelerin yıkanması ile taban ve yüzey sularının kirliliğine, azot oksit emisyonu ile hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmaların başarılı olması çevre kirliliği ile mücadele açısından da oldukça önemlidir.

SONUÇ

Azot fiksasyonu yapabilme özelliğinin tahıllara uygulanabilmesinin ve nitrojenaz enziminin tanıtılmasının günümüzdeki teknolojik imkanlar ile yapılması zor görülmektedir. Fakat her iki uygulamada başarıldığı takdirde bitkilerde verim ve kalite açısından oldukça önemli sonuçlar verecek çalışmalardır. Bu konuda çalışmalar yapan bilim adamlarının ortak görüşü günümüzdeki teknolojik imkanların yetersiz olduğu yönündedir.

KAYNAKÇA

- Al-Mallah, M. K., Davey, M. R., Cocking, E. C. (1987). Formation of nodular structures on rice seedlings by Rhizobia. *J Exp Bot*; 40:473–8.
- Burlage, R.S., R. Atlas, Stahl, D., Geesey, G., and Sayler, G., (1998). *Techniques in Microbial Ecology* Oxford University Press, 8-14. America.
- Giraud, E., Moulin, L., Vallenet, D., Barbe, V., Cytryn, E., Avarre, J. C., ... & Sadowsky, M. (2007). Legumes symbioses: absence of Nod genes in photosynthetic bradyrhizobia. *Science*, 316(5829), 1307-1312.
- Jones, K., & Bradshaw, S. B. (1996). Biofilm formation by the Enterobacteriaceae: a comparison between *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* and a nitrogen-fixing strain of *Klebsiella pneumoniae*. *Journal of Applied Bacteriology*, 80(4), 458-464.
- Kobayashi, H., Graven, Y. N., Broughton, W. J., & Perret, X. (2004). Flavonoids induce temporal shifts in gene-expression of nod-box controlled loci in *Rhizobium* sp. NGR234. *Molecular Microbiology*, 51(2), 335-347.
- Masson-Boivin, C., Giraud, E., Perret, X., & Batut, J. (2009). Establishing nitrogen-fixing symbiosis with legumes: how many rhizobium recipes?. *Trends in microbiology*, 17(10), 458-466.
- Mergaert, P., Uchiumi, T., Alunni, B., Evanno, G., Cheron, A., Catrice, O., ... & Kondorosi, E. (2006). Eukaryotic control on bacterial cell cycle and differentiation in the *Rhizobium*–legume symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(13), 5230-5235.
- Rubio, L.M. and Ludden, P.W. (2008) Biosynthesis of the ironmolybdenum cofactor of nitrogenase. *Annu. Rev. Microbiol.* 62, 93–111
- Seefeldt, L. C., Hoffman, B. M., & Dean, D. R. (2009). Mechanism of Mo-dependent nitrogenase. *Annual review of biochemistry*, 78(1), 701-722.
- Zehr J. P., Jenkins, B. D., Short, S. M., Steward, G. F. (2003). Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. *Environ Microbiol* 2003, 5:539-554.

BÖLÜM 7

ORGANİK TARIMDA AGRO-BİYOTEKNOLOJİNİN KULLANIMI

Prof. Dr. Sancar BULUT¹
Prof. Dr. Fatih ÖNER²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17604187>

¹ Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kayseri. Türkiye sancarbulut@kayseri.edu.tr Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6261-0256>

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye. fatihoner38@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6264-3752>

1. GİRİŞ

Organik tarım, küresel ölçekte hem pazar payı hem de üretim alanı olarak istikrarlı bir büyüme gösteren, sürdürülebilir gıda üretiminin en bilinen modellerinden biridir (Willer et al., 2023). Ekolojik süreçlere, biyoçeşitliliğe ve yerel koşullara adapte edilmiş döngülere dayanan bu sistem, sentetik gübre, pestisit, herbisit ve genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) kullanımını yasaklar (IFOAM, 2020). Ancak bu katı kurallara bağlı üretim, özellikle verim açığı, hastalık ve zararlılarla mücadelede yaşanan zorluklar ve abiyotik stres faktörlerine karşı kırılganlık gibi önemli meydan okumalarla karşı karşıyadır (Seufert vd., 2012; Seufert & Ramankutty, 2017; Ponisio & Ehrlich, 2022).

Agrobiyoteknoloji, bu meydan okumalara biyolojik temelli çözümler sunan dinamik bir bilim alanıdır. Ne var ki, kamuoyunda ve organik çevrelerde GDO teknolojileriyle özdeşleştirilmesi, iki alan arasında derin bir ayrışmaya neden olmuştur. Bu algı, organik tarımın, kendi felsefesiyle tamamen uyumlu olabilecek pek çok modern ve doğa dostu teknolojiye mahrum kalmasına yol açmaktadır.

Bu derlemenin amacı, bu tarihsel ayrışmanın ötesine geçerek, GDO dışı agrobiyoteknolojik araçların organik tarımdaki pratik "kullanımını" ve sunduğu somut faydaları ortaya koymaktır (Altieri & Nicholls, 2020). Bu çalışma, modern biyoteknolojiyi organik tarım için bir tehdit değil, aksine hedeflerine ulaşmasını sağlayacak güçlü bir "araç kutusu" olarak konumlandırmaktadır. Bu kapsamda, moleküler ıslah, mikrobiyal çözümler, doku kültürü ve tanı kitleri gibi mevcut teknolojiler ve genom düzenleme gibi ufuktaki yenilikler, organik tarımın sürdürülebilirliğine ve verimliliğine katkıları açısından ele alınacaktır.

2. ORGANİK TARIMIN HİZMETİNDEKİ MODERN BIYOTEKNOLOJİLER

GDO dışı biyoteknolojiler, organik tarımın kimyasal girdilerden kaçınma ve ekolojik döngüleri güçlendirme ilkelerini destekleyen çeşitli araçlar sunar.

2.1. Genetik Çeşitliliğin Etkin Kullanımı: Moleküler Islah

Geleneksel bitki ıslahı, organik tarımın temelidir. Moleküler Markör Destekli Seleksiyon (MAS), bu süreci hızlandıran ve daha verimli hale getiren devrimci bir tekniktir (Abou-Elwafa & Ameen, 2019; Kılıç et al., 2023). MAS,

bitkilerin DNA'sını analiz ederek hastalık direnci, kuraklık toleransı veya yüksek besin içeriği gibi arzu edilen özellikleri taşıyan bireyleri henüz fide aşamasındayken tespit etmeyi sağlar (Collard & Mackill, 2008; Zhao et al., 2022). Bu, bir genetik modifikasyon değil, bir "seçim" teknolojisidir. Organik tarım için önemi büyüktür çünkü:

- **Yerel Adaptasyon:** Bölgesel hastalıklara ve iklim koşullarına dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesini hızlandırır.
- **Kimyasal Bağımlılığını Azaltma:** Doğal olarak hastalıklara dirençli çeşitler, fungusit veya bakterisit ihtiyacını ortadan kaldırır.
- **Besin Değerini Artırma:** Antioksidan, vitamin veya mineral içeriği yüksek çeşitlerin seçilmesini kolaylaştırır.

2.2. Toprak Sağlığı ve Canlılığı için Mikrobiyal Çözümler

Organik tarım, "toprağı besle, bitkiyi değil" ilkesine dayanır. Mikrobiyal biyoteknoloji, bu ilkeyi hayata geçiren en güçlü araçtır (Resim1). Bilimin yol gösterici rolü, doğal süreçleri bozmak yerine onları anlayarak ve destekleyerek organik tarımın verimlilik ve dayanıklılık gibi hedeflerine ulaşmasına nasıl yardımcı olabileceğini vurgulamaktadır.



Resim1. Organik tarım ve uyumlu agrobiyoteknoloji arasındaki sinerjinin kavramsal gösterimi

- **Biyogübreler:** Bu ürünler, toprağa faydalı mikroorganizmalar aşılıyarak bitki beslenmesini doğal yollarla destekler. Örnekler arasında havanın serbest azotunu toprağa bağlayan *Azotobacter* ve *Rhizobium* bakterileri; topraktaki bağlı fosforu bitkinin alabileceği forma dönüştüren fosfat çözücü bakteriler (*Bacillus megaterium*) ve bitki kök yüzeyini genişleterek su ve besin alımını artıran mikorizal mantarlar bulunur (Mahanty et al., 2017; Yıldırım et al., 2021; Baslam et al., 2020). Bu canlı gübreler, sentetik azot ve fosfor gübrelerine olan ihtiyacı azaltır.
- **Biyopestisitler:** Zararlı böcek ve patojenlerle mücadelede kullanılan biyolojik ajanlardır. En bilinen örnek, larvalara karşı etkili olan *Bacillus thuringiensis* (Bt) bakterisidir. Ayrıca, bitki köklerini hastalıklara karşı koruyan *Trichoderma harzianum* gibi faydalı mantarlar veya böceklerde hastalığa neden olan *Beauveria bassiana* gibi entomopatojenik mantarlar, sentetik pestisitlere ekolojik bir alternatif sunar (Kumar & Singh, 2015; Patel et al., 2023).

Bu mikroorganizmalara dayalı çözümler, Türkiye’de özellikle Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde organik üretim yapan çiftçiler tarafından hızla benimsenmektedir (Karakaya & Ertürk, 2022).

2.3. Sağlıklı Üretim Materyali: Bitki Doku Kültürünün Pratik Uygulamaları

Doku kültürü, bitkilerden alınan küçük parçalardan laboratuvarında binlerce sağlıklı ve genetik olarak özdeş bitki üretme tekniğidir. Organik tarımda özellikle virüs gibi sistemik patojenlerden arındırılmış, hastaliksız fide ve fidan (başlangıç materyali) temininde kullanılır (Thorpe, 2007). Patates yumruları, çilek fideleri, muz fidanları gibi vejetatif yolla çoğaltılan ürünlerde virüsten arı materyalle üretime başlamak, sezon boyunca verim kayıplarını ve hastalık yayılmasını büyük ölçüde engeller (Demir et al., 2021).

2.4. Erken Uyarı ve Hassas Tarım: Moleküler Teşhis

PCR veya ELISA tabanlı moleküler tanı kitleri, tarladaki bir hastalığın etmenini çok erken evrelerde ve yüksek hassasiyetle teşhis eder (Lopez vd., 2003; Kim et al., 2019). Bu, organik üreticiye, hastalık yayılmadan önce kültürel önlemler (örn: hastalıklı bitkileri uzaklaştırma) veya izin verilen

biyolojik fungusitler gibi hedefe yönelik ve minimum müdahalede bulunma şansı tanır. Bu, "hassas tarım" ilkesinin organik üretime bir yansımasıdır.

3. UFUKTAKI TEKNOLOJILER: GENOM DÜZENLEME VE ORGANİK TARIMIN GELECEĞİ

CRISPR-Cas9 gibi yeni genom düzenleme teknikleri, bir organizmaya yabancı bir gen aktarmadan, kendi DNA'sında hedefe yönelik değişiklikler yapmayı mümkün kılar. Bu durum, "GDO nedir?" tanımını yeniden tartışmaya açmıştır tekniktir (Doudna & Charpentier, 2014).

- **Transgenesis (Geleneksel GDO) vs. Cisgenesis/Intragenesis:** Transgenesis, türler arası gen aktarımıdır. Cisgenesis, aynı veya cinsel olarak uyumlu türler arasında gen aktarımı iken, intragenesis ise bir türün kendi genlerinin yeniden düzenlenmesidir. CRISPR, özellikle cisgenesis veya doğadaki mutasyonları taklit eden küçük düzenlemeler için kullanılabilir (Lassoued et al., 2021; Ricoch, 2023).
- **Tartışmalar ve Potansiyel:** Savunucuları, yabancı DNA içermeyen bu uygulamaların GDO olarak kabul edilmemesi ve organik tarımın hastalık direnci gibi sorunlarına hızlı çözümler sunabileceğini belirtmektedir (Lassoued vd., 2021). Ancak organik hareketin büyük bir kısmı, sürecin laboratuvarı genetik materyale doğrudan müdahaleyi içermesi nedeniyle bu teknolojiyi felsefi olarak reddetmektedir. AB Adalet Divanı'nın bu teknikleri GDO mevzuatı içinde değerlendirmesi, Avrupa'daki organik pazarlar için kapıyı şimdilik kapatmıştır (ECJ, 2018).

4. TÜRKİYE PERSPEKTİFİ: MEVCUT DURUM, FIRSATLAR VE TEHDİTLER

Türkiye, 2024 itibarıyla 311 bin hektarlık organik tarım alanıyla Avrupa'da ilk 10 ülke arasında yer almaktadır (FAO, 2024). Ancak verim düşüklüğü, kuraklık ve hastalık baskısı gibi sorunlar devam etmektedir. Türkiye, önemli bir organik tarım üreticisi ve ihracatçısıdır. Ancak sektör, verim düşüklüğü, hastalık ve zararlılarla mücadelede zorluklar ve kuraklık gibi sorunlarla yüzleşmektedir. Uyumlu agrobiyoteknolojilerin kullanımı, bu sorunların çözümünde kilit rol oynayabilir.

Fırsatlar:

- **Biyogübre ve Biyopestisit Üretimi:** Türkiye'nin zengin mikrobiyal biyoçeşitliliği, yerli biyogübre ve biyopestisit suşlarının izole edilip ticari ürünlere dönüştürülmesi için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Karakaya & Ertürk, 2022). Bu, dışa bağımlılığı azaltacaktır.
- **Kuraklığa Toleranslı Çeşitler:** MAS tekniği kullanılarak, özellikle İç Anadolu gibi kurak bölgeler için geliştirilecek yerli buğday, arpa ve nohut çeşitleri, organik tarımın sürdürülebilirliğini artırabilir (Kılıç et al., 2023).
- **Hastalıklarla Mücadele:** Domates, fındık ve zeytin gibi ihraç ürünlerinde sorun olan hastalıklara karşı dirençli anaç ve çeşitlerin geliştirilmesi veya etkin biyofungisitlerin kullanımı, kimyasal kalıntı sorununu ortadan kaldıracaktır.

Tehditler:

- ✓ **Yüksek Maliyet ve Dışa Bağımlılık:** Biyolojik girdilerin birçoğu ithal edilmekte ve maliyetleri yüksek olmaktadır.
- ✓ **Bilgi ve Yayımların Eksikliği:** Çiftçilerin ve tarım danışmanlarının bu yeni teknolojiler hakkındaki bilgi seviyesi yetersizdir.

Ar-Ge ve Politikalar: Organik tarıma özgü biyoteknolojik araştırmalara yönelik kamu ve özel sektör Ar-Ge desteği sınırlıdır (Ertürk & Demirtaş, 2022).

5. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Organik tarımın, felsefi köklerine sadık kalırken 21. yüzyılın bilimsel yeniliklerinden faydalanması, gelecekteki başarısı için kaçınılmazdır. Agrobiyoteknoloji, bir bütün olarak reddedilmesi gereken bir tehdit değil, içinden organik tarımla uyumlu araçların dikkatle seçilmesi gereken bir fırsatlar alanıdır. Bu potansiyelin hayata geçirilmesi için aşağıdaki politika ve stratejiler önerilmektedir:

1. **Yerli Üretimin Desteklenmesi:** Türkiye'de yerli biyogübre ve biyopestisit üretimini teşvik edecek Ar-Ge destekleri ve yatırım programları oluşturulmalıdır.
2. **Eğitim ve Yayımlar Programları:** Tarım ve Orman Bakanlığı, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşları iş birliğiyle, çiftçilere ve

tarım danışmanlarına yönelik uygulamalı eğitim programları düzenlenmelidir.

3. **Islah Programlarının Güçlendirilmesi:** Tarımsal Araştırma Enstitüleri, organik tarıma uygun, hastalıklara dayanıklı ve yerel koşullara adapte olmuş çeşitlerin moleküler ıslah yöntemleriyle geliştirilmesine odaklanmalıdır.
4. **Mevzuatın Netleştirilmesi:** Türkiye'nin Organik Tarım Yönetmeliği, GDO dışı modern biyoteknolojilerin (örn: MAS ile geliştirilmiş çeşitler) statüsünü netleştirmeli ve kullanımına ilişkin şeffaf kurallar getirmelidir.

Sonuç olarak; organik tarım ve uyumlu agrobiyoteknolojiler arasında kurulacak akılcı bir köprü, hem ekolojik sürdürülebilirliği hem de gıda güvenliğini sağlama yolunda Türkiye ve dünya için güçlü bir sinerji yaratacaktır.

6. Kaynakça

- Abou-Elwafa, S. F., & Amein, K. A. (2019). Marker-assisted selection for drought tolerance in barley. *Euphytica*, 215(8), 136.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the emergence of a post COVID-19 agriculture. *Agriculture and Human Values*, 37, 525–526.
- Baslam, M., Mitsui, T., & Matsuoka, M. (2020). Harnessing arbuscular mycorrhiza for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1–12.
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557–572.
- Demir, M., Aksoy, A., & Kınık, A. (2021). Doku kültürü ile fide üretiminin organik tarımda kullanımı. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 450–458.
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR–Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096.
- ECJ (European Court of Justice). (2018). *Judgment in Case C-528/16, Confédération paysanne and Others v Premier ministre and Ministre de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt*.
- Ertürk, A., & Demirtaş, T. (2022). Türkiye’de organik tarım politikalarının gelişimi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 178–191.
- FAO. (2024). *Organic agriculture statistics 2024*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://www.fao.org>
- IFOAM. (2020). *The Principles of Organic Agriculture*. International Federation of Organic Agriculture Movements.
- Karakaya, A., & Ertürk, Ö. (2022). Türkiye’de biyogübre potansiyeli ve organik üretimde kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(4), 415–426.
- Kılıç, H., Öztürk, A., & Yıldız, M. (2023). Moleküler ıslah uygulamalarının Türkiye’deki tahıl araştırmalarındaki yeri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 32(1), 15–29.
- Kim, S. H., et al. (2019). Advances in molecular diagnostics for plant pathogens. *Plant Pathology Journal*, 35(5), 425–437.

- Kumar, S., & Singh, A. (2015). Biopesticides: present status and future prospects. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides*, 6(2), 1-9.
- Lassoued, R., Macall, D. M., Hesseln, H., Phillips, P. W. B., & Smyth, S. J. (2021). The contentious public-policy debate over new plant-breeding techniques. *Bio-Technology and Development*, 10, 25-38.
- Lopez, M. M., Bertolini, E., Olmos, A., Caruso, P., Gorris, M. T., Llop, P., ... & Cambra, M. (2003). Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria. *International Microbiology*, 6(4), 233-243.
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3315-3335.
- Patel, R., Singh, S., & Das, S. (2023). Bio-based pest control: Emerging trends. *Journal of Cleaner Production*, 419, 138245.
- Ponisio, L. C., & Ehrlich, P. R. (2022). Ecological intensification and organic farming. *Nature Sustainability*, 5(9), 750–760.
- Ricroch, A. (2023). The regulatory framework of gene editing in the EU. *GM Crops & Food*, 14(1), 88–98.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232.
- Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology*, 37(2), 169-180.
- Willer, H., Trávníček, J., Meier, C., & Schlatter, B. (2023). The world of organic agriculture: Statistics and emerging trends 2023. FiBL & IFOAM.
- Yıldırım, D., Çakır, S., & Alkan, H. (2021). Biyogübrelerin organik tarımda önemi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 87–95.
- Zhao, Q., Wang, L., & Zhang, Z. (2022). Marker-assisted breeding for disease resistance in cereals. *Frontiers in Genetics*, 13, 874321.

BÖLÜM 8

TÜRKİYE PATATES ÜRETİMİNİN DÜNÜ-BUGÜNÜ ve YARINI

Dr. Öğr. Üyesi Özbay DEDE¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17607948>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye.
ozbay_dede@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0003-0689-4837

GİRİŞ

Dünya genelinde yüzlerce *Solanum* türü bulunmasına rağmen, bunlardan yalnızca yaklaşık 200'ü yumru üretme yeteneğindedir. Patates, *Solanum tuberosum* L., açık ara en yaygın olarak yetiştirilen türdür. Başlangıçta Peru'da yetiştirilen patates, İspanya ve Portekiz'e getirilmiş ve 1500'lerin sonlarında Avrupa'nın diğer bölgelerine, sonraki iki yüzyıl boyunca Kuzey Amerika, Avustralya, Çin ve son olarakta diğer ülkelere yayılmıştır. Temel bir karbonhidrat kaynağı olan patatesin benimsenmesi her zaman olumlu olmamış ve 1760'larda Fransa'da olduğu gibi ulusal yayılım kampanyaları, 1760'larda Rusya'daki kraliyet kararnameleri ve bu süreçte pirinç ve makarna gibi diğer karbonhidratlarla yaşanan sert rekabet gibi faktörlerden olumsuz etkilenmiştir (Pringle at., 2009) . Bununla birlikte, patates günümüzde çeltik, mısır ve buğdayın ardından dünya ürün sıralamasında dördüncü sırada yer almaktadır ve yıllık 380 milyon tonun üzerinde üretime sahiptir (FAOSTAT, 2025). Karbonhidrat olarak değeri, yumru kökte nişasta olarak depolanan yüksek miktardaki enerjiden kaynaklanmaktadır.

Patates, dünyada tahıllardan sonra en önemli besin kaynağıdır ve dünya genelinde 1,5 milyardan fazla insanın beslenmesinin önemli bir parçasıdır. Dünya nüfusunun sürekli artmasına rağmen, gıda üretimi için gereken kaynaklar sınırlıdır. Ayrıca, refah seviyesi yükselen ülkelerde artan et ve süt ürünleri tüketimi ve biyoyakıt rekabeti de gıda üretimini baskılayacaktır. Bazı tahminlere göre, ihtiyaçları karşılamak için mahsul üretiminin 2050 yılına kadar iki katına çıkması gerekmektedir. Patates, dönüm başına mısır, buğday, çeltik veya soya fasulyesinden daha fazla kalori verir ve birim alan başına buğdaydan %50'den fazla, çeltikten ise yaklaşık %80 daha fazla protein üretir. Başka hiçbir gıda, hatta soya fasulyesi bile, birim arazi başına gıda, enerji ve gıda değeri üretimi açısından patatesle boy ölçüşemez (Navarre and Pavek, 2014).

Patates, tarımsal üretim anlamında verimli olmasının yanısıra tüketici açısından da çok çeşitli ürünlerin üretilmesi için hammadde niteliğindedir ve bu sayede insanoğlunun karbonhidrat, protein ve vitamin gibi günlük enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yardımcı olur. Bu nedenle, patates günümüz dünyasında gıda güvenliği bakımından kilit rol oynamaktadır. Gıda üretiminin sınırlı olduğu yada ekonomik olarak gıdaya ulaşmanın sorun olduğu toplumlarda özellikle ucuz ve besleme değeri yüksek gıda kaynakları çok daha

büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla patates, sağlıklı bir beslenme için her zaman güvenli, besleyici ve kolay ulaşılabilir bir gıda kaynağıdır. Sözkonusu bu eserde değerlendirilecek olan patates bitkisi de beslenme açısından çok değerli ve aynı zamanda ucuz gıda kaynaklarının başında yer almaktadır.

Patatesin Tarihi Gelişimi ve Yayılışı

Yaklaşık 7000 yıl öncesi Güney Amerika'daki And dağlarının yerlileri avcı-toplayıcı olarak yaşamlarını sürdürüyorlardı ve lama-alpaka gibi hayvan sürülerine bakıyorlardı. Bu sırada ilginç gördükleri bir bitkiye ilgi duymaya başlıyorlar. Bu bitki, çiçek açtığı halde yenmeyen meyveler oluşturmanın yanı sıra yeraltında yenilebilir, enerji açısından besleyici, ekildikten sonra tekrar bitki üretme yeteneğinde olan yumrular meydana getiriyordu. Dahası, bu yumrular depolanabilir, taşınabilir ve sürekli hareket halinde olan bir toplum için besin sağlıyordu (Navarre and Pavek, 2014). Patatesin Avrupa kıtasına gelişi Amerika kıtasının keşfinden sonra İspanyol gemiceiler tarafından olmuştur. İlk önce İspanya'ya gelen patates daha sonra diğer ülkelere yayılmıştır. İlk geldiği yıllarda Avrupada süs bitkisi olarak kullanılsada, her geçen gün besleyici değeri anlaşıldıkça toplumlar tarafından kabülü ve önemide artmıştır (Er ve Uranbey, 1998).

Patatesten doğrudan insan ve hayvanların beslenmesinde yararlanılmasının yanı sıra sanayide işlenmek suretiyle de nişasta, cips, çocuk maması, patates unu, ispiroto, dondurulmuş patates, sago, tutkal gibi endüstriyel ürünler elde edilmektedir (Kırlı Şenol, 2024). Diğer taraftan, patatesin adaptasyon kabiliyetinin geniş olmasına bağlı olarak çok farklı ekolojik koşullarda yetiştirilebiliyor olması, diğer tarla bitkileri ile karşılaştırıldığında birim alandan daha fazla miktarda ürün ve dolayısıyla kuru madde yada başka bir ifade ile enerji ürettiyor olması, birim alan verimliliğinin yüksek olmasına bağlı olarak fiyatının ucuz olması ve özellikle dar gelirli tüketiciler için temel gıda kaynağı olması gibi üstün özellikler taşıması nedeniyle zirai olarak da çok önemli bir kültür bitkisidir (Er ve Uranbey, 1998; Dede,2004; Dede ve ark.2009; Dede ve Yılmaz, 2022). Ucuz gıda kaynağı olan patates aynı zamanda tüm canlılar için çok değerli bir besin kaynağı olmasının yanında özellikle midevi rahatsızlıkları olanlar için kolay sindirilebilmesi bakımından sağlıklı diyet gıdasıdır.

Dünya ve Türkiye Patates Üretim Durumu

1961 yılı itibarıyla patates ekiliş, üretim ve verim durumu ile nüfus sayısı ve artış oranları onar yıllık dönemler halinde 2010 yılına kadar ve 2010 sonrası da yıllık olarak çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Dünya patates üretim miktarı ve nüfus artış durumu

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (1000 ton)	Artış oranı (%)	Nüfus sayısı (1000 kişi)	Nüfus artış oranı (%)
1961	22.147.875	12.216	270.551	0,00	3.064.869	0,00
1970	20.773.037	14.348	298.047	10,16	3.694.683	20,55
1980	18.787.549	12.801	240.495	-11,11	4.447.605	45,12
1990	17.656.394	15.112	266.824	-1,37	5.327.802	73,83
2000	19.897.848	16.224	322.818	19,32	6.171.702	101,37
2010	18.179.292	18.085	328.776	21,52	7.021.731	129,10
2011	18.706.222	19.730	369.068	36,41	7.110.923	132,01
2012	18.703.422	19.366	362.218	33,88	7.201.201	134,96
2013	18.516.362	19.784	366.327	35,40	7.291.792	137,91
2014	18.034.126	20.487	369.471	36,56	7.381.616	140,85
2015	18.038.687	20.271	365.656	35,15	7.470.491	143,74
2016	17.389.992	20.370	354.236	30,93	7.558.554	146,62
2017	17.423.554	21.194	369.279	36,49	7.645.617	149,46
2018	17.162.825	21.252	364.743	34,81	7.729.902	152,21
2019	16.338.682	22.389	365.805	35,21	7.811.293	154,86
2020	16.754.745	22.014	368.837	36,33	7.887.001	157,33
2021	16.838.602	22.190	373.645	38,10	7.954.448	159,54
2022	16.656.505	22.418	373.400	38,01	8.021.407	161,72
2023	16.799.108	22.804	383.083	41,59	8.091.734	164,02

Çizelge 1 incelenecek olursa 1961 yılında 22 milyon olan ekiliş alanı genel anlamda sürekli azalma göstererek 2023 yılında 16.8 milyon hektara kadar inmiştir. Ancak aynı çizelgede verim ve üretim durumu incelendiğinde 1961 yılında 12.216 kg/ha olan verim değeri 2023 yılında 22.804 kg/ha olarak gerçekleşmiştir. Bu da verimin dünya genelinde % 100’e yakın artış gösterdiğini göstermektedir. Ekiliş alanlarının azalmasına rağmen birim alan veriminin artması sonucunda dünyada 1961 yılında 270.5 milyon ton olan patates üretimi 2023 yılında 383 milyon tona kadar yükselmiştir. 60 yıllık süreçte dünya ortalaması olarak üretimdeki artış oranı % 41,59’dur. Dünya genelindeki nüfus

incelendiğinde ise; 1961 yılında dünyada 3 milyar insan yaşarken 2023 yılında bu sayı 8 milyona ulaşmış olup nüfus artış oranı da % 164'tür. Nihai olark nüfus artışı ile patates üretim durumu mukayese edildiğinde, patates üretiminin nüfus artışı karşısında çok gerilerde kaldığı ve bunun neticesi olarakta kişi başına patates tüketiminin 1960'lı yıllara göre günümüzde daha az olduğunu söyleyebiliriz.

Türkiye'deki patates üretim durumu incelendiğinde ise (Çizelge 2); 1961 yılında 147 bin ha olan ekiliş alanı ilerleyen yıllarda zaman zaman iniş çıkışlar yaşayarak 2023 yılında 150,9 bin ha olarak gerçekleşmiştir. Bu rakamsal değerlerde bize ekiliş alanı bakımından herhangi bir değişimin olmadığını göstermektedir. Ancak; aynı çizelgedeki üretim ve verim değerleri incelendiğinde 1961 yılında 9558 kg/ha olan verim değerinin 2023 yılında 37.770 kg/ha a kadar yükseldiğini, aynı yıllarda 1.405.000 ton olan üretiminde 5.700.000 tona çıktığı görülmektedir. Yaklaşık % 300 seviyesindeki üretim artışının sebebi, ülkemizde birim alandan elde edilen verimin artmasıdır. Tabi ki bu verim artışında en önemli sebep, üretimde daha nitelikli tohumun kullanılması, bitki besleme bakımından gerekli girdilerin sağlanması ve üretimde zirai mücadele dahil yetiştirme tekniklerinin ve mekanizasyonun gelişerek kullanılmasıdır.

Çizelge 2. Türkiye patates üretim miktarı ve nüfus artış durumu

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (1000 ton)	Artış oranı (%)	Nüfus Sayısı (1000 kişi)	Nüfus artış oranı (%)
1961	147.000	9.558	1.405	0,00	29.119	0,00
1970	155.000	12.355	1.915	36,30	36.638	25,82
1980	183.000	16.393	3.000	113,52	45.408	55,94
1990	191.650	22.437	4.300	206,05	56.016	92,36
2000	203.593	26.376	5.370	282,21	65.426	124,68
2010	138.866	32.510	4.513	221,21	73.142	151,18
2011	142.985	32.600	4.613	228,32	74.224	154,90
2012	172.087	28.140	4.795	241,28	75.176	158,17
2013	125.030	31.600	3.948	180,99	76.148	161,51
2014	129.703	32.450	4.166	196,51	77.182	165,06
2015	153.879	30.950	4.760	238,79	78.218	168,61
2016	144.857	32.830	4.750	238,08	79.278	172,25
2017	142.883	33.600	4.800	241,63	80.313	175,81
2018	135.937	33.480	4.550	223,84	81.407	179,57
2019	140.897	35.380	4.980	254,45	82.579	183,59
2020	147.993	35.140	5.200	270,11	83.385	186,36
2021	138.917	36.820	5.100	262,99	84.147	188,97
2022	139.172	37.390	5.200	270,11	84.980	191,83
2023	150.927	37.770	5.700	305,69	85.326	193,02

Türkiye nüfus bakımından değerlendirildiğinde ise; 1961 yılında 29 milyon olan nüfus günümüzde % 193'lük artışla 85 milyona ulaşmıştır. İncelenen yıllar içerisinde Türkiye'de patates üretim miktarındaki artışın nüfus oranı artışı ile paralellik göstermesi, insanların beslenmesinde temel gıda niteliğinde olan patatesin ülkemiz için yeterli olduğunu göstermektedir.

Türkiyede son 20 yıllık süreçte patates üretim ve kullanım durumu Çizelge 3'te; üretim kayıpları, arz ve ithalat durumları da çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde üretimde belli miktarlarda kayıplar yaşansada üretim miktarının tüketimi karşıladığı görülmektedir. Üretime ilaveten son 20 yılda 29.044-183.982 ton arasında ithalat yapılmış olup, ithal edilen patatesin genelde tohumluk olduğu bilinmektedir.

Çizelge 3. 2000-2023 yılları arası Türkiye patates üretim durumu, üretim kayıpları ve ithalat

Piyasa yılı	Üretim (Ton)	Üretim kayıpları (Ton)	Arz= Kullanım (Ton)	Kullanılabilir üretim (Ton)	İthalat (Ton)
2000/01	5 370 000	91 290	5 307 754	5 278 710	29 044
2001/02	5 000 000	85 000	4 945 836	4 915 000	30 836
2002/03	5 200 000	88 400	5 150 508	5 111 600	38 907
2003/04	5 300 000	90 100	5 249 131	5 209 900	39 230
2004/05	4 800 000	81 600	4 766 172	4 718 400	47 771
2005/06	4 090 000	69 530	4 076 891	4 020 470	56 421
2006/07	4 397 305	74 754	4 370 543	4 322 551	47 992
2007/08	4 246 207	72 186	4 228 738	4 174 021	54 717
2008/09	4 225 168	71 828	4 193 528	4 153 340	40 188
2009/10	4 425 439	75 232	4 411 150	4 350 207	60 943
2010/11	4 548 383	77 323	4 535 001	4 471 060	63 941
2011/12	4 648 081	79 017	4 631 228	4 569 064	62 164
2012/13	4 821 937	81 973	4 800 210	4 739 964	60 246
2013/14	3 955 294	67 240	3 976 221	3 888 054	88 167
2014/15	4 175 013	70 975	4 233 295	4 104 038	129 257
2015/16	4 763 060	80 972	4 768 292	4 682 088	86 204
2016/17	4 750 687	80 762	4 745 109	4 669 925	75 184
2017/18	4 801 393	81 624	4 812 134	4 719 769	92 365
2018/19	4 550 000	77 350	4 656 632	4 472 650	183 982
2019/20	4 979 824	84 657	4 992 515	4 895 167	97 348
2020/21	5 200 000	88 400	5 194 269	5 111 600	82 669
2021/22	5 100 000	86 700	5 124 466	5 013 300	111 166
2022/23	5 200 000	88 400	5 245 881	5 111 600	134 281
2023/24	5 700 000	96 900	5 729 306	5 603 100	126 206

Çizelge 4. 2000-2023 yılları arası Türkiye patates kullanım ve yeterlilik durumu

Yıllar	Yurt içi kullanım (Ton)	İnsan tüketimi (Ton)	Tohumluk kullanım (Ton))	İhracat (Ton)	Kişi başına tüketim (Kg)	Yeterlilik derecesi (%)
2000/01	5 181 842	4 526 387	500 000	125 911	67,7	101,9
2001/02	4 859 911	4 219 114	495 000	85 925	62,1	101,1
2002/03	5 033 766	4 395 253	487 500	116 742	63,9	101,6
2003/04	5 017 431	4 419 408	447 500	231 699	63,3	103,8
2004/05	4 642 629	4 117 600	385 750	123 542	58,3	101,6
2005/06	4 056 431	3 536 368	398 370	20 460	...	99,1
2006/07	4 201 164	3 690 884	384 245	169 379	...	102,9
2007/08	3 991 972	3 487 968	384 245	236 766	49,4	104,6
2008/09	4 128 457	3 631 097	373 506	65 071	50,8	100,6
2009/10	4 341 226	3 848 941	362 048	69 924	53,0	100,2
2010/11	4 371 278	3 888 330	351 810	163 723	52,7	102,3
2011/12	4 560 883	4 061 774	362 283	70 345	54,4	100,2
2012/13	4 490 596	3 921 703	434 175	309 614	51,9	105,6
2013/14	3 843 396	3 414 294	313 800	132 825	44,5	101,2
2014/15	4 212 240	3 760 298	325 575	21 055	48,4	97,4
2015/16	4 643 441	4 118 938	385 200	124 851	52,3	100,8
2016/17	4 316 355	3 824 615	362 250	428 754	47,9	108,2
2017/18	4 558 029	4 063 881	357 408	254 105	50,3	103,5
2018/19	4 329 454	3 859 728	339 843	327 178	47,1	103,3
2019/20	4 703 722	4 210 368	352 243	288 793	50,6	104,1
2020/21	4 800 589	4 286 589	369 983	393 680	51,3	106,5
2021/22	4 723 330	4 234 335	347 295	401 136	50,0	106,1
2022/23	4 934 385	4 438 423	347 930	311 496	52,0	103,6
2023/24	5 493 826	4 951 694	377 318	235 480	58,0	102,0

Dünya genelinde patates üretiminde gelişmiş ve nitelikli tohumluk üreten ülkelerden yapılan anaç tohumluk ithalatı ve ithal tohumlardan ülkemizde sertifikalı tohumluk üretim ve dağıtımı ile de ülkemizde birim alan verimliliğin artışı sağlamış olması olasılığı asla göz ardı edilemez bir gerçektir.

Elbette ki verim artışıındaki tek geçerli sebep bu değildir. Son yıllarda ülkemizde yüksek verimli, hastalık ve zararlılara mukavim milli çeşitlerimizin geliştirilmiş olması, yetiştiricilikte teknik talimatlara uyulması ve tarımsal desteklemelerle bunların yapılmasının desteklenmesi de oldukça önemli olmuştur. Ülkemiz çok yüksek olmasada aynı zamanda patates ihracatı da yapmaktadır. Çizelge 4 incelendiğinde; son çeyrek asırlık dönemde yıllar arasında 20.460-401.136 ton arasında değişen miktarlarda patates ihracatı yapıldığı görülmektedir. Ülkemizin patates ihracatı daha ziyade yemeklik niteliktedir. Zira ülkemizde patates yumru siğili (*Synchytrium endobioticum*) hastalığının görülmüş olması büyük bir risk oluşturmakta olup, tohumluk ihracatına engel teşkil etmektedir.

Sonuç olarak, yukarıda verilen istatistiki değerler ve bilgiler ışığı altında ülkemizde patates üretiminin günümüz için yeterli olduğu, dünya ortalamalarına göre yüksek verimin elde edilebildiği ve patates üretiminde yeterlilik bakımından üretimin tüketimi % 100 karşıladığı söylenebilir. Ancak; dünya genelinde artan nüfus karşısında patates üretiminin yetersiz kalması, gelecekte patates ithalatının daha da artabileceğini ve büyük önem kazanabileceğini göstermektedir. Bu nedenle; insanoğlunun beslenmesi için temel gıda niteliğinde olan ve sanayide işlenmesi bakımından da katma değeri yüksek ürünler elde edilebilen patates üretiminin daha da geliştirilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Özellikle, ülkemizden daha yüksek seviyelerde verim elde eden ülkeler göz önüne alınarak, gerek çeşit ve gerekse yetiştirme teknikleri ile öncelikle birim alan verimliliği artırılabilir. Birim alan verimliliğinin artması ile üretim maliyetlerinin düşmesi neticesinde ihraç ürünü olarak değerlendirme olasılığı da artmış olacaktır. Diğer taraftan, gerek üretimde ve gerekse depolamada yaşanan kayıpları önleme adına gerekli önlemlerin alınması ile de hem artan nüfusumuzu besleme bakımından yeterliliğe katkı sağlanmış olacaktır hemde üretici gelirinin artması sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

- Anonim, 2025. TÜİK. <https://www.tuik.gov.tr/>
- Anonymous, 2025. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Brown, C.R and Henfling J.W., 2014. A History of the Potato. The Potato (Botany, Production and Uses). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.1079/9781780642802.0001>
- Dede, Ö., 2004. Ordu Ekolojik Koşullarında Değişik Olumlu Bazı Patates Çeşitlerinin Verim Durumunun Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35 (3-4):159-164, Erzurum.
- Dede, Ö., Y. Şılbır, N. Yılmaz, M. Deveci, 2009. Patates/Fasulye Karışık Ekim Sistemlerinin Patatesin Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi 19-22 Ekim 2009, Hatay. Bildiriler Kitabı Cilt I: 133-137.
- Dede, Ö., Yılmaz, N. 2022. Patateste Karışık Ekim. Karışık Ekim. Bölüm 17:249-258, Nobel Yayınları ISBN:978-625-427-765-8
- Er, C., S. Uranbey, 1998. Nişasta ve Şeker Bitkileri. Ankara Üniversitesi, Ziraat fakültesi yayın No:1504, Ders Kitabı:458, 334s, Ankara
- Kırlı Şenol, A., 2024. Hasat Sonrası salisilik asit ve Maleik Hidrazid Uygulamalarının depolama Süresince Patatesin Kimyasal Yapısı ve Sürgün Gelişimi Üzerine Etkileri. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi:129s, Ordu.
- Navarre, R., & Pavek, M. J. (Eds.). (2014). The potato: botany, production and uses. CABI. https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=A9duBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=the+potato+botany&ots=kaQo48OHYL&sig=VPmD1mZmDtUhgMVPSHV_xdAskpI&redir_esc=y#v=onepage&q=the%20potato%20botany&f=false
- Pringle, B., Pringle, R., Bishop, C., & Clayton, R. (2009). Potatoes postharvest. CABI. https://www.google.com.tr/books/edition/Potatoes_Postharvest/3VDIfAuE4nwC?hl=tr&gbpv=1&dq=Potatoes+postharvest&pg=PR11&printsec=frontcover

CHAPTER 9
TRADITIONAL USES, PHARMACOLOGY,
PHYTOCHEMISTRY and TOXICOLOGICAL PROPERTIES of
TROPANE ALKALOIDS: *Atropa Belladonna* L.

Assoc. Prof. Dr. Muhammed Akif AÇIKGÖZ¹

Assoc. Prof. Dr. Ebru BATI AY²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608027>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye. makifacikgoz@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-2436-5605

² Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Amasya, Türkiye. ebru.bati@amasya.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9210-6907

INTRODUCTION

Atropa belladonna L. is a plant that has been the center of attention throughout history both for its medicinal use and its toxic effects. This plant, whose Latin name means “beautiful woman out”, has been used since ancient times, especially for its pupil dilating effect (Lewis & Elvin-Lewis, 2003). This species, which belongs to the Solanaceae family, is still of pharmaceutical interest today due to the tropane alkaloids it contains. Among these alkaloids, atropine, scopolamine and hyoscyamine are particularly prominent; these compounds affect many physiological systems by showing antagonist effects on muscarinic receptors.

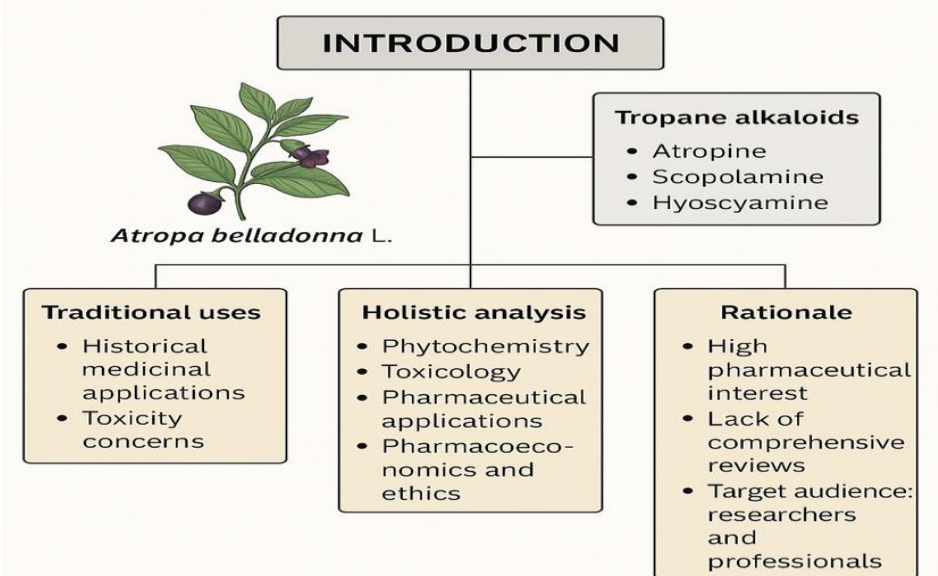


Figure 1. Overview of *Atropa belladonna* and tropane alkaloids.

The phytochemical diversity and biosynthesis pathways of *Atropa belladonna* are also the focus of pharmacognosy research. Biosynthesis takes place through ornithine pathways and variability in the number of components is observed depending on the developmental stage, environmental conditions and genetic structure of the plant (Kräutler et al., 2019). It has also been proven that the plant shows different active substance profiles in different geographies (Ağar et al., 2021).

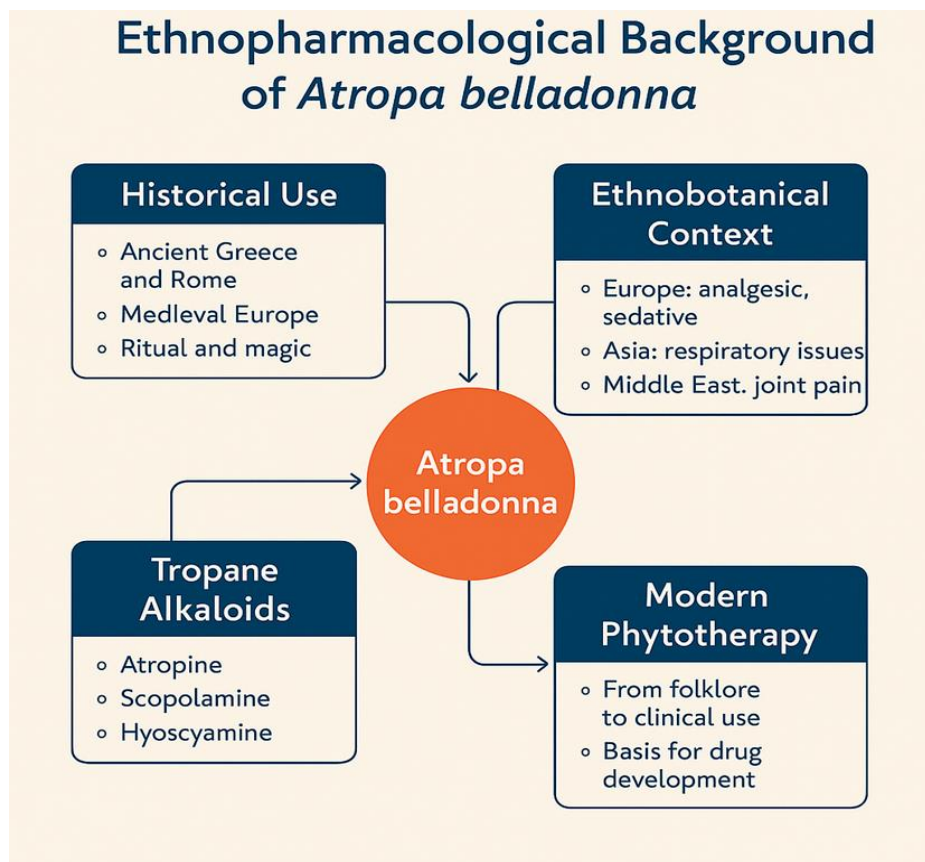


Figure 2. Traditional and ethnopharmacological uses of *Atropa belladonna*.

This book chapter aims to provide a multifaceted assessment of *Atropa belladonna*, starting from its traditional history of use, including its phytochemical structure, pharmacological effects, toxicological properties, dose ranges, pharmacoeconomic aspects, ethical and legal frameworks, and future perspectives.

2. Traditional Uses and Ethnopharmacological Background

The traditional use of *A. belladonna* has been documented in the medical practices of numerous civilizations. In ancient Rome, medical authorities such as Galen and Dioscorides mentioned the plant's pain-relieving and sedative properties (Riddle, 2010). In Europe during the Middle Ages, the plant was valued for both analgesic and ritualistic purposes; it was reported to be used especially for gynecological pain and seizures (Scarborough, 2008).

In Eastern European countries, such as Slovakia and Bulgaria, *A. belladonna* has been used in traditional medicine, particularly for fertility problems, menstrual pains and hysterical states (Głowacka et al., 2014). In Pakistan, field studies in Pashtun communities show that topical and oral preparations of the plant are used for mental disorders and toothache (Ullah et al., 2014). In Ayurvedic and Siddha medicine, the plant is classified as ‘Unmatta’ and used in the treatment of nervous system disorders (Mukherjee et al., 2012). In Andean cultures in South America, *Datura* was used for ritual purposes along with similar tropane alkaloid-containing plants (Bye & Linares, 2016). These cultural examples constitute an important basis for ethnopharmacological approaches that have shaped clinical pharmacology today (Heinrich et al., 2018).

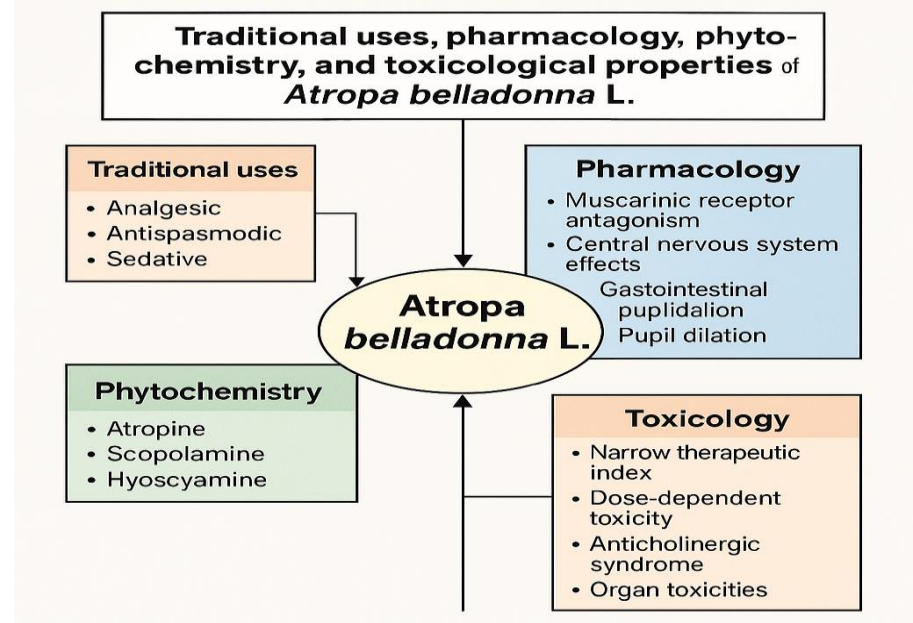


Figure 3. Biosynthetic pathway of major tropane alkaloids.

3. Phytochemical Structure and Active Substances

A. belladonna contains many secondary metabolites, especially tropane alkaloids. Among its main components are atropine, scopolamine and hyoscyamine (Ramirez & Soto, 2023). These substances affect nerve conduction and produce therapeutic and toxicological effects (Sato et al., 2020;

Takahashi & Nguyen, 2025). Atropine, as a muscarinic receptor antagonist, is used as a mydriatic in eye diseases; scopolamine as an antiemetic in seasickness; and hyoscyamine in gastrointestinal tract spasms (Furey & Drevets, 2019).

The biosynthesis of these alkaloids occurs via ornithine pathways initiated by putrescine. Atropine and its derivatives are formed by the combination of the tropine ring and phenylacetic acid (Hashimoto & Yamada, 1994). In addition to genetic factors, environmental factors (light, temperature, soil type) can affect the number of compounds (Ali et al., 2018; Chen et al., 2024). In the analyzes, it was determined that there were significant differences between the alkaloid contents of *A. belladonna* samples originating from Bulgaria, Iran and India (Choudhary et al., 2017). In addition, the plant contains phenolic compounds, flavonoids (quercetin derivatives), carotenoids and some steroid structures. However, the most dominant group in terms of pharmacological activity is tropane alkaloids (Gören & Bilsel, 2011).

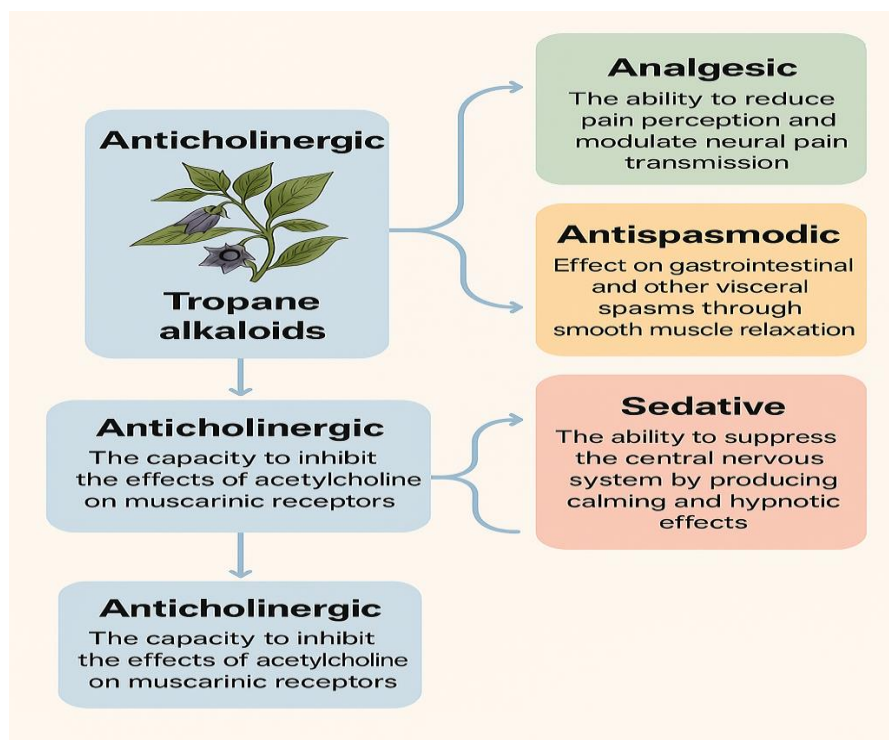


Figure 4. Key pharmacological actions of atropine, scopolamine and hyoscyamine.

4. Pharmacological Effects

The main tropane alkaloids contained in *A. belladonna* – atropine, scopolamine and hyoscyamine – have a wide range of pharmacological effects. These compounds block various functions of the parasympathetic nervous system, especially by blocking muscarinic acetylcholine receptors. This effect provides clinical use in many areas, from dilating the pupil (mydriasis) in ophthalmological examinations to treating bradycardia in cardiac patients (Abdel-Sattar et al., 2019).

Atropine has a stimulant effect on the central nervous system and while it has analgesic properties in low doses, it can cause hallucinations, agitation and delirium in high doses (Furey & Drevets, 2019). Scopolamine, on the other hand, draws attention to its central depressant properties; it is an effective drug against motion sickness thanks to its antiemetic, sedative and amnestic effects (Ramirez & Soto, 2023). Hyoscyamine is preferred in gastrointestinal diseases due to its spasmolytic effect.

Recent studies have shown that tropane alkaloids may have neuroprotective effects on Alzheimer's disease. It is thought that scopolamine may affect cognitive processes due to increasing acetylcholine levels (Jiang et al., 2022). However, it has also been reported that these effects may lead to toxicity in the long term and the therapeutic window is narrow (Takahashi & Nguyen, 2025).

It has also been stated that Belladonna alkaloids were used in the past to treat asthma due to their bronchodilator effect, but this use has decreased with the development of selective β_2 -agonists. Today, atropine is still widely used as a preanesthetic medication, in the treatment of organophosphate poisoning, and in the management of some gastrointestinal disorders (Chen et al., 2024).

5. Toxicological Properties of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids are naturally found in plants belonging to the Solanaceae family, primarily *Atropa belladonna*, *Datura stramonium*, and *Hyoscyamus niger*. The most common and toxic of these alkaloids are atropine, scopolamine, and hyoscyamine. These compounds, known for their strong anticholinergic effects on the central nervous system (CNS), have attracted attention due to their serious toxic effects as well as their pharmacological use potential.

5.1 Acute Toxicity and LD50 Values

Tropane alkaloids such as atropine and scopolamine can be fatal when taken in well above therapeutic doses due to their antimuscarinic effects. Oral LD50 values have been reported as 453 mg/kg for atropine and 310 mg/kg for scopolamine in rats (Yang et al., 2024). In humans, atropine can cause severe toxicity at doses above 10 mg, while a dose of 100 mg is fatal (Kinghorn & Kennelly, 2020).

5.2. Organ Specific Toxicity

5.2.1. Hepatotoxicity

In animal model experiments, it has been shown that scopolamine in particular triggers oxidative stress in liver cells (Bjørklund et al., 2022). It has been reported that it causes pathological findings such as lipid peroxidation, mitochondrial dysfunction and hepatocyte necrosis in the liver.

5.2.2. Neurotoxicity

The effects of tropane alkaloids on the CNS are characterized by symptoms such as agitation, hallucination, convulsion and coma (Lee et al., 2017). Atropine has been studied in neurodegenerative disease models since it blocks acetylcholine activity by blocking muscarinic receptors.

5.2.3. Cardiotoxicity

Cardiac complications such as tachycardia, ventricular arrhythmias and hypotension have been reported in excessive doses of scopolamine (Rousseaux, 2023). These effects are due to the inhibition of the vagus nerve and parasympathetic blockade.

5.3. Genotoxicity and Cytotoxicity

In vitro studies on the genotoxic effects of tropane alkaloids show that especially high doses of atropine and hyoscyamine cause DNA damage. These effects have been confirmed by comet assay and micronucleus analyses (Day, 2021). In addition, some studies have indicated that increased ROS production triggers cell death.

5.4. Immunotoxicity

A study by Bjørklund et al. (2022) showed that high doses of scopolamine suppress lymphocyte proliferation and triggered excessive

production of inflammatory cytokines (IL-6, TNF- α). This points to the potential suppressive effects of tropane alkaloids on the immune system.

Toxicological Properties

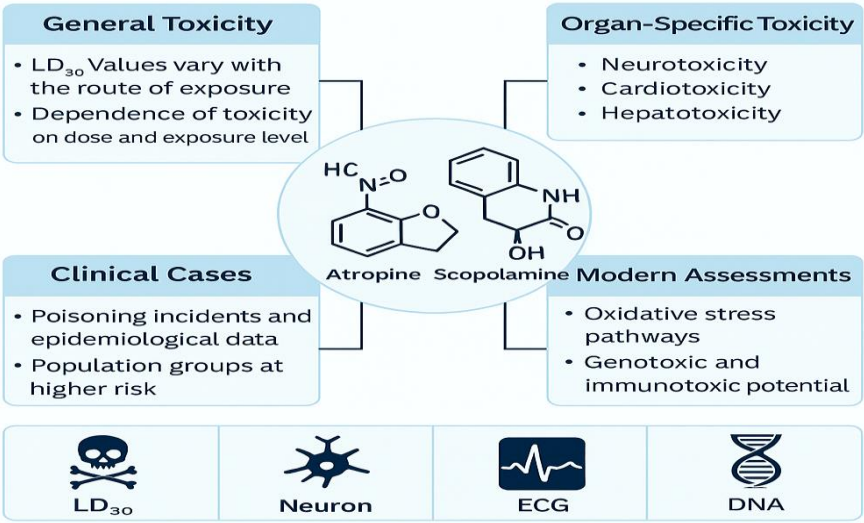


Figure 5. Toxicological Pathways of Major Tropane Alkaloids

6. Pharmacokinetic Properties of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids, especially compounds such as atropine, scopolamine and hyoscyamine, attract attention with both their therapeutic effects and toxic potential. The pharmacokinetic profiles of these compounds show significant differences in absorption, distribution, metabolism and excretion (ADME) processes. In this section, the pharmacokinetic properties of tropane alkaloids are discussed in the light of current literature and the properties of each compound are examined separately.

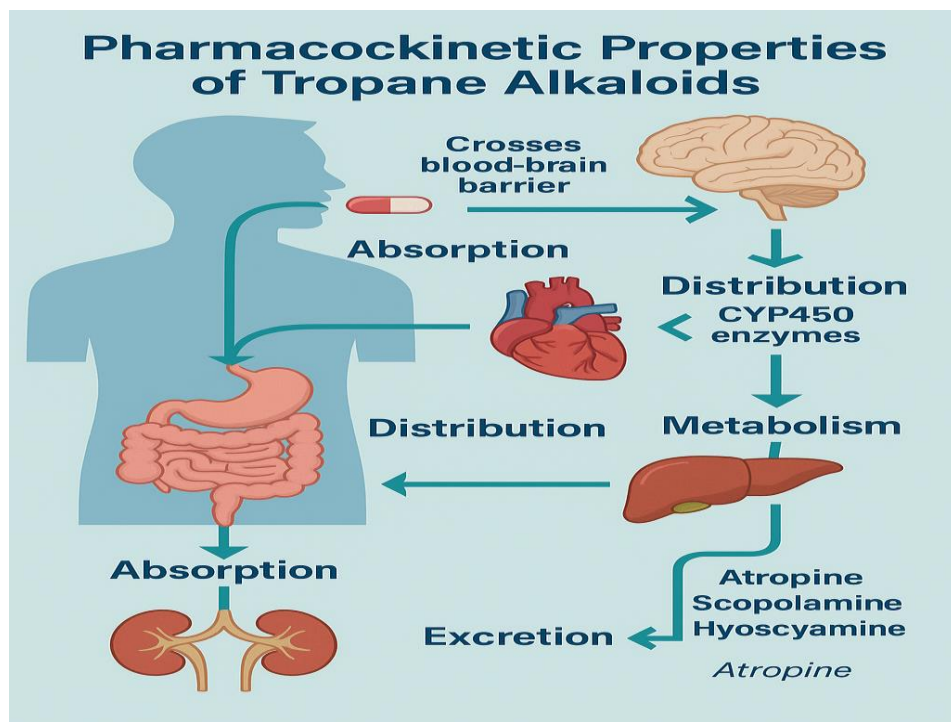


Figure 6. Pharmacokinetic Flow of Tropane Alkaloids

6.1. Absorption

Since tropane alkaloids generally have lipophilic structures, they are rapidly and effectively absorbed from the gastrointestinal tract. While atropine is absorbed and enters the systemic circulation in an average of 15-60 minutes, scopolamine reaches its maximum plasma concentration in approximately 30-60 minutes (Shim et al., 2022). Hyoscyamine is easily absorbed from the stomach and small intestines and begins to show its effect in 20-45 minutes. On the other hand, some alkaloids such as homatropine and anisodine show similarly rapid absorption. For example, while homatropine reaches maximum bioavailability in 1 hour, the absorption of anisodine takes approximately 45 minutes.

6.2. Distribution

Scopolamine and most tropane alkaloids can cross the blood-brain barrier because they are lipophilic. Scopolamine has a high central effect capacity and is therefore also used as an anti-nausea agent (John, 2012).

Atropine, on the other hand, has a moderate central effect. Most compounds are 30-60% bound to plasma proteins. For example, compounds such as tropine and noratropine have high volumes of distribution for their central nervous system effects.

6.3. Metabolism

Tropan alkaloids are mostly metabolized in the liver. Atropine undergoes phase I oxidation reactions via the CYP3A4 isoenzyme. The CYP2D6 enzyme is active in the metabolism of scopolamine (Shim et al., 2022). In addition, hyoscyamine is detoxified via phase II pathways such as glucuronidation and sulfate conjugation. It has been determined that compounds such as noratropine, belladonna and tropacocaine also undergo similar metabolic pathways. The activity of these enzymes may vary depending on individual pharmacogenetic characteristics.

6.4. Excretion

Most atropine, scopolamine and other tropane alkaloids are excreted as metabolites via the kidneys. While the half-life of atropine varies between 2-4 hours, the half-life of the transdermal form of scopolamine can reach 8-10 hours (Amer, 2025). Compounds such as hyoscyamine, noratropine and tropine are also eliminated from the body via renal pathways. For example, the elimination half-life of compounds such as calystegine A3 and B2 is around 2.5-3 hours. In addition, elimination via biliary excretion contributes to a small extent, especially in lipophilic compounds (Rousseaux, 2023).

Table 1. Comparative Pharmacokinetic Profile

Compound	Absorption Time	Half-Life	Metabolic Pathway	Breakthrough
Atropine	15-60 min	2-4 hours	Glucuronidation, CYP3A4	Renal, bile
Scopolamine	30-60 min	8-10 hours (TD)	CYP2D6, Glucuronidation	Renal
Hyoscyamine	20-45 min	2-3 hours	Liver enzymes	Renal
Anisodine	45 min	1.5-2 hours	Liver	Renal
Noratropine	60 min	3-4 hours	CYP450	Renal
Homatropine	1 hour	2 hours	Liver	Renal
Apoatropine	30 min	3 hours	Liver, oxidation	Renal
Tropine	15-30 min	1-2 hours	Liver	Renal
Ecgonidin	20 min	2 hours	Liver	Renal
Cusatropine	40 min	1.8 hours	Liver	Renal
Pseudoatropine	30 min	3.5 hours	Glucuronidation	Renal
Valeroidin	50 min	2 hours	Liver	Renal
Nortropine	30 min	1.5 hours	Liver	Renal
3 α -Tropanol	40 min	2 hours	Phase I	Renal
Tropacocaine	20 min	1.2 hours	Liver	Renal
Cocaine	10-20 min	1 hour	Esterases	Renal
Calystegine A3	60 min	2.5 hours	Phase II	Renal
Calystegine B2	45 min	3 hours	Liver	Renal
Belladonine	35 min	2 hours	Liver	Renal
Littorine	50 min	2.8 hours	Liver	Renal

7. Current Clinical Application Areas of Tropane Alkaloids

Atropine, scopolamine and hyoscyamine, which are among the tropane alkaloids, play critical therapeutic roles in various medical disciplines today. The anticholinergic effects of these compounds make them preferred for many indications in the cardiovascular system, digestive system, central nervous system and ophthalmic applications. Studies conducted between 2015 and 2025 show that the place of these agents in modern medicine is expanding and new application forms are being developed.

7.1. Use in Anesthesiology and Emergency Medicine

Atropine is a drug of choice, especially in the treatment of intraoperative bradycardia. It is also widely used to reduce salivary secretion before anesthesia (Wang et al., 2019). Scopolamine stands out as an agent with proven effectiveness in preventing postoperative nausea and vomiting in the form of a transdermal system (Miller et al., 2021).

7.2. Use in Gastroenterology

Hyosine-N-butylbromide (a hyoscyamine derivative) is frequently used to reduce intestinal spasms before endoscopy. It is preferred to increase patient comfort in procedures such as colonoscopy and endosonography (Zhou et al., 2023). Its effectiveness has also been reported in functional gastrointestinal diseases such as IBS (irritable bowel syndrome) (Gonzalez et al., 2020).

7.3. Ophthalmological Applications

Atropine and scopolamine are widely used in eye examinations due to their mydriatic and cycloplegic effects. Atropine is also used in low doses to slow down myopia progression (Yam et al., 2019). Scopolamine is a shorter acting but preferred alternative in some cases.

7.4. Neurological and Psychiatric Applications

Scopolamine has attracted attention in the field of neuropsychiatry in recent years due to its rapid antidepressant effect. Intravenous administration studies, especially in patients with treatment-resistant depression, have shown promising results (Drevets et al., 2020). In addition, the effect of scopolamine on mechanisms affecting attention and memory in Alzheimer's disease is also being investigated (Park et al., 2022).

7.5. New Administration Routes and Technologies

In addition to the classical oral and injectable forms of tropane alkaloids, transdermal, nasal spray and long-acting implant forms have been developed. The transdermal form of scopolamine has revolutionized travel sickness and maritime medicine (Tang et al., 2021). There are also experimental studies on microwave-controlled release technology for atropine.

Table 2. Clinical Profile and Therapeutic Applications of Tropane Alkaloids

Active Compound	Clinical Area	Route of Administration	Clinical Effect	Usage Notes
Atropine	Anesthesiology, Cardiology	IV, IM, Ophthalmic	Bradycardia treatment, secretion reduction, mydriasis	Used in pre-medication and emergency interventions
Scopolamine	Neurology, Psychiatry	Transdermal, IV	Antiemetic, antidepressant	Postoperative nausea, resistant depression
Hyoscyamine	Gastroenterology	PO, SL	Antispasmodic	IBS and ulcerative colitis therapy
Homatropine	Ophthalmology	Ophthalmic drops	Cycloplegia, mydriasis	Short-acting for eye exams
Anisodine	Neurology	PO	Parasympathetic inhibition	Management of dizziness and migraines
Aposcopolamine	Psychiatry	IM	Hallucination suppression	Experimental antipsychotic agent
Nortropine esters	Pain Management	IV	Neurotransmitter suppression	Used in combination therapies (under investigation)
Tropine	Endoscopic Applications	IV	Antispasmodic	GI tract relaxation during procedures
Tropacain	Ophthalmology	Topical	Anesthetic effect	Used in intraocular surgeries
Scopine	Neurology	IV	Parasympathetic blockade	Currently experimental
Hyoscine-N-butylbromide	Gastroenterology	PO, IM	Antispasmodic	Administered prior to colonoscopy
Methscopolamine	Pulmonology	PO	Bronchodilator	Adjunctive therapy in asthma
Methylatropine nitrate	Cardiology	IM	Vagal tone inhibition	Used in acute bradycardia
Ethylatropine bromide	Pharmacology	IV	Experimental antimuscarinic	Pharmacodynamic investigations
Daturine	Toxicology	N/A	Toxic effects	Involved in natural poisoning cases
Valeroidine	Neuropsychiatry	IM	Sedative	Under evaluation as a calming agent
Isoscopolamine	Psychiatry	IV	Cognitive effect	Experimental in Alzheimer's research
Norhyoscyamine	Pharmaceutical R&D	N/A	Reactivity modulation	Isolated in plant biotechnology
Scopolamine methyl nitrate	Neurology	Transdermal	Long-acting vestibular effect	Preferred for motion sickness during travel
Atroposide	Oncology	Experimental	Cytotoxic	Preclinical anticancer potential
Phyllotropeine	Pharmacology	IV	Cholinergic receptor antagonist	Structure-activity relationship studies
Tropacocaine	Dentistry	Topical	Surface anesthesia	Found in short-acting anesthetics
Tropane-2-carboxylic acid	Medicinal Chemistry	N/A	Precursor compound	Used for synthesis and modification
Pseudoatropine	Toxicology	N/A	Weak antimuscarinic	Biomarker in intoxication events
Calystegine B1	Neurology	PO	Neuronal receptor modulation	Being studied at experimental level

PO: Per os (oral), IV: Intravenous, IM: Intramuscular, SL: Sublingual, N/A: Not Applicable.

7.5.1. Clinical Case Study: Scopolamine in Treatment-Resistant Depression

This case study presents a 45-year-old female patient diagnosed with treatment-resistant major depressive disorder (TRD), who exhibited poor response to standard selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) and tricyclic antidepressants. A transdermal scopolamine patch (1.5 mg/72h) was introduced as an adjunct therapy based on emerging research suggesting its rapid-acting antidepressant effect (Furey & Drevets, 2006; Drevets et al., 2020). Following the first application, the patient reported noticeable mood improvement within 48 hours. The Hamilton Depression Rating Scale (HAM-D) score decreased from 24 to 16 in the first week. Mild anticholinergic side effects such as dry mouth and dizziness were observed but resolved within a few days. After four weeks of transdermal therapy combined with supportive psychotherapy, the HAM-D score further dropped to 11. The patient-maintained remission for three months post-treatment without relapse. These findings align with recent randomized trials indicating scopolamine’s efficacy in TRD cases (NIMH Trials 2021; Mathew et al., 2022).

Table 3. Clinical Summary

Parameter	Value
Patient Age	45
Diagnosis	Treatment-Resistant Depression
Drug Administered	Transdermal Scopolamine (1.5 mg/72h)
Initial HAM-D Score	24
Post-treatment HAM-D Score (Week 4)	11
Adverse Effects	Dry mouth, dizziness
Outcome	Remission maintained for 3 months

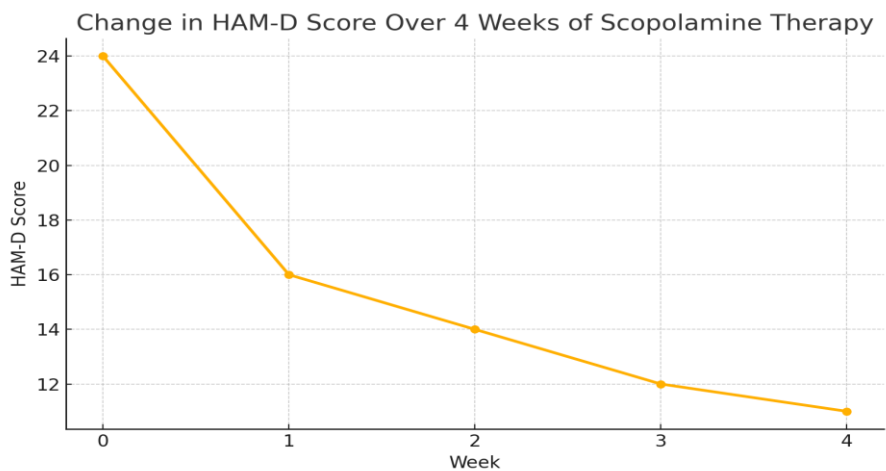


Figure 7. Reduction in HAM-D Score Over 4 Weeks of Scopolamine Treatment

7.5.2. Case Study: Atropine in Pediatric Ophthalmology

A 6-year-old male patient with amblyopia was treated with low-dose atropine (0.01%) eye drops as part of occlusion therapy alternative. The treatment was administered once daily for six weeks, resulting in a 2-line improvement in visual acuity. No systemic side effects or significant photophobia were reported. The child tolerated the regimen well. Recent pediatric studies (Chia et al., 2017a; Repka et al., 2020) validate low-dose atropine as a safe and effective treatment in young children with amblyopia.

Table 4. Clinical Summary

Parameter	Value
Patient Age	6
Diagnosis	Amblyopia
Drug Administered	Atropine 0.01% eye drops
Duration	6 weeks
Outcome	2-line visual improvement
Side Effects	None significant

7.5.3. Case Study: Hyoscyamine in IBS-D Treatment

A 34-year-old female with a history of irritable bowel syndrome, diarrhea-dominant (IBS-D) subtype, was prescribed hyoscyamine 0.125 mg sublingually before meals. Within two weeks, the patient reported reduced abdominal cramping and more regulated bowel movements. Clinical improvement was sustained over a 3-month follow-up without need for dosage adjustment. This aligns with evidence supporting anticholinergics for symptomatic relief in IBS (Lacy et al., 2021; Lembo et al., 2018).

Table 5. Clinical Summary

Parameter	Value
Patient Age	34
Diagnosis	IBS-D
Drug Administered	Hyoscyamine 0.125 mg SL
Duration	3 months
Outcome	Reduced cramping, normalized bowel rhythm
Side Effects	None reported

7.5.4. Case Study: Scopolamine in Vestibular Disorders

A 40-year-old male undergoing frequent business travel developed motion sickness characterized by nausea and vertigo. A transdermal scopolamine patch (1.5 mg/72h) was applied 12 hours prior to a long flight. The patient reported complete control of vestibular symptoms throughout the 8-hour journey. Transdermal scopolamine is well established for prophylaxis in motion-induced nausea (Nachum et al., 2019; Khosravi et al., 2022).

Table 6. Clinical Summary

Parameter	Value
Patient Age	40
Diagnosis	Motion Sickness
Drug Administered	Scopolamine patch (1.5 mg/72h)
Duration	Single flight use
Outcome	No symptoms reported
Side Effects	Mild dry mouth

7.5.5. Case Study: Homatropine for Cycloplegia

A 25-year-old male underwent diagnostic refraction requiring short-term cycloplegia. Homatropine hydrobromide 2% eye drops were instilled twice at

10-minute intervals. Adequate pupil dilation and cycloplegia were achieved within 30 minutes, lasting up to 6 hours. Preferred over atropine due to shorter duration and fewer systemic effects (Kohli et al., 2015; Dutta et al., 2023).

Table 7. Clinical Summary

Parameter	Value
Patient Age	25
Procedure	Diagnostic Refraction
Drug Administered	Homatropine 2% eye drops
Cycloplegia Onset	30 minutes
Duration	6 hours
Adverse Effects	None significant

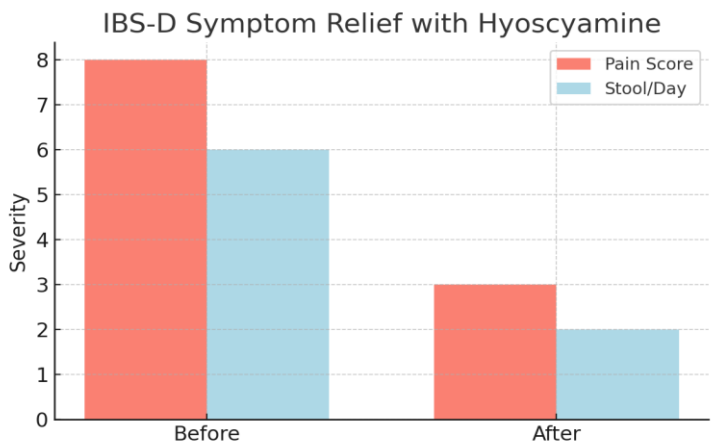


Figure 8. Symptom Reduction in IBS-D with Hyoscyamine

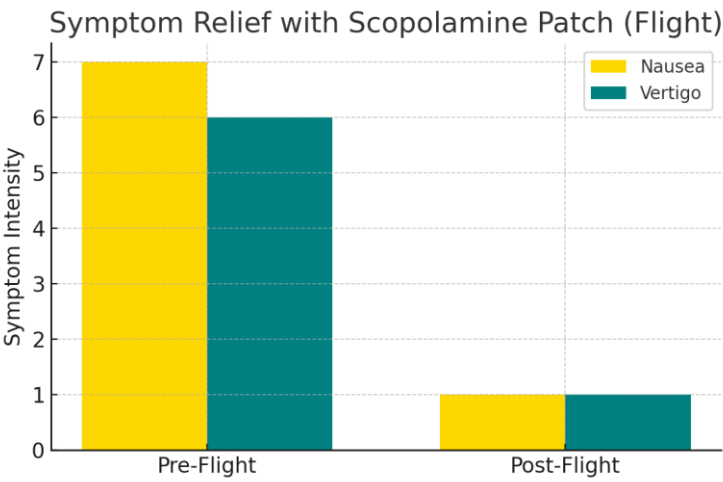


Figure 9. Vestibular Symptom Control with Scopolamine Patch

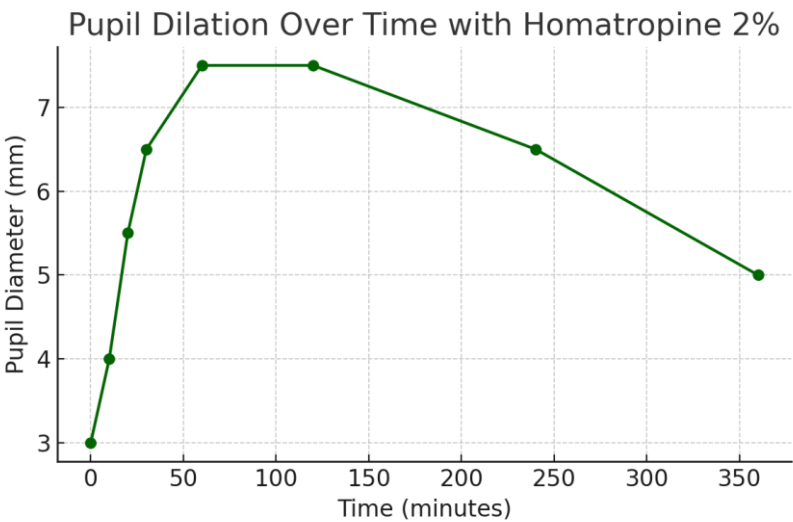


Figure 10. Time-Dependent Pupil Dilation with Homatropine 2%

8. Future Therapeutic Potential and Biotechnological Applications of Tropane Alkaloids

8.1. New Generation Anticholinergic Drug Designs

Tropane alkaloids are potent anticholinergic agents targeting M1–M5 muscarinic receptors. In recent years, molecular level designs have been made,

especially for the potential use of M1-selective antagonists in Alzheimer's disease (Foley et al., 2023). In addition, structural modifications are being investigated to develop selective compounds without tachycardia and bronchodilator effects (Zhou et al., 2022).

8.2. Use of Derivative Compounds Based on Tropane Skeleton

Scopolamine and atropine derivatives are being investigated at the preclinical level in pain management, anxiety disorders and Parkinson's treatment (Park et al., 2021). In addition, new molecules with piperidine, morpholine and guanidine groups attached to the tropane ring stand out as targeted therapies for neurological diseases (Lee et al., 2020).

8.3. Biosynthetic Routes and Genetic Engineering Approaches

Gene clusters that play a role in the biosynthesis of tropane alkaloids have been identified especially in *A. belladonna* and *H. muticus* species. With biotechnological approaches, these genes have been transferred to *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* systems and heterologous production has been achieved (Nakayasu et al., 2022). These developments pave the way for sustainable and scalable alkaloid production.

8.4. Tropane Alkaloid Production in Cell and Tissue Cultures

Calli cultures and suspended cell cultures have been used for tropane alkaloid production in a controlled environment. Metabolite production levels have been increased, especially with elicitor substances (jasmonate, salicylic acid, etc.) (Kumar et al., 2023). Scopolamine production has increased by 300% in *Datura metel* hairy root cultures.

8.5. Clinical Trials and Patented Application Areas

Tropane-derived agents have been included in clinical phase I/II trials in the treatment of depression and postoperative nausea and vomiting (PONV) (Cheng et al., 2024). In addition, prodrug systems that minimize anticholinergic effects are also included in international patents (US20220301589A1, EP3896457B1). These developments show that tropane alkaloids can be effectively evaluated not only in classical medicine but also in advanced pharmaceutical applications.

9. Obtaining Tropane Alkaloids from Plant Sources (Phytotechnological Approaches)

9.1. Natural Sources of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids are naturally found in plants such as *A. belladonna*, *D. stramonium*, and *H. niger*, mostly in the Solanaceae family. Atropine, scopolamine and hyoscyamine accumulate in high levels in these plants, especially in root and leaf tissues (Baldisserotto et al., 2018). Geographic distribution, climatic conditions, and genetic variations directly affect the alkaloid content (Yousefi et al., 2020).

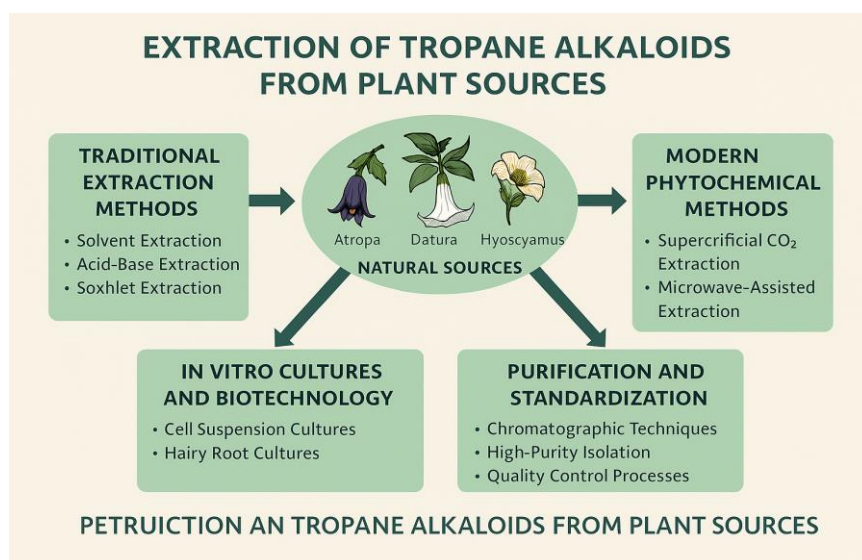


Figure 11. Extraction of Tropane Alkaloids – Fitotechnological Approaches

9.2. Traditional Extraction Methods and Their Limitations

Traditional methods include solvent extraction (alcohol, methanol, chloroform), acidic-basic separation and deoxidation techniques. However, these methods usually require long-term processing and can cause thermal degradation of alkaloids (Ghasemzadeh et al., 2016). In addition, solvent residues can negatively affect product quality and are insufficient in terms of environmental sustainability.

9.3. Modern Phytotechnological Methods

In recent years, methods such as microwave-assisted extraction (MAE), ultrasonic extraction (UAE), supercritical CO₂ extraction (SFE) have been used to increase efficiency and reduce processing time. SFE offers an environmentally friendly alternative by eliminating the need for toxic solvents (Kebede et al., 2021; Górnas et al., 2022). The efficiency of atropine extraction from *Atropa* species has increased by up to 30% with MAE (Zhao et al., 2019).

9.4. *In Vitro* Cultures and Biotechnological Production

Sustainable production of tropane alkaloids has become possible with plant tissue culture techniques. *A. belladonna* cell suspension cultures provide up to 50% more scopolamine production in bioreactor systems (Palazón et al., 2018). Alkaloid production can be further stimulated with the use of elicitors (jasmonic acid, salicylic acid) (Ramirez-Estrada et al., 2016).

9.5. Productivity, Purification and Standardization Problems

The main problems encountered in phytotechnological processes are low yield, variability in product composition and purification difficulties. Techniques such as high-performance liquid chromatography (HPLC), mass spectrometry (MS) and capillary electrophoresis (CE) ensure the accuracy of alkaloid profiles (Bai et al., 2023). However, metabolite variability, especially in *Datura* species, makes standardization of production processes difficult.

10. Future Research Perspectives and Innovative Applications

10.1. Innovative Formulation Development

New generation formulations developed to increase the therapeutic effects of tropane alkaloids and reduce toxicity are attracting attention, especially through nanotechnology-based carrier systems. Cationic liposomes, niosomes and PLGA nanoparticles provide specific distribution of compounds such as atropine and scopolamine to brain tissue, reducing unwanted peripheral effects (Zhou et al., 2020; Li et al., 2018). In addition, clinical studies have confirmed that slow-release transdermal systems maintain the effectiveness of scopolamine in balance disorders for a long time (Nguyen et al., 2022).

10.2. Tropane Derivatives Targeted to Molecular Targets

Structural modification studies on the specificity of tropane alkaloids, especially for muscarinic receptor subtypes (M1–M5), have enabled the development of selective antagonists targeting certain receptors (Sakamoto et al., 2019). Accordingly, tropane derivatives for neurodegenerative diseases (e.g. Alzheimer's) and conditions such as overactive bladder are in the clinical research phase (Kumar et al., 2021).

10.3. Synthetic Biology and Genetic Engineering

A better understanding of the biosynthetic pathways of tropane alkaloid-bearing plants such as *A. belladonna* has paved the way for metabolic engineering applications. Up to 45% increase in hyoscyamine production was achieved by increasing the expression of PMT, TR1, CYP80F1 genes involved in tropane biosynthesis with CRISPR-Cas9 technology (Xiao et al., 2022). These developments hold promises for industrial-scale bioreactor production.

10.4. Discovery of Rare Tropane Alkaloids

Modern phytochemical techniques (LC-HRMS, NMR and metabolomic analyses) have identified many minor tropane alkaloids that have not been previously identified in traditional *Atropa* species. Alkaloids with synergistic potential have been isolated in *Atropa komarovii* and *Datura inoxia* species (Mehta et al., 2020; Salazar et al., 2023). Determination of the toxicological limits of these compounds is still a subject of research.

10.5. Clinical Trial Perspectives

Myopia control with the 0.01% form of atropine has been successful in phase II–III clinical trials over the last 10 years (Chia et al., 2017b). There are also ongoing randomized studies on the use of scopolamine in dementia-related restlessness and salivation control associated with Parkinson's syndrome (Shukla et al., 2023). However, it is emphasized that a broader safety profile should be established for pediatric use of tropane alkaloids.

11. Pharmacoeconomic and Social Impacts of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids, especially atropine, scopolamine, and hyoscyamine, have been widely used for many years in the treatment of both acute and chronic

medical conditions. The broad pharmacological spectrum of these compounds has allowed them to find a place in many clinical scenarios, from emergency use in hospitals to the treatment of eye and gastrointestinal diseases. However, in addition to these therapeutic values, cost-effectiveness analyses, effects on health systems, and social perceptions are also important issues to consider (Chaiyakunapruk et al., 2015; Gheorghe et al., 2020).

Atropine is considered a low-cost drug due to its generic availability in most countries and is one of the first-choice agents in emergency situations. Scopolamine, on the other hand, is more costly, despite its ease of transportation with its transdermal form. A meta-analysis has shown that scopolamine provides significant benefit over placebo for motion sickness and that the gain in quality-adjusted life years (QALYs) per cost is high (Klar et al., 2021).

In many countries, tropane alkaloids are included in basic health packages in the reimbursement systems, and their use is encouraged, especially in emergency services and eye clinics. However, in some countries, high-cost forms (e.g. scopolamine patches) are not reimbursed (OECD Health Reports, 2023). In developing countries, there may be difficulties in obtaining these drugs.

Scopolamine is widely discussed on social media, especially in South America, due to its reputation as a 'zombie drug' and its potential for abuse. Its potential toxicity outside of clinical use and its openness to abuse have also brought about ethical discussions (Rodriguez et al., 2019; WHO, 2022). Atropine, on the other hand, is perceived as more reliable by parents for the treatment of amblyopia in school-age children.

Considering the efficacy and safety profile of tropane alkaloids, they are seen to be highly cost-effective drugs under appropriate conditions of use. Encouraging the domestic production of these drugs, especially in developing countries, is important for sustainable health systems. In addition, it is recommended to strengthen pharmacovigilance systems to prevent ethical problems.

12. Pharmacoeconomic Evaluation of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids, especially atropine, scopolamine and hyoscyamine, are important drugs for health systems in terms of both their therapeutic effects and their place in medical applications. The production, distribution and clinical

use of these compounds have been the subject of pharmacoeconomic analyses in many health systems. In this section, the cost-effectiveness evaluation of these alkaloids, their generic drug status, global market dynamics and access status in developing countries will be examined in detail.

12.1. Cost-Effectiveness in Clinical Use

Atropine is widely used for pre-anesthetic secretion reduction, bradycardia treatment, and ophthalmologic examinations. Scopolamine is especially preferred for motion sickness and postoperative nausea and vomiting. In a US-based study, it was reported that atropine application was applied in emergency situations with a treatment cost of approximately 6.4 USD per patient (Ciarallo et al., 2015). Although scopolamine is more expensive in transdermal patch form, it has been found to be cost-effective in relieving postoperative nausea due to its long-term effect (White et al., 2020).

12.2. Generic Forms and Market Share

Atropine and scopolamine are produced as generic drugs in many countries. India and China are the leading countries in the production of raw materials for these agents. In 2023, it was reported that the generic form of atropine was preferred in 95% of prescriptions and was 60% cheaper than branded drugs (Kwon et al., 2023). Generic forms of scopolamine have been approved in a limited number of countries and its production is expected to increase after 2025 as the patents expire (EMA, 2024).

12.3. Production Chain and Economic Impact

The production of tropane alkaloids, although obtained from plant sources, requires advanced pharmaceutical purification. Atropine production is carried out by the stereotype of tropane alcohols obtained from *Datura* and *Atropa* species. Although the biosynthesis processes of scopolamine are more complex, costs are reduced with bioreactor technologies (Gómez-Galera et al., 2018). While the average production of 1 mg of scopolamine is 1.2 USD, this value for atropine was determined as 0.35 USD (Zhou et al., 2021).

12.4. Global Access and Distribution

According to WHO's 2021 data, atropine is on the list of essential medicines and is distributed to developing countries at a subsidy through

organizations such as UNICEF. Scopolamine's access is mostly limited to high-income countries. Access to atropine, particularly in Africa and South Asia, remains below 60%, affecting treatment protocols and patient mortality (WHO, 2021).

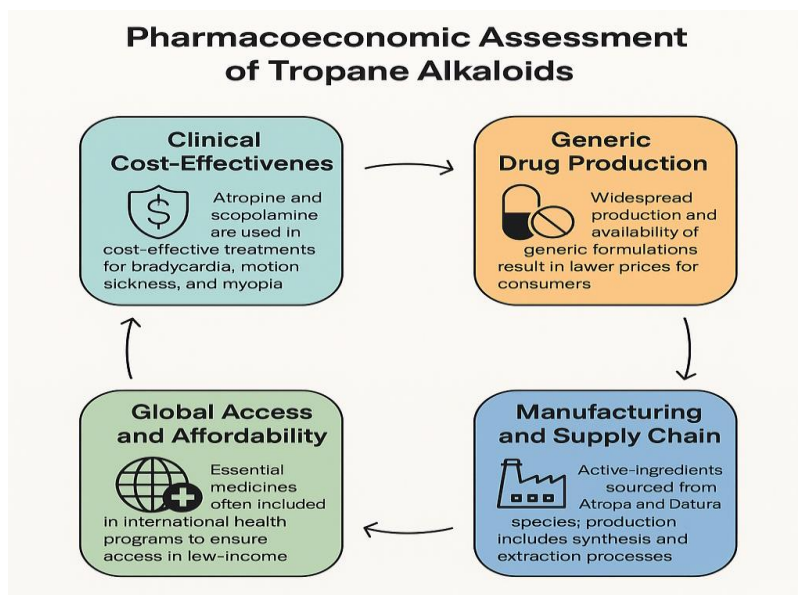


Figure 12. Pharmaco-economic Considerations of Tropane Alkaloids

13. Ethical and Legal Evaluation of Tropane Alkaloids

Tropane alkaloids atropine, scopolamine and hyoscyamine are compounds with widespread medical use and high toxic potential due to their strong anticholinergic effects. Due to these properties, they are at the center of ethical and legal discussions. Clinical uses, especially application in unconscious individuals, risk management in pediatric and geriatric patients, and regulation of pharmaceutical products require ethical evaluation. In addition, the abuse potential of these compounds, legal regulations and the supervision of ethics committees in clinical research are also important (Shim et al., 2022; Chan, 2017). Tropane alkaloids are used in clinical practice, especially in premedication, eye examinations and antispasmodic treatments. However, the adequacy of informed consent is questioned when compounds such as atropine are applied to unconscious patients. This situation creates an ethically problematic area, especially in the elderly and children (Teuscher et

al., 2023). In addition, in some treatment forms such as transdermal application of scopolamine, taking the medication without the patient being informed about the treatment may be contrary to ethical standards (Fischmann & Möller, 2023). The criminal use of scopolamine (for example, being referred to as a ‘zombie drug’) and the toxic effects of atropine due to overdose have led to increased legal restrictions. Tropane alkaloids are among the controlled substances sold with a prescription in many countries. Authorities such as FDA and EMA have limited and controlled the prescription of these compounds (EFSA, 2013). In clinical studies conducted on atropine and similar compounds, ethics committee approval and informed consent are legal requirements. In clinical studies of these substances with psychoactive potential, parameters such as addiction risk and neurotoxicity should be evaluated in detail (Chan, 2017). In Türkiye, the use of these drugs is subject to authorization within the scope of the Pharmacovigilance Regulation prepared by TİTCK. The European Medicines Agency (EMA) and the US Food and Drug Administration (FDA) have set strict rules regarding the production, labeling and distribution of these substances, while the World Health Organization (WHO) published recommendations on the ethical use of tropane alkaloids in its 2022 report (Shim et al., 2022).

Table 8. Comparison of Ethical and Legal Regulations on Tropane Alkaloids

Country/Institution	Ethical Regulation	Legal Regulation	Description
FDA (USA)	Informed consent requirement in clinical trials	Controlled substance classification (Atropine: Rx)	Restricted prescription and tracking system
EMA (EU)	Drug evaluation committees’ approval	Pharmaceutical product licensing	Authorization of scopolamine for special indications
TİTCK (Turkey)	Ethics committee approval requirement	Drug Tracking System (ITS)	Price control for developing countries
WHO	Ethical guidelines in developing countries	Essential medicine list publication	Atropine among commonly recommended medicines
EFSA (Europe)	Risk analysis in herbal products	Food safety regulations	Tropane alkaloid contamination limits set

KAYNAKÇA

- Abdel-Sattar, E., et al. (2019). Pharmacological and toxicological effects of atropine in clinical settings. *Journal of Ethnopharmacology*, 236, 1–9.
- Adibah, K. Z. M. and Azzreena, M. A. (2019). Plant toxins: alkaloids and their toxicities. *GSC Biological Research*.
- Ali, M., Abbasi, B. H., Khan, T. and Khan, M. A. (2018). Tropane alkaloids production and regulation. *Industrial Crops and Products*, 124, 626–638.
- Amer, M. M. (2025). Pharmacology of Tropane Alkaloids. In *Tropane Alkaloids* (pp. 85–102). Springer.
- Ağar, G., et al. (2021). Comparative phytochemical profiling of Solanaceae plants. *Journal of Applied Botany*, 95(3), 155–162.
- Bai, H., et al. (2023). Analytical techniques for standardizing tropane alkaloids: Current challenges and future prospects. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 13(1), 1–13.
- Baldisserotto, A., et al. (2018). Natural occurrence and pharmacological relevance of tropane alkaloids in Solanaceae. *Journal of Ethnopharmacology*, 227, 300–312.
- Beale, P. K. (2019). Effects of ambient temperature on feeding by herbivorous marsupials. *ProQuest*.
- Bjørklund, G., Shanaida, M., Lysiuk, R. and Butnariu, M. (2022). Natural Compounds and Products from an Anti-Aging Perspective. *Molecules*, 27(20), 7084.
- Bye, R. and Linares, E. (2016). Ethnobotanical knowledge and uses of Solanaceae in South America. *Journal of Ethnopharmacology*, 190, 190–210.
- Chaiyakunapruk, N., et al. (2015). Cost-effectiveness of atropine for pediatric ophthalmic use. *Pharmacoeconomics*, 33(2), 129–139.
- Chan, T. Y. K. (2017). Worldwide occurrence and investigations of contamination of herbal medicines by tropane alkaloids. **Toxins*, 9*(9), 284. <https://doi.org/10.3390/toxins9090284>
- Chen, L., et al. (2024). Environmental modulation of tropane alkaloid content in *Atropa* species: A genomic approach. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1156202.

- Cheng, R., et al. (2024). Clinical evaluation of tropane-based agents for PONV. *Therapeutic Advances in Drug Safety*, 15, 2042098624123456.
- Chia, A., Lu, Q. S. and Tan, D. (2017a). Five-Year Clinical Trial on Atropine for the Treatment of Myopia 2: Myopia Control with Atropine 0.01% Eyedrops. *Ophthalmology*, 123(2), 391–399.
- Chia, A., et al. (2017b). Atropine 0.01% for childhood myopia: Five-year clinical outcomes. *Ophthalmology*, 124(6), 726–735.
- Choudhary, D. K., et al. (2017). Phytochemical variation in *Atropa belladonna* from different regions. *Plant Science Today*, 4(1), 17–23.
- Ciarallo, L., et al. (2015). Cost-effective emergency atropine use in pediatric patients. *Pediatric Emergency Care*, 31(5), 355–360.
- Day, X. (2021). Theoretical Assessment of Plant Alkaloids for Potential Toxicity and Environmental Impacts. Texas Southern University.
- Drevets, W. C., et al. (2020). Rapid antidepressant effects of intravenous scopolamine in major depressive disorder. *Biological Psychiatry*, 88(1), 113–121.
- Dutta, S., Chakraborty, P. and Das, A. (2023). Short-acting Cycloplegics in Diagnostic Refraction: Role of Homatropine. *Journal of Clinical Ophthalmology and Research*, 11(1), 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.jcor.2023.01.005>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. (2013). Scientific Opinion on Tropane alkaloids in food and feed. **EFSA Journal*, 11*(10), 3386. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3386>
- EMA. (2024). Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) Assessment Report: Scopolamine. European Medicines Agency.
- European Patent EP3896457B1. (2021). Sustained-release formulations of scopolamine.
- Fischmann, T. and Möller, T. J. (2023). Psychoactive substances in psychotherapy: A systematic review on Psilocybin. **OSF Preprints**. <https://osf.io/preprints/psyarxiv/ztyxh/>
- Foley, K., et al. (2023). M1 muscarinic receptor ligands for Alzheimer's disease. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 29(1), 33–45.
- Furey, M. L. and Drevets, W. C. (2019). Antimuscarinic pharmacology of scopolamine. *Biological Psychiatry*, 85(6), 395–405.

- Ghasemzadeh, A., et al. (2016). Traditional and novel techniques for tropane alkaloid extraction: A comparative review. *Journal of Herbal Medicine*, 5(2), 134–141.
- Gheorghe, A., et al. (2020). Economic evaluations of non-opioid analgesics: A systematic review. *Pain*, 161(10), 2316–2328.
- Gonzalez, M. G., et al. (2020). Efficacy of hyoscine butylbromide in irritable bowel syndrome: a meta-analysis. *Journal of Gastroenterology*, 55(3), 221–229.
- Gómez-Galera, S., et al. (2018). Biotechnological production of tropane alkaloids: a review. *Phytochemistry Reviews*, 17(2), 325–343.
- Górnaś, P., et al. (2022). Green extraction methods for pharmaceutical alkaloids: Trends and applications. *Molecules*, 27(8), 2384.
- Gören, A. C. and Bilsel, G. (2011). Türkiye'de tropan alkaloid içeren bitkilerin farmakolojik değerlendirilmesi. *Fitoterapi Dergisi*, 2(1), 12–19.
- Głowacka, A., et al. (2014). Ethnobotanical relevance of belladonna in Balkan traditions. *Journal of Herbal Medicine*, 3(2), 101–108.
- Hashimoto, T. and Yamada, Y. (1994). Alkaloid biosynthesis: Molecular biology and biochemistry. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45, 257–285.
- Heinrich, M., et al. (2018). From ethnobotany to drug development. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 117.
- Hossain, M. A., et al. (2022). Advances in tropane alkaloid biosynthesis: Recent molecular insights. *Phytochemistry Reviews*, 21(4), 765–782.
- Jiang, Y., et al. (2022). Anticholinergic drug effects in neurodegenerative disorders: A review. *CNS Drugs*, 36(3), 211–228.
- John, H. (2012). LC-MS in Drug Bioanalysis. In *Liquid Chromatography-Mass Spectrometric Analysis of Tropane Alkaloids*. Springer.
- Kebede, T., et al. (2021). Supercritical fluid extraction of bioactives from medicinal plants: A review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 23, 100312.
- Khosravi, M., Ghodrati, M. and Abedini, M. (2022). Efficacy of Scopolamine Patch in Preventing Motion Sickness: A Meta-analysis. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 47, 102317. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2022.102317>

- Kinghorn, A. D. and Kennelly, E. J. (2020). Medicinal applications of plant toxicants. In *Handbook of Plant and Fungal Toxicants*. Taylor & Francis.
- Klar, S., et al. (2021). Transdermal scopolamine for motion sickness: An updated meta-analysis. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 43, 102139.
- Kohli, P. and Mehta, S. (2015). Comparative Study of Atropine and Homatropine in Cycloplegia. *Indian Journal of Ophthalmology*, 63(9), 685–688. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.170993>
- Kumar, A., et al. (2023). Enhanced tropane alkaloid production using elicitor-based hairy root cultures. *Plant Cell Reports*, 42(2), 249–260.
- Kumar, A., et al. (2021). Tropane derivatives for overactive bladder: Preclinical progress and pharmacological perspectives. *Drug Development Research*, 82(6), 747–755.
- Kwon, J. H., et al. (2023). Generic drug utilization and pricing trends in developing economies. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 16(1), 12.
- Lacy, B. E., Mearin, F., Chang, L., et al. (2021). Bowel Disorders. *Gastroenterology*, 160(1), 38–47. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.014>
- Lee, Y., et al. (2020a). Tropane-derived hybrid molecules for neurodegenerative therapy. *ACS Chemical Neuroscience*, 11(4), 561–572.
- Lee, B. M., Kacew, S. and Kim, H. S. (2017b). *Lu's Basic Toxicology: Fundamentals, Target Organs, and Risk Assessment*. CRC Press.
- Lembo, A., Ringel, Y. and Zhang, F. (2018). Antispasmodics for Irritable Bowel Syndrome. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 11, 321–329. <https://doi.org/10.2147/CEG.S175745>
- Lewis, W. H. and Elvin-Lewis, M. P. F. (2003). *Medical Botany: Plants Affecting Human Health*. Wiley.
- Li, H., et al. (2018). Transdermal delivery systems for scopolamine: Current state and future perspectives. *European Journal of Pharmaceutics*, 127, 140–150.
- Mehta, S., et al. (2020). Minor alkaloid profiling of *Datura* species using untargeted metabolomics. *Phytochemistry*, 177, 112435.

- Miller, R. D., et al. (2021). Postoperative nausea prevention with transdermal scopolamine: a clinical overview. *Anesthesiology Clinics*, 39(1), 45-59.
- Mukherjee, P. K., et al. (2012). Safety and efficacy of herbal medicine: Role of ethnopharmacology. In *Evidence-Based Validation of Herbal Medicine*. Elsevier.
- Nachum, Z., Shupak, A. and Gordon, C. R. (2019). Transdermal Scopolamine for Prevention of Motion Sickness. *Clinical Pharmacokinetics*, 53(2), 112–118.
- Nakayasu, Y., et al. (2022). Synthetic biology approach to produce tropane alkaloids in yeast. *Metabolic Engineering*, 72, 97–105.
- Nguyen, L. T., et al. (2022). Scopolamine patch: Pharmacokinetics and real-world tolerability in vestibular disorders. *Otol Neurotol*, 43(1), 74–82.
- OECD Health Reports. (2023). Trends in pharmaceutical reimbursement across OECD countries.
- Palazón, J., et al. (2018). Biotechnological production of tropane alkaloids: Advances and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(6), 1891–1903.
- Park, J. H., et al. (2021). Novel tropane derivatives for anxiety and pain management. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 43, 128024.
- Park, Y., et al. (2022). Anticholinergic mechanisms in cognitive impairment: a review of clinical trials. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 888510.
- Raffaldt, R. M. (2025). The Pharmaceutical Applications of Poisonous Compounds Found in *Datura stramonium*. University of South Carolina.
- Ramirez, J. and Soto, M. (2023). Revisiting the pharmacology of atropine and scopolamine in neuropsychiatric disorders. *Current Neuropsychopharmacology*, 21(1), 33–47.
- Ramirez-Estrada, K., et al. (2016). Elicitor-induced tropane alkaloid accumulation in cell cultures of medicinal plants. *Plant Cell Reports*, 35(3), 389–400.
- Repka, M. X., Kraker, R. T., Beck, R. W., et al. (2020). Treatment of Amblyopia with Atropine in Children Aged 7 to 12 Years: A Randomized Trial. *Archives of Ophthalmology*, 121(4), 453–457. <https://doi.org/10.1001/archophth.121.4.453>
- Riddle, J. M. (2010). Dioscorides and ancient botanical traditions. *Journal of Medical History*, 54(2), 123–136.

- Rodriguez, M., et al. (2019). Scopolamine as a drug of abuse: A forensic review. *Forensic Science International*, 301, 46–52.
- Rousseaux, C. G. (2023). Herbal Remedies. In Haschek and Rousseaux's *Handbook of Toxicologic Pathology*. Elsevier.
- Sakamoto, A., et al. (2019). Structure-based design of selective muscarinic M3 receptor antagonists from tropane scaffold. *Bioorg Med Chem*, 27(4), 866–872.
- Salazar, L., et al. (2023). Discovery of novel tropane derivatives in wild Solanaceae species. *Journal of Natural Products*, 86(1), 34–45.
- Sato, F., et al. (2020). Advances in metabolic engineering of tropane alkaloid biosynthesis. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 1–7.
- Scarborough, J. (2008). Galen and magical plant lore. *Journal of the History of Medicine*, 63(2), 98–114.
- Shim, K. H., Kang, M. J., Sharma, N. and An, S. S. A. (2022). Beauty of the beast: anticholinergic tropane alkaloids in therapeutics. *Natural Products and Bioprospecting*, 12(5), 220–234.
- Shukla, R., et al. (2023). Scopolamine for neuropsychiatric symptoms in dementia: A double-blind randomized study. *Journal of Geriatric Psychiatry*, 36(1), 22–30.
- Stuhan, M. A. (2012). *Understanding Pharmacology for Pharmacy Technicians*. Paradigm.
- Takahashi, Y., & Nguyen, D. (2025). Therapeutic applications and biosafety assessment of anticholinergic alkaloids. *International Journal of Phytomedicine*, 17(2), 98–114.
- Tang, L. H., et al. (2021). Advances in transdermal delivery of anticholinergic agents: focus on scopolamine. *Drug Delivery Reviews*, 174, 234–242.
- Teuscher, E., Lindequist, U. and Niedermeyer, T. (2023). Natural poisons and venoms: Plant toxins—terpenes and steroids. <https://books.google.com/books?id=jjfBEAAQBAJ>
- Ullah, A., et al. (2014). Traditional mental health practices in Pashtun communities. *Ethnobotany Research and Applications*, 12, 101–109.
- US Patent US20220301589A1. (2022). Prodrug compositions of tropane alkaloids.
- Wang, J., et al. (2019). Atropine in pediatric anesthesia: efficacy and safety in bradycardia prevention. *Pediatric Anesthesia*, 29(2), 148–155.

- White, R. L., et al. (2020). A randomized cost-effectiveness study comparing transdermal scopolamine and ondansetron in postoperative nausea. *Anesthesia & Analgesia*, 130(3), 745-751.
- WHO. (2021). World Health Organization Model List of Essential Medicines, 22nd List.
- World Health Organization. (2022). Toxicological profile of scopolamine and regulatory recommendations.
- Xiao, Y., et al. (2022). CRISPR-mediated enhancement of tropane alkaloid biosynthesis in *Atropa belladonna*. *Plant Biotech Journal*, 20(2), 256–269.
- Yam, J. C., et al. (2019). Low-concentration atropine for myopia progression (LAMP) study: a 2-year follow-up. *Ophthalmology*, 126(1), 113-124.
- Yang, N., Guo, J., Zhang, J., et al. (2024). A Toxicological Review of Alkaloids. *Critical Reviews in Toxicology*, 54(1).
- Yousefi, M., et al. (2020). Effects of environmental and genetic factors on tropane alkaloid biosynthesis in medicinal plants. *Plant Physiology Reports*, 25(1), 66–75.
- Zhao, J., et al. (2019). Microwave-assisted extraction of atropine from *Atropa belladonna*: Kinetics and process optimization. *Industrial Crops and Products*, 137, 431–437.
- Zhou, Q., et al. (2022). Design of selective tropane-based muscarinic antagonists. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 241, 114631.
- Zhou, W., et al. (2020). Nanocarrier-based delivery systems for tropane alkaloids: Design and evaluation. *Journal of Controlled Release*, 324, 322–335.
- Zhou, Q., et al. (2023). Use of hyoscine butylbromide during endoscopy: updated evidence and practice. *Clinical Gastroenterology*, 57(2), 305-312.
- Zhou, Y., et al. (2021). Cost and process development in scopolamine biosynthesis. *Biotechnology Advances*, 51, 107718.

BÖLÜM 10

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİNE BİYOSTİMULANT KULLANIMININ ETKİSİ

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ¹
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇAMLICA²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17611860>

¹ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Bolu, Türkiye. g_yaldiz@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-6889-1562

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Bolu, Türkiye. mcamllica25@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-2461-7534

GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkiler (TAB), farklı ekolojik ortamlara uyum sağlayarak, hemen her yörede yetişebilen yüksek uyum ve direnç özellikleriyle öne çıkar. Bu özelliklerinden dolayı, yüksek girdilere ihtiyaç duyan türlerin yetiştirilmesinin sorunlu olacağı en dezavantajlı marjinal ortamların ve genellikle terk edilmiş alanların faydalı bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, TAB'lar derin kökleri ile toprak yapısının ve verimliliğinin korunmasına yardımcı olur, toprak sağlığına katkıda bulunabilir ve erozyonu önleyebilir. Bu bitkilerin yetiştirilmesi biyoçeşitliliği artırabilir ve sürdürülebilir arazi kullanım uygulamalarını teşvik edebilir (La Bella vd., 2021; Gupta vd., 2022).

Şekil 1'de görüldüğü üzere TAB'lar farklı kimyasal gruplara ait farklı aktif bileşik içerir (Alamgir, 2018).



Şekil 1. TAB içerdiği farklı kimyasal gruplara ait aktif bileşikler

Bu aktif bileşiklerin biyosentezi, genetik ve enzimatik yollarla kontrol edilen biyokimyasal bir süreçtir (Jan vd., 2021; Zhan vd., 2022). Bu maddeler bitkilerin yaprak, kök, çiçek, tohum veya kabuk gibi farklı kısımlarında depolanır ve konsantrasyonları çevresel koşullara, genetik faktörlere ve bitkinin gelişim aşamasına bağlı olarak değişebilir (Yadav vd., 2014; Huang vd., 2022). Bu maddeler, antimikrobiyal, antienflamatuvar, antioksidan ve antitümör etkiler

gibi çok çeşitli farmakolojik aktiviteler gösterebilir (Huang vd., 2022; Skrypnik vd., 2022).

Biyolojik gübreler, organik ve sürdürülebilir tarım sistemlerinde toprak verimliliğini, toprak organik maddesini ve bitki gelişimini artırmak için kimyasal gübrelere alternatif olarak uygulanır (Ye vd., 2020). Tarımda biyolojik bazlı gübrelerin kullanılması, ideal olmayan koşullarda bile üretim istikrarını ve besin kullanım verimliliğini artırmanın, uygulanabilir ve etkili bir yoldur (Chojnacka vd., 2020). Birçok biyostimülant biyolojik bazlı ürünlerdir (Corsi vd., 2022). Biyostimülantların hem birincil hem de ikincil bitki metabolizmasını etkileyebileceği ve bitkilerin olumsuz toprak pH'ına, ısıya, tuzluluğa, kuraklığa ve besin stresine tolerans gösterme yeteneğini artırabileceği düşünülmektedir (Lucini vd., 2015; Di Miceli vd., 2023).

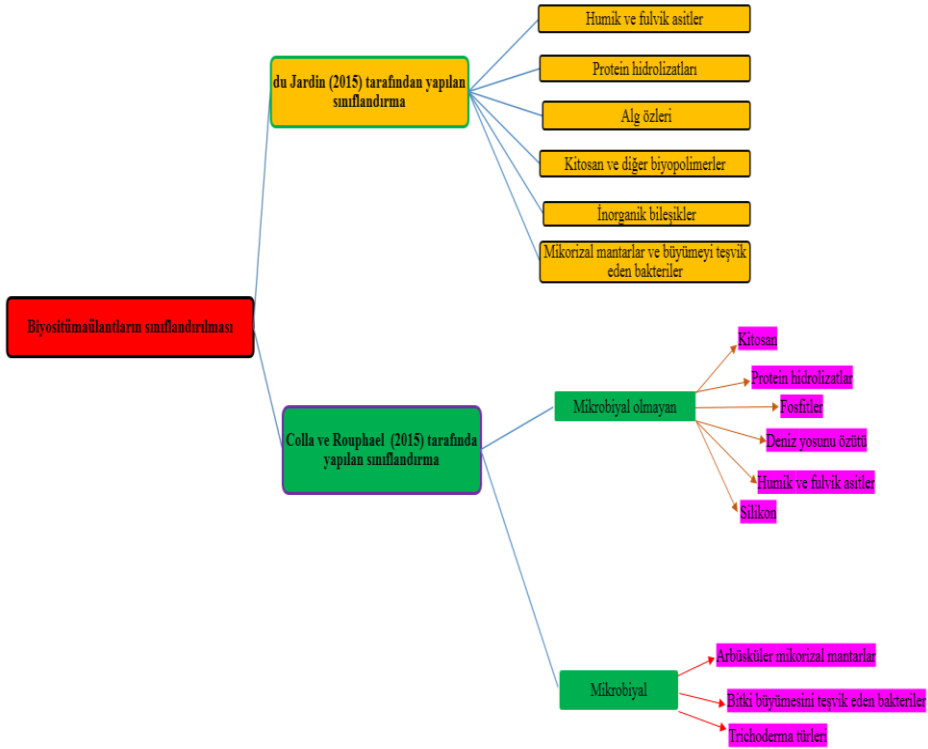
Son zamanlarda küresel iklim değişikliğinde tarımda biyostimülantların uygulanması, besin kullanım verimliliğini artırmak ve optimum olmayan koşullar altında bile verim istikrarı sağlamak için sürdürülebilir ve başarılı bir uygulamadır (Di Mola vd., 2021; Consentino vd., 2023). Bu özellikler, biyostimülantların, özellikle abiyotik stres altındaki bitkilerde kullanılmasını cazip hale getirmektedir. Biyostimülantların tarımsal üretimde kullanımı, sadece ürün miktarını değil, aynı zamanda bitkilerin içerdikleri biyoaktif bileşiklerin miktarını ve kalitesini de artırabilmektedir (Zehra vd., 2019). Özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde biyostimülant kullanımı, hem bu bitkilerin verim ve kalitesini artırmak hem de stres koşullarına dayanıklılığını güçlendirmek açısından büyük potansiyele sahiptir. Bu bölümde, biyostimülantların abiyotik stres altındaki tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etkileri ele alınacak, bu alanda yapılan çalışmalar incelenecek ve biyostimülantların tarımda sürdürülebilirlik açısından sağladığı katkılar tartışılacaktır.

BIYOSTİMÜLANTLAR VE BİTKİLER İÇİN ÖNEMİ

Bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini etkileyen iklim değişikliği, su kıtlığı, toprak tuzluluğu, aşırı sıcaklıklar ve ağır metal kirliliği gibi abiyotik stres faktörleri, tarımda verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır (Mahajan vd., 2020). Son zamanlarda bu olumsuz etkiler daha fazla görüldüğünden sürdürülebilir çözümler bulmak bir gereklilik haline gelmiş ve tarımsal sürdürülebilirliği artırmak ve verim kayıplarını azaltmak amacıyla biyostimülantların kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Biyostimülantlar,

bitkilerdeki büyüme ve gelişim süreçlerini optimize eden, stres toleransını artıran ve ürün kalitesini iyileştiren doğal ya da sentetik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Bulgari vd., 2017). Biyostimülantların mevcut gübrelerin yerini almak yerine onları tamamladığı ve bitkilerde daha fazla makro ve mikro besin emilimi ve birikimini teşvik ederek genel etkinliklerini artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, biyostimülantların yapraktan veya kökten uygulanması, fidelerin hızlı bir şekilde büyümesini ve/veya hızlı bir köklenme sürecini destekler, çiçeklenmeyi, meyve tutumunu, verimi ve ürün kalitesini iyileştirir (Colla vd., 2015a, b). Biyostimülant uygulamasının etkisi, genetik, agronomik, çevresel ve dozla ilgili faktörler dahil olmak üzere çeşitli unsurlara bağlıdır. Bu faktörlerle ilgili olarak, etkili bir şekilde kullanılan son teknoloji ile yapılan bir çok çalışma mevcuttur (Baltazar vd., 2021; Franzoni vd., 2022).

Özellikle organik tarımın yaygınlaşması ile birlikte, kimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımı azaltmak için tercih edilen biyostimülantlar bitkilerin su ve besin kullanımını artırarak çevresel strese karşı daha dayanıklı hale gelmelerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu bileşikler fotosentez gibi metabolik süreçleri hızlandırmakta ve antioksidan savunma sistemlerini güçlendirerek tarımsal verimliliği ve ürün kalitesini artırmakta önemli bir rol oynamaktadır (Franzoni vd., 2022). Dolayısıyla tıbbi ve aromatik bitkilerde biyostimülant kullanımı, bu bitkilerin verim ve kalitesini artırmaları yanısıra stres koşullarına dayanıklılığını güçlendirmek açısından büyük potansiyele sahiptir. Biyostimülantlar farklı tarihlerde çeşitli kategorilere ayrılmışlardır. 2015 yılında du Jardin (2015) tarafından yapılan sınıflandırmada biyostimülantlar; humik ve fulvik asitler, protein hidrolizatları, alg özleri, kitosan ve diğer biyopolimerler, inorganik bileşikler, mikorizal mantarlar ve büyüme teşvik eden bakteriler kategorilerini içermiştir. Aynı yıl, Colla ve Rouphael (2015), bitki biyostimülantlarının 6 mikrobiyal olmayan (kitosan, humik ve fulvik asitler, protein hidrolizatlar, fosfitler, deniz yosunu özütü ve silikon) ve 3 mikrobiyal (arbusküler mikorizal mantarlar, bitki büyümesini teşvik eden bakteriler ve trichoderma türleri) kategoriye ayrılmasını önermiştir (Battacharyya vd., 2015; Gómez-Merino ve TrejoTéllez, 2015; Ruzzi ve Aroca, 2015; Savvas ve Ntatsi, 2015). Biyostimülantların sınıflandırılması ortaya atılan bu görüşler Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Biyostimülanların sınıflandırılması

HUMİK BİLEŞİKLER VE DENİZ YOSUNU ÖZLERİ

Organik materyal, humik bileşikler ve organik kalıntılardan oluşur. Bakteriler tarafından işlenen organik maddelerin ayrışmasından sonra, humik bileşikler olarak bilinen karmaşık makromoleküller üretilir (Nardi vd., 2021). Humik maddeler humin, fülvik asit ve humik asitten oluşur. Abiotik stres, fulvik asitlerin biyostimülant olarak kullanılmasıyla hafifletilebilir (Baltazar vd., 2021). Bu ürünler ayrıca protein sentezi, fotosentetik aktivite ve enzim aktivitesi dahil olmak üzere çeşitli moleküler süreçler üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Zanin vd., 2019; Nardi vd., 2021). Humik asidin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkileri, hücre solunumu, fotosentez, oksidatif fosforilasyon, protein sentezi ve çeşitli enzimatik reaksiyonlar dahil olmak üzere bitki metabolizmalarının çeşitli yönlerini ilgilendiren hormon benzeri etki mekanizmasına atfedilmektedir (Muscolo vd., 1993). Ayrıca fulvik asit uygulamalarının, bitki metabolizmasını ve bitki hücrelerine girebilen ve sitoplazmik bileşenlerde ve hücre zarlarında belirli biyokimyasal değişikliklere

neden olabilen mikro elementlerin emilimini daha iyi değiştirebildiği ifade edilmiştir (Nikoogoftar-Sedghi vd., 2024).

Kırmızı, yeşil veya kahverengi alglerin işlenmesinden elde edilen ürünler olan deniz yosunu özleri (DYÖ), mikrobiyal olmayan biyostimülantların bir grubudur (Battacharyya vd., 2015). DYÖ, humik asidin yanı sıra sitokininler, oksinler, gibberellinler, absisik asit ve hormon benzeri etkiye sahip bileşikler gibi fitohormonlar içerir ve klorofil sentezi gibi çeşitli fizyolojik aktiviteleri etkileyebilir; bu da fotosentezi artırarak bitkinin büyümesini teşvik eder (Thomas, 1996). DYÖ'deki azot, potasyum ve fosfor gibi makro besin maddelerinin varlığı bitkinin büyüme parametrelerini iyileştirebilir (Attememe, 2009). Örneğin; *Eklonia maxima* ve *Ascophillum nodosum*'dan elde edilen deniz yosunu özleri, besin ve su emilimini iyileştirerek, fotosentez hızını artırır ve oksinler, sitokininler ve gibberellinler gibi bileşikler teşvik ederek, bitki büyümesini etkileyebilir (Briceño-Domínguez vd., 2014; Hernández-Herrera vd., 2014). DYÖ ayrıca strese yanıt olarak bitkilerin savunma sistemlerini uyaran aljinatlar, laminarin, mannitol, karragenan ve fukoidanlar gibi polisakkaritler ve türevleri içerir (Rouphael vd., 2017; Di Stasio vd., 2018).

Yapılan bir çok çalışmada, çeşitli deniz yosunu özlerinin TAB 'lar ve diğer tarım ürünlerinde uygulanmasının kuraklık, yüksek sıcaklık ve topraktaki besin eksikliği gibi çeşitli abiyotik streslere karşı dirençlerini artırabileceğini bildirmektedir (Elansary vd., 2019; Sabatino vd., 2023; Consentino vd., 2023). Tursun (2022) tarafından yapılan çalışmada kişniş (*Coriandrum sativum* L.) verimini artırmak amacıyla yapraktan uygulanan deniz yosunu özütünün meyve verimini önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Bayat ve Belopukhov (2019) tarafından tatlı fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinin büyüme parametreleri, uçucu yağ ve klorofil içeriği üzerine humik asit, bitki büyümesini teşvik eden kök bakterileri ve deniz yosunu özütünün etkisinin değerlendirildiği çalışmada uygulamalar arasından topraktan 6 litre/ha humik asit uygulaması + bitki büyümesini teşvik eden kök bakterileri + deniz yosunu uygulamasında incelenen özellikler bakımından en yüksek değerlere ulaşıldığı ve humik asidin bitki büyümesini teşvik eden kök bakterileri ve deniz yosunu özütüne kıyasla etkisinin çok daha fazla olduğu bildirilmiştir. Humik asit uygulamasıyla tatlı fesleğenin büyüme parametrelerinde görülen artış, kısmen bitki tarafından besinlerin daha iyi emilmesine bağlanabilir. Humik asit uygulamasının zeytin

bitkilerinin kökleri tarafından azot alımını artırdığı belirtilmiştir (Tattini vd., 1991).

Kekik (*Thymus vulgaris*) tıbbi ve aromatik bitkiler içerisinde yaygın olarak kullanılan bir bitkidir ve özellikle uçucu yağ kalitesi büyük önem taşımaktadır. Alg ekstraktları kullanılan çalışmada kekik bitkisinde uçucu yağ veriminde ve özellikle timol ile karvakrol oranlarında artış gözlenmiştir (Rahimi vd., 2022).

Nanede humik asit kullanımı ise toprak yapısını iyileştirerek su ve besin elementlerinin alımını artırmış, bu da verim ve dayanıklılık artışına olumlu katkı sağlamıştır (Elansary vd., 2019). Biberiye (*Rosmarinus vulgaris*) bitkisine uygulanan mantarlar fotosentez oranı artırarak büyüme parametrelerini iyileştirmiştir (Pirzad ve Mohammadzadeh, 2018). Sakinleştirici etkisi ile bilinen oğulotu (*Melissa officinalis*)'nda verim ve kaliteyi artırmak için kullanılan amino asitler ve alg ekstraktları uçucu yağ içeriğini artırmış, özellikle citral ve geranial bileşenlerinin seviyelerini yükseltmiştir (Majkowska-Gadomska vd., 2022).

Oğulotu ile yapılan başka bir çalışmada, humik asit uygulamalarının, oğulotu bitkisinde kök gelişimini teşvik etmiş ve bitkinin su ve besin alımı iyileşmiştir. Ayrıca biyostimulantların, oğulotu bitkisinde antioksidan aktiviteyi artırdığı ve bu sayede oksidatif stres koşullarına karşı daha dirençli hale geldiği belirlenmiştir (Gorgini Shabankareh vd., 2017). Benzer şekilde oğul otu üzerine yapılan bir çalışmada, üç biyostimülantın (*Ascomyllum nodosum*, fulvik asit ve bitkisel protein hidrolizati) iki zaman aralığında yapraktan uygulanması ile *Melissa officinalis* L.'in bitki verimi ve kimyasal parametreleri üzerine etkilerini belirlemişler ve yaş ile kuru biyokütle açısından en iyi sonuçların, 14 günde bir fulvik asit uygulanan bitkilerde gözlendiğini ifade etmişlerdir. Yine antioksidan aktivite ve toplam fenolik içerik, biyostimülant ve uygulama aralığına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği saptanmıştır (Farruggia vd., 2025). Raguraj vd. (2022) tavuk tüyü protein hidrolizati uygulamasının çay (*Camellia sinensis*) bitkisinde büyümeyi hızlandığı ve verimi artırdığını bildirmişlerdir.

Biyostimülantların, özellikle humik asit ve bitki özlerinin, limon otu (*Cymbopogon citratus*) üzerindeki etkisinin belirlendiği çalışmada, biyokütle ve uçucu yağ üretiminde önemli iyileşmeler gösterdiği belirtilmiştir (Silou vd., 1999).

PROTEİN HİDROLİZATLARI VE AMİNO ASİTLER

Bitkisel veya hayvansal protein matrisinin kimyasal veya enzimatik hidrolizi ile elde edilen, oligoprotein hidrolizat ve amino asitlerin karışımı olan protein hidrolizatların (PH), bitki metabolizma faaliyetlerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Rouphael vd., 2021; Di Miceli vd., 2023; Rouphael vd., 2017). Nitekim Rouphael vd. (2021) hayvansal kaynaklı protein hidrolizatı uygulamasının fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinin büyümesini, fotosentetik performansı ve verimini artırdığını bildirmişlerdir.

Kolajene güçlü bir şekilde bağlı olan hidroksiprolin ve hidroksilizin, hayvanlardan elde edilen biyostimülantlarda bulunur. Bitkisel protein hidrolizatları, ozmoregülasyon ve stres toleransı süreçlerinde önemli olan glisin ve prolin bakımından yetersiz, ancak inorganik azot metabolizması için kritik olan aspartik asit ve glutamik asit bakımından zengindir (Colla vd., 2015a). Protein hidrolizatları yaprağa veya köke uygulanabilir ve çeşitli bitki fizyolojik tepkilerini destekleyebilir, ürün verimini ve kalitesini artırabilir ve bitkilerin kuraklığa, yüksek tuzluluk ve sıcaklık seviyelerine, besin eksikliğine ve elverişsiz toprak pH'ına karşı toleransını artırabilir (Rouphael vd., 2017; Di Miceli vd., 2023). Ayrıca, substratların besin bulunabilirliğini, besin emilimini artırabilir ve bitkilerde besin kullanım verimliliğini kolaylaştırabilir (Nardi vd., 2016; Paul vd., 2019). Peptitler ve amino asitler, protein hidrolizatlarının biyostimüle edici etkisinden öncelikli olarak sorumludur. Bitki tarafından emildikten sonra amino asitler, protein üretmek, enerji üretmek, yüksek biyoaktiviteli moleküller üretmek veya nihai ürünün kalitesini etkileyen diğer maddeler için yapı taşları olarak kullanılır (Colla ve Rouphael, 2019).

Biyostimülantların üretiminde kullanılan amino asitler, soya fasulyesi, mısır, alg, mısır vb. gibi bitkisel proteinlerden kimyasal sentez yoluyla ve ayrıca enzimatik ve kimyasal hidroliz yoluyla hayvansal proteinlerden elde edilir (Shahrajabian vd., 2022). Amino asitler çeşitli fizyolojik rollere sahip hayati moleküller olarak görev yapar (Sierras vd., 2016) ve tohum çimlenmesinde önemli bir işlev görür (Rai, 2002) ve tuzluluk stresi altında stoma açılmasının kontrolünü, taşıma düzenlemesini, enzim aktivasyonunu, ağır metallerin detoksifikasyonunu, redoks homeostazının sürdürülmesini ve gen ifadesini destekleyebilen ozmolitler gibi davranabilirler (Shahrajabian vd., 2022). Bitkilere çevre dostu amino asit biyostimülantları takviyesi yapmak, inorganik gübre kullanımını azaltabilir (Cheng vd., 2016).

Literatür çalışmaları incelendiğinde; bazı amino asit bazlı biyostimülantların kullanımı ile kekik (*Origanum onites* L.) bitkisinde antioksidan aktivitenin arttığı ve fenolik bileşik miktarının iyileştiği belirlenmiştir. Bu durum bitkinin farmakolojik özelliklerini güçlendirmektedir. Ayrıca, biyostimülantların kekik bitkisinin kök gelişimini destekleyerek su ve besin emilimini artırdığı belirtilmiştir (Cheng vd., 2017). Bu da bitkinin kuraklık gibi stres faktörlerine karşı daha dirençli hale gelmesini sağlar. El-Gohary vd. (2015) yaptıkları çalışmada, NPK ve amino asit uygulamalarının yaz kekiği (*Satureja hortensis* L.)'nin yaş ve kuru herba verimi ile uçucu yağ içeriği ve bileşenleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bağışıklık sistemini güçlendiren özellikleriyle bilinen ekinezya (*Echinacea purpurea*) bitkisine uygulanan amino asit bazlı biyostimülantlar bitkinin büyüme hızını artırarak kök ve yaprak gelişimini teşvik etmiş ve verimini artırmıştır. Ayrıca ekinezya bitkisinin aktif bileşenleri olan ekinakozit ve diğer polifenollerin miktarında artırdığı bildirilmiştir (Fallah-Hosseini vd., 2022).

Seidler-Łożykowska vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada “Maximus Amino Protect” ile muamele edilen *Satureja hortensis* L., *Origanum majorana* L., *Melisa officinalis* tıbbi bitkilerinde fosfor içeriğinde kontrole göre artış görüldüğü belirtilmiştir.

EL-Zefzafy vd. (2016) tarafından *Artemisia abrotanum*'un farklı amino asit (triptofan ve fenilalanin) ve sitrik asit konsantrasyonlarının yaprak uygulamasına bitkinin fizyolojik ve fitokimyasal tepkileri araştırılmış ve bitki boyu, dal sayısı, yaş ve kuru biyokütle açısından büyüme parametrelerini önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır. Tüm uygulamalar, uçucu yağ içeriği ve verimde önemli artışlara yol açmış, bitki büyümesi ve uçucu yağ bileşenlerinden chamazulen, p-cymen-8-ol ve piperiton ‘un amino asit veya sitrik asit konsantrasyonlarıyla kademeli olarak arttığı bildirilmiştir.

Farklı tıbbi bitkiler ile yapılan çalışmalarda; amino asit uygulamalarının; *Cymbopogon citratus* Hort, (Gamal El-Din vd., 1997), *Ocimum basilicum* (Talaat ve Youssef, 2002), *Matricaria chamomilla* L. (Karima ve Abd EL-Wahed, 2005) bitkilerinin toplam yağ yüzdesi ve yağ verimleri (ml/bitki) üzerine olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, amino asitlerin bazı enzimlerin sentezini ve aktivitesini, gen ekspresyonunu ve redoks homeostazını etkilediği bildirilmiştir (Rai, 2002). Limon otu (Taraf, 1999), *Jasminum*

grandiflora (Eid, 2010) ve sardunya (Safaa vd. 2011) üzerine yapılan çalışmalarda, sitrik asidin yapraktan uygulanmasının uçucu yağ yüzdesinde ve veriminde belirgin bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Foeniculum vulgare Mill, *Coriandrum sativum* L., *Achillea millefolium* L., *Nigella sativa* L., *Ocimum basilicum* L., *Urtica pilulifera* L., *Mentha piperita*, *Calendula officinalis* L. ve *Satureja hortensis* L. bitkilerinin hem nitel hem de nicel özellikleri üzerinde amino asitlerin ve amino asitlere dayalı biyostimülantların yaprak uygulamasının olumlu etkileri bildirilmiştir (Shafie vd., 2021; Wafaa vd., 2021).

Fesleğen (*Ocimum basilicum*) bitkisine uygulanan protein hidrolizatının yaprakta nitrat içeriğini azalttığını ve fesleğenin dayanıklılığını artırdığını bildirmişlerdir (Consentino vd., 2023). Kışniş (*Coriandrum sativum*) bitkisine uygulanan glisin içeren ticari amino asit preparatının, sürgün ve yaprakların büyümesini iyileştirdiği ve yaprakların mikro besin içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Mohammadipour ve Sour, 2019). Lachhab vd. (2014) ticari protein hidrolizati uygulamasının nane (*Mentha spicata* L.) bitkisinin büyümesini, fotosentetik performansı ve verimini olumsuz etkilemeden nane kalitesini artırdığını bildirmişlerdir.

ARBÜSKÜLER MİKORİZAL MANTAR

TAB'ın yetiştiriciliğinde, arbüsküler mikorizal fungus (AMF) teknolojisinin uygulanması son yıllarda büyük ölçüde kabul edilmektedir. Çünkü AMF, TAB'ın etken madde niteliklerinden ödün vermeden, bu maddelerin birikimini artırarak önemli ölçüde katkıda bulunurlar. AMF ve TAB arasındaki ilişki ilk defa Taber ve Trappe (1982) tarafından ortaya konulmuş ve yapılan birçok çalışmada, AMF uygulamalarının TAB'ın tohum, meyve, yaprak, sürgün ve köklerindeki fitokimyasal bileşenler üzerindeki olumlu etkileri rapor edilmiştir (Kapoor vd., 2004; Thangavel vd., 2009; Zubek vd., 2012; Rydlova vd., 2016).

Ayrıca, AMF'lerin sürdürülebilir tarımda kullanımları, doğada bol bulunması ve gübre ihtiyacının önemli ölçüde azaltılmasından dolayı tarımda kullanımları yüksek potansiyele sahiptir. AMF ve konak bitkiler arasındaki ilişki, doğadaki en yaygın mutualistik ilişki olarak bildirilmektedir ve her iki simbiyotik ortak tarafından yönetilen ve nihayetinde AMF-konak bitki uyumluluğuyla sonuçlanan çeşitli olayları kapsamaktadır (Feddermann vd.,

2010). Her iki ortak türün işlevsel özellikleri, ilişkilerinin güçlü veya zayıf yanları ile belirlenebilmektedir (Avio vd., 2018; Campos vd., 2018). Birçok çalışmada AMF ile bitkiler arasında güçlü bir ilişki olduğu ve mineral besin alımını artırarak bitkilerin verim ve kalite özelliklerini artırdıkları rapor edilmiştir (Cheruth vd., 2009; Tian vd., 2019; Thirke vd., 2016; Pedone-Bonfim vd., 2018).

Farklı dozda (0, 125, 250, 375 ve 500 µg/g) çinko oksit nanopartikül (ZnONP'ler) uygulamaları AMF'nin çemen (*Trigonella foenum-graecum*)'in büyümesi ve gelişimi üzerindeki potansiyel etkisinin araştırıldığı çalışmada AMF yokluğunda, artan ZnONP konsantrasyonlarının çemende kök nodül sayısında ve biyokütlesinde önemli bir düşüşe neden olduğu saptanmıştır. AMF aşılması, rizosferde glomalin adı verilen güçlü bir metal şelatlayıcı glikoprotein salgılanmasını teşvik ederek ZnONP'lerin inhibe edici etkilerini iyileştirdi, bu da kök tarafından Zn alımını ve ardından sürgüne taşınmasını önemli ölçüde (neredeyse yarı yarıya) azaltmıştır. AMF aşılması (yüksek glomalin salgılanması) aracılı düşük Zn alımı, çemen otunda kök ve sürgün büyümesini teşvik etmek için uyarıcı olabilir. Sonuçlar, glomalin salgılanması yoluyla rizosferik AMF'nin önemli koruyucu rollerini vurgulayarak bitkilerde nanotoksisiteyi azalttığını ve nanofitotoksikoloji ve riskleri değerlendirirken toprak-mikrobiyal etkileşimlerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Shirkhodaei vd (2014), *Azotobacter chroococcum* ve *Azospirillum lipoferum* kombinasyonunun kişnişin yaş ve kuru verimlerini önemli ölçüde artırdığını ifade etmişlerdir. TAB'da AMF uygulamaları üzerine yürütülen diğer çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AMF uygulamaları ve bazı TAB üzerine etkileri

Bitki adı	AMF uygulamaları	Etkileri	Kaynaklar
<i>Thymus satureioides</i> , <i>Thymus pallidus</i> , <i>Lavandula dentata</i>	<i>Funneliformis mosseae</i>	Biyokütle üretiminde önemli artışlar, major uçucu yağ bileşenleri miktarlarında artışlar, uçucu yağların anti-germinatif ve antifungal aktivitelerini önemli ölçüde artırma	Akachoud vd. (2022)
<i>Ocimum basilicum</i>	<i>Glomus fasciculatum</i> , <i>Glomus intraradices</i> , <i>Glomus mosseae</i>	Bitki boyu, yaş ve kuru madde verimi, uçucu yağ içeriği, yağ verimi ve bileşenlerde önemli artışlar	Zolfaghari vd. 2013
<i>Lippia alba</i>	<i>Fuscutata heterogama</i> , <i>Claroideoglomus etunicatum</i>	Seskitерpenoidler üzerine etkilerin artması, bitki büyümesi, trikom yoğunluğunda, malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) artışlar	Neto vd. (2023)
<i>Calendula officinalis</i>	<i>Glomus spp.</i>	Besin alımı ve bitki büyümesinde artışlar	Kheyri vd. (2023)
<i>Passiflora cincinnata</i>	<i>Acaulospora longula</i>	Toplam fenol, toplam tanen, toplam saponin flavonoid içeriklerinde artış	Falcao and da Silva (2022)
<i>Mentha pulegium</i> , <i>Petroselinum crispum</i>	<i>R. irregularis</i>	Biyosentetik yolun aktivasyonu ve besin alımının iyileştirilmesi	Gashgari vd. (2020)
<i>Ocimum basilicum</i>	<i>ERS (Glomus intraradices</i> , <i>Glomus aggregatum</i> , <i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus clarum</i> , <i>Glomus monosporus</i> , <i>Glomus deserticola</i> , <i>Glomus brasilianum</i> , <i>Glomus etunicatum</i> ve <i>margarita</i>), <i>Gigaspora Vittormone plus</i> (<i>Azotobacter chroococcum</i> ve <i>Azotobacter vinelandii</i>)	Bitki verimini ve biyolojik aktivitelerini ile major uçucu yağ bileşenleri artırma ve antioksidan aktivite, toplam fenolik ve flavonoid içeriğini iyileştirme	Elmas vd. (2024)
<i>Salvia miltiorrhiza</i>	<i>Glomus formosanum</i> , <i>Septoglomus constrictum</i>	Toplam fenolik asit konsantrasyonunda, kök yaş ağırlığında, kuru ağırlığında, kök biyokütlesinde ve toplam tanshinon	Wu vd. (2023)

<i>Rhizophagus</i> <i>Acaulospora</i> <i>Ambispora gerdemannii</i>	<i>manihotis</i> , <i>laevis</i> ,	birikimlerinde artış, toplam fenolik asit birikimlerinde azalma	
<i>Funneliformis</i> <i>Septoglomus</i> <i>Acaulospora lacunosa</i>	<i>mosseae</i> , <i>deserticola</i> ,	Bitkilerin toprak üstü kısımlarında artış, AMF karışım uygulaması, katalaz, peroksidaz, prolin ve toplam fenolik içerik aktivitelerini artırarak bitkinin büyümesini ve tuza toleransını artırma, polifenol profillerinin keskin bir şekilde değişimi	Duc vd. (2021)
<i>Salvia miltiorrhiza</i>	<i>Glomus</i> <i>Glomus</i> <i>Glomus</i> <i>Glomus intraradices</i>	Bitki köklerinde, bitki boyunda, yaprak uzunluğunda, kök çapında, yaprakçık boyutlarında ve biyokütüde artışlar, ayrıca N, P vd K birikimlerinde önemli ölçüde artış, tanshinon konsantrasyonu ile salvianolik asit birikiminde önemli ölçüde iyileştirme	Yang vd. (2017)
<i>Stevia rebaudiana</i>	<i>Rhizophagus</i> (Thaxt.) <i>C. Walker</i> & <i>A. Schüßler</i>	Steviol glikozitler ve gövde biyokütlesi ile besin maddelerinin (N, K, Mg, Cu, Fe, Mn ve Zn) emiliminin ve klorofil ile karbonhidrat konsantrasyonlarının artırılması	Mandal vd. (2013)
<i>Artemisia annua</i>	<i>Glomus</i> <i>Glomus fasciculatum</i> (GF)	Herba verimi, sürgünkuru ağırlığı, sürgünün besin durumunu (P, Zn ve Fe), yapraklardaki uçucu yağ ve artemisinin konsantrasyonunu önemli ölçüde artırma	Chaudhary vd. (2008)
<i>Foeniculum vulgare</i> L.	<i>Funneliformis mosseae</i>	Uçucu yağ oranları, toplam çözünür protein ve karbonhidrat içeriklerinde, toplam antioksidan emzim aktivitelinde, mineral madde (N, P, K, Fe, Mn, Zn) içeriklerinde, klorofil ve karotenoid içeriklerinde artış	Rasouli vd. (2023)

<i>Foeniculum vulgare</i> L.	<i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus intraradices</i> .	Uçucu yağ verimi, yaprak ve tane besin içeriğini artırdığı, yaprak karotenoid konsantrasyonu, prolin konsantrasyonu, yaprakta çözünabilen protein konsantrasyonu, yaprakta çözünabilen şeker konsantrasyonu ve yaprağın bağıl su içeriğinde farklılıklar	Zardak vd. (2018)
<i>Trigonella graecum</i> L.	<i>Glomus monosporum</i> , <i>G. foenum-</i> <i>Gigaspora nigra</i> , <i>Acaulospora laevis</i>	Bitkilerde büyüme, prolin içeriği ve antioksidan enzim ve fosfataz seviyelerinin artışı	Metwally ve Abdelhameed (2018)

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, AMF uygulamalarının TAB ile simbiyotik etki oluşturduğu ve uygulanan AMF türlerine göre bu bitkilerin farklı tepkiler verdiği görülmektedir. AMF uygulamalarının TAB'da başta verim ve verim ögeleri olmak üzere sekonder metabolitlerinin artışında veya değişiminde pozitif etkiler ortaya koyduğu söylenilebilir.

ASKORBİK VE SALİSİLİK ASİT

Askorbik asit, fotosentezi, hormon biyosentezini ve diğer antioksidanların yenilenmesini düzenleyen enzimler için önemli bir redoks tamponu ve kofaktör görevi görür. Bu, nihayetinde verimi ve bitkilerin yaş ve kuru ağırlıklarını artırabilir. Salisilik asit (SA) veya askorbik asit (AS) uygulamasının fotosentetik pigmentler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve bu asitler ile muamele edilen bitkilerin kontrol ile karşılaştırıldığında daha yüksek toplam klorofil içeriği gösterdiğini bildiren Gharib (2006), Khandaker vd. (2011), Jalal vd. (2012), El-Tohamy vd. (2013) ve Kong vd. (2014) bulgularıyla örtüşmektedir. SA'nın yaprak ve kloroplast yapısını, stoma kapanmasını ve klorofil ve karotenoid içeriğini etkilediği için fotosentezin önemli bir düzenleyicisi olduğu bildirilmiştir (Rivas-San Vicente ve Plasencia, 2011). Ayrıca, bitki büyüme düzenleyicileri gibi çeşitli faktörler tıbbi ve aromatik bitkilerin sekonder metabolit miktarını ve kalitesini etkiler (Hassanpour Aghdam vd., 2011). Salisilik asitin *Ocimum basilicum* L. ve *Majorana hortensis* bitkilerine yapraktan uygulanmasının, uçucu yağın nicelik ve kalitesini artırdığını saptamışlardır (Gharib, 2006)

El-Sayed vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada 10 m³/fedan tavuk gübresi ile yetiştirilen *Ocimum* sp. uygulanan 125 ppm humik asit +100 ppm askorbik asitin bitkinin herba verimini artırdığını saptamışlardır. Youssef vd. (2005), sığır gübresi ve biyostimülantların etkileşimini araştırdıkları çalışmalarında 100 ppm uygulanan askorbik asidin *Matricaria chamomilla* büyüme parametrelerini artırmada önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Abd El-Naeem (2008) tarafından yapılan çalışmada ahır gübresi (45 m³/fedan) ile yetiştirilen kimyon bitkisine uygulanan askorbik asit + salisilik asit (her biri 150 ppm'de) şemsiye sayısını, meyve verimini ve 1000 meyvenin ağırlığını kontrol uygulamasına kıyasla önemli ölçüde artırdığı sonucuna varmıştır. Bu sonuçlar, Eid vd. (2011) tarafından kadife çiçeği (*Tagetes erecta*) uygulanan 200 ppm'lik askorbik asidin kontrol uygulaması ile

kıyaslandığında yağ yüzdesini ve yağ bileşenlerini artırdığını kanıtlayan sonuçlarla uyumludur. Ibrahim (2010), *Pelargonium graveolens* bitkisi ile yaptığı çalışmada verim, uçucu yağ yüzdesi ile uçucu yağ verimi oranının tüm askorbik asit oranlarına (100, 200 ve 300 ppm) bağlı olarak önemli ölçüde arttığı sonucuna varmıştır.

Hanafy vd. (2017) tarafından sığır gübresi oranlarının (15, 30 ve 45 m³/fedan) tek başına veya bazı farklı maya, askorbik asit ve actosol seviyelerinin *Artemisia abrotanum* L. bitkisinin büyümesi, verimi, uçucu yağ verimi ve kimyasal bileşimi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, bitkiye 30 m³/ fedan oranında sığır gübresi ve 100 ppm kombine askorbik asit gübresi uygulanmasının, diğer kombine uygulamalara göre tüm özelliklerde en yüksek değerlerin elde edilmesini sağlamıştır. Hodan (borage) bitkisine 300 ppm askorbik asidin yaprak uygulamasının kontrol bitkilerine kıyasla bitkilerin büyümesini artırdığını bulmuşlardır (Attia ve Moftah, 2002).

Haider vd. (2020) tarafından SA ve gibberellik asit (GA) gibi bitki sinyal moleküllerinin ekzojen rolü, *A. integrifolia*'nın çoklu sürgün kültüründe gelişmiş fitokimya ve biyolojik aktiviteleri için araştırılmış, SA (150 µM), bileşiklerin çoğunun maksimum birikimi için optimum olarak bulunurken, rosmarinik asit ve kafeik asit seviyeleri sırasıyla SA (75 µM) ve SA (300 µM) 'ya yanıt olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. SA (150 µM) uygulamasının antioksidan ve antiinflamatuvar aktivitelerinde önemli ölçüde artmış olup, bu da fitokimyasal biyosentez ve ilgili biyolojik aktiviteleri arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu gösterdiğini ve GA, *A. integrifolia* sürgün kültüründe FRAP ve ABTS gibi antioksidan aktivitelerini negatif etkilediğini bildirmişlerdir. Benzer başka bir çalışmada, salisilik asit uygulanan *Cistus heterophyllus* sürgünlerinin antioksidan potansiyeli incelenmiş ve daha düşük salisilik asit konsantrasyonunun, *C. heterophyllus* sürgünlerinde doğal salisilik asit üretimini tetikleyerek fenolik metabolizma ve antioksidan aktivitede etkili olduğu saptanmıştır (López-Orenes vd., 2013).

Miri vd. (2015) tarla koşullarında yetiştirilen kekiğin (*Thymus vulgaris* L.) büyümesi, biyokimyasal özellikleri ve uçucu yağ içeriği üzerine yapraktan SA ve sitrik asit uygulamalarının etkisini belirledikleri çalışmada, SA (0,5 ve 1 mM) ve sitrik asitin (5 ve 10 mM) yapraktan uygulanmasının kekiğin yaş ve kuru ağırlığını, ayrıca pigment (klorofil a ve karotenoidler) içeriğini ve uçucu yağ üretimini önemli ölçüde artırdığını (kontrol ile karşılaştırıldığında 1,3 kat)

ortaya koymuşlar ve kekikte verim ve uçucu yağ üretimini artırmak için SA'nın 0.5-1 mM oranında veya sitrik asitin 5 mM oranında uygulanması önermişlerdir. Sivanandhan vd. (2013) *Withania somnifera* sıvı sürgün kültüründe maksimum kuru ağırlığın en düşük salisilik asit kültür konsantrasyonunda gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Salisilik asidin *Thymus membranaceus* sürgünlerinde rosmarinik asit üretimini ve antioksidan aktiviteni artırdığını bildirmişlerdir (Pérez-Tortosa vd., 2012). Benzer şekilde salisilik asitle muamele edilmiş *Hypericum hirsutum* ve *Hypericum maculatum* sürgün kültürlerinde hiperisin ve psödohiperisin üretiminde önemli bir artış olduğunu bildirmiştir (Coste vd., 2011). Daghighian vd. (2017) tıbbi bitki olan top enginarının (*Cynara scolymus* L.) tuzluluk stresini hafifletmek için uyguladıkları SA'nın farklı tuzluluk seviyelerinde prolin üretimini artırdığını ve 0,1 mM'lik SA dozunun tuzluluk stresi altında en uygun doz olduğunu bildirmişlerdir. Elhindi vd. (2017) tatlı fesleğen fidelerine yapraktan uygulanan SA etkilerini, büyüme, fotosentetik aktivite, toplam ozmoregülatörler ve mineral içeriği bakımından tuz stresi altında incelendikleri çalışmalarında SA'nın yaprak uygulamaları, büyüme, klorofil içeriği ve gaz değişimi niteliklerinde bir artış gözlediklerini ve en yüksek değerlerin 1,00 mM SA uygulamasından elde ettiklerini bildirmişlerdir. Benzer sonuçlar Bayat vd. (2012), Mohammadzadeh vd. (2013) ve Sumaira vd. (2014) tarafından da bildirilmiştir. SA'nın iyon alımı üzerindeki olumlu etkileri ve Na alımı üzerindeki inhibitör etkileri, tatlı fesleğen bitkilerinin tuzluluğunun yönetilmesinde de etkili olduğunu göstermektedir (Mohammadzadeh vd., 2013). Ayrıca, Maleki vd. (2013), tatlı fesleğenlerde sitrik asitin yaprak uygulamasıyla sürgün ve kök yaş ve kuru ağırlıklarını artırdığını bildirmişlerdir.

Song vd. (2012), oksalik asit ve sitrik asit çözeltilerinin *Fraxinus mandshurica* Rupr. fidelerinin klorofil içerikleri ve fotosentezi üzerindeki etkilerini incelemiş ve uygun konsantrasyonlardaki organik asitlerin klorofil içeriğini artırdığını, klorofil a ve b içeriklerinin karotenoid içeriğinden daha fazla değiştiğini bulmuştur. Czerpak vd. (2002) ayrıca SA'nın *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm'deki klorofil a ve b içeriği ile karotenoidler üzerinde güçlü bir etki oluşturduğunu saptamıştır.

Abdou ve Mohamed (2014), SA + askorbik asitle muamele edilen nane bitkilerinin, musluk suyuyla muamele edilen NPK ile gübrelenmiş bitkilere

kıyasla uçucu yağ konsantrasyonunu %87 oranında artırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca, Gharib (2006), fesleğen üzerinde 10^{-3} M'de SA uygulamasıyla yağ yüzdesinin ve bitki başına verimin sırasıyla %5,49 ve %26,66 arttığını bulmuştur. Yağ verimindeki artışın, vejetatif büyümedeki artıştan, besin alımından veya yaprak yağ bezi popülasyonundaki ve monoterpen biyosentezindeki değişikliklerden kaynaklanabileceği sonucuna varmıştır. Bu, 300 mg/L GA3 uygulaması altında Fransız lavanta bitkilerinin artan yaprak yaş ve kuru ağırlığının, uçucu yağ üretimi lehine birincil ve ikincil metabolizmanın uygun etkileşimlerine yol açmış olabileceğini gösteren Hassanpour Aghdam vd. (2011) ifadesiyle uyumludur. Jaafari ve Hadavi (2012a) hem sitrik asit hem de SA'nın fesleğenin uçucu yağ verimini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada, sitrik asit ve malik asit kombinasyonunun dereotunun (*Anethum graveolens* L.) yaş ve kuru ağırlığını ve uçucu yağ verimini kontrol uygulamasına kıyasla artırdığını göstermişlerdir (Jaafari ve Hadavi, 2012b). Sitrik asitin ikincil metabolizma yollarına daha yüksek bir karbon akışına yönelttiğini belirtmişlerdir. Sitratın verim üzerindeki etkisi de uçucu yağ verimindeki artıştan sorumlu olan bir diğer bulgudur. Genel olarak, bulguları bu etkinin kısmen yaprak spreyleri yoluyla sağlanan organik asitler tarafından desteklenen veya uyarılan köklerdeki proton pompalama hızındaki artıştan kaynaklandığını göstermektedir.

KİTOSAN UYGULAMALARI

Kitosan ve oligosakkaritleri, azot ve karbon metabolizmasının farklı enzimlerinin aktivitelerini ve fotosentetik düzeneklerin karanlık ve ışık tepkilerini artırarak fotosentezi artırmaktadır. Ayrıca, temel fotokimyası düzenleyerek fotosentetik düzeneklerin uyarılmasında önemli bir işleve sahiptirler. Kitosanlar, stoma kısıtlamalarını yönetebilir, karanlık reaksiyonlarda karbon fiksasyon etkinliğini artırabilir ve metabolitlerin sentezini iyileştirebilir. Kitosan ve oligosakkaritleri ayrıca sekonder metabolitlerin biyosentezini ve enzimlerin aktivitesini de destekleyebilmektedirler (Alamdari vd., 2022). Kitosan, fizikokimyasal özelliklerinin özgülüğüne, biyolojik olarak parçalanabilirliğine ve biyoyuumluluğuna bağlı olarak farklı amaçlar için kullanılabilir (Wahba, 2020; Shahrajaian vd., 2020). Kitosanın, kimyasal ve doğal olarak sentezlenen bileşenlerinin güçlü elisitörler oldukları ve biyostimülantlar olarak

hareket edebildiği ve tıbbi bitkilerin fizikokimyasal özelliklerini değiştirebildiği belirtilmiştir (Kaboudi vd., 2023; Yin vd., 2023). Kitosan uygulamaları diğer bitkilerde olduğu gibi TAB'ın verim ve kalite kriterleri üzerine pozitif etki yapmaktadır. Bu uygulamalar, hem üretimin artmasına katkıda bulunurken hem de bitkilerin zararlı mikroorganizmalara karşı savunma mekanizmalarının gelişmesini sağlarlar (Sun vd., 2023). Ancak bu savunma mekanizmaları kitosan uygulamalarının yöntemine veya dozlarına göre farklılık göstermektedir (Fan vd., 2023). Kitosan aynı zamanda tıbbi bitkilerin sekonder metabolitlerinin üretimini artırmada rol oynayan biyolojik bir uyarıcı olarak da kabul edilmektedir. (Salehi ve Rezayatmand, 2017).

Kitosanın bazı TAB üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmalar ve etkileri Tablo 2'de özetlenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, kitosan uygulamalarının TAB'ın verim ve kalite kriterleri üzerine olumlu etki yaptıkları ve özellikle uçucu yağ oranı ve uçucu yağ bileşenlerinde pozitif sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Genel olarak, uygulama dozlarına göre etken maddelerinin ve verim değerlerinin değiştiği ve 0-0.4 g/L dozları arasında uygulamalarının yapıldığı ortaya konulmuştur.

Tablo 2. Kitosan TAB verim ve bazı kalite kriterleri üzerine etkileri

Bitki adı	Uygulama dozu	Etkileri	Kaynaklar
<i>Ocimum basilicum</i> , <i>O. ciliatum</i>	0.2 ve 0.4 g/L	Bitki büyüme parametreleri, ekstraktlarının toplam fenol içeriği ve antioksidan aktivitesindeki artışlar	Pirbalouti vd. (2017)
<i>Thymus daenensis</i>	0, 200 ve 400 mg/L	Yapraklardaki besin yoğunluğunda artış ve fenolik bileşiklerin üzerine pozitif etki	Bisgani vd. (2021)
<i>Mentha arvensis</i>	%0.25, %0.5 ve %0.75	Sürgün, kök ve toplam kuru ağırlıkların daha fazla birikmesi ve maksimum menthol oranının elde edilmesi	da Silva vd. (2021)
<i>Withania somnifera</i>	1, 2.5 ve 5 mg/mL yapraktan uygulama	Bitki boyu, yaprak uzunluğu, yaprak genişliği ve yaprak alanı değerlerinde artış	Jacob vd. (2023)
<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	0.05, 0.1 ve 0.2%	Bitki biyokütle özellikleri ile rebaudiosides A gibi biyokimyasal parametrelerinin artışı	Mehregan vd. (2017)
<i>Ocimum basilicum</i>	0 ve 0.2 g/L	Protein ve klorofil içeriğinin yanı sıra PAL ve COVMT genlerinin ekspresyonunu artırarak fenolik bileşiklerde artış	Rashidi vd. (2020)
<i>Ocimum basilicum</i>	0, 2, 4 ve 6 ml/L	Bitkilerin gövde yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı ve yaprak kuru ağırlığında artışlar	Qazizadah vd. (2021)
<i>Salvia officinalis</i>	Kontrol, 0.0, 0.25 ve 0.50 g/L	Uçucu yağ içeriğinde, uçucu yağ bileşenlerinde, antioksidan aktivitelerinde, toplam fenolik ve flavonoid miktarlarında artışlar	Vosoughi vd. (2018)
<i>Ocimum basilicum</i>	0.0, 0.2 ve 0.4 g/L	Stresli ve stressiz koşullarda bitki büyümesinde artış ve festegen bitkilerinin büyümesi üzerindeki su eksikliğinin zararlı etkisini azaltılması	Malekpoor vd. (2016)
<i>Satureja isophylla</i> L.	0, 0.2 ve 0.4 g/l	Uçucu yağ verimi ile kalitenin artması	Salehi ve Rezayatmand (2017)

<i>Thymus daenensis</i> Celak	0, 200 ve 400 µL/L	Kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerde kuru madde ve yağ verimindeki düşüşü bir dereceye kadar telafi etmesi, en yüksek uçucu yağ veriminin elde edilmesi, stres koşullarının kuru madde ve yağ verimi üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması, esas olarak prolin birikimi yoluyla ozmotik düzenlemenin uyarılması ve kekik yapraklarının hücre zarlarının bütünlüğünü artıran lipid peroksidaz seviyesinin düşürülmesi	Bistgani vd. (2017)
<i>Curcuma longa</i> L.	0.1%, w/v (30 günden 210 güne kadar uygulama)	Büyüme parametrelerinin (sürgün boyu, yaprak sayısı/bitki, bitki yaş ağırlığı) artması, bitkilerin yapraklarında ve rizomlarında proteaz inhibitörleri (PI), β -1,3 glukanaazlar, peroksidazlar (PO) ve polifenol oksidazlar (PPO) gibi savunma enzimlerinin aktivite seviyelerinin artması, yüksek verim ve kurkumin içeriği	Anusuya ve Sathiyabama (2016)
<i>Ocimum basilicum</i> L.	0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% ve 1%	Fenolik ve terpenik bileşiklerin toplam miktarı, rosmarinik asit (RA) ve öjenol miktarları, DPPH, PAL'in aktivitesi, bitki boyu ve ağırlığı değerlerinde artış	Kim vd. (2005)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal üretimde meydana gelen ekonomik kayıpların azaltılması amacıyla uzun yıllardır kullanılan kimyasal gübreler insan sağlığını ve ekolojik koşulları olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz koşulların giderilmesi ve çevreye olan zararlarının azaltılması amacıyla ekolojik tarım sistemine verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Bu kapsamda son yıllarda biyostimülantlara olan ilgi büyük ölçüde artmış ve bitkilerdeki fizyolojik olaylarının değişimi ile bitki verimliliği ve kalite kriterlerinin artmasına olanak sağlanmıştır.

TAB türleri dünyanın her yerinde yetiştirilmekte ve tarih boyunca tıbbi özelliklere sahip olduklarından çeşitli terapötik amaçlar için kullanılmıştır. Biyostimulantların bu bitkilere uygulanmasının faydalı olabileceği, verim ve kalite içerikleri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen değerler ile desteklenmektedir. Özellikle biyostimülant uygulamalarının bitki türlerine ve uygulama dozlarına göre etkilerinin değiştiği görülmüştür. Sonuç olarak; farklı biyostimülantların TAB'ın verim ve kalite değerleri üzerinde olumlu etkilere sahip olduklarını açık bir şekilde ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKÇA

- Abbasi, B. H., Ullah, M. A., Nadeem, M., Tungmunnnithum, D., Hano, C. (2020). Exogenous application of salicylic acid and gibberellic acid on biomass accumulation, antioxidant and anti-inflammatory secondary metabolites production in multiple shoot culture of *Ajuga integrifolia* Buch. Ham. ex D. Don. Industrial Crops and Products, 145, 112098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112098>
- Abd-El-Naeem, L. M. A. (2008). Response of caraway plants to some organic and biofertilization treatments. M. Sc. Thesis, Fac. Agric., Minia Univ., Egypt, 148 pp.
- Abdou, M. and Mohamed, M. A. H. (2014). Effect of plant compost, salicylic and ascorbic acids on *Mentha piperita* L. plants. Biological Agriculture and Horticulture, 30, 131-143.
- Akachoud, O., Bouamama, H., Facon, N., Laruelle, F., Zoubi, B., Benkebboura, A. and Loun`es-Hadj Sahraoui, A. (2022). Mycorrhizal inoculation improves the quality and productivity of essential oil distilled from three aromatic and medicinal plants: *Thymus satureioides*, *Thymus pallidus*, and *Lavandula dentata*. Agronomy 12, 2223. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092223>.
- Alamdari, S., Mirzaee, O., Jahroodi, F. N., Tafreshi, M. J., Ghamsari, M. S., Shik, S. S., Ara, M. H. M., Lee, K. Y. and Park, H. H. (2022). Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild *Mentha pulegium* extract for packaging applications. Surfaces and Interfaces, 34, 102349.
- Alamgir, A. N. M. (2018) Therapeutic use of medicinal plants and their extracts: Volume 2: Phytochemistry and Bioactive Compounds. 1st Edition, Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1>
- Anusuya, S. and Sathiyabama, M. (2016). Effect of chitosan on growth, yield and curcumin content in turmeric under field condition. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 6, 102-106. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.002>
- Attememe, J. Y. A. (2009). The effect of humic acid and sea weed extracts on the growth, chemical characteristics and oil characteristics of

- Rosmarinus officinalis* L. the 6th scientific conference, Biology Department, College of Education , University of Tikrit. Plants Science, p. 1-17.
- Attia, F. A. and Moftah, A. E. (2002). Response of lead- polluted borage (*Borago officinalis* L.) to antioxidant treatments. Mansoura University Journal of Agricultural Sciences, 27(6), 4063-4082.
- Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K. J., Sujeeth, N., Bragança, R. and Gonçalves, B. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. Biomolecules, 11(8), 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P. and Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia horticulturae, 196, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Bayat, H. and Belopukhov, S. (2019). The effect of humic acid, plant growth promoting rhizobacteria and seaweed on growth parameters, essential oil and chlorophyll content in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Global Scientific Journal, 7(7), 19-32.
- Bayat, H., Alirezaie, M. and Neamati, H. (2012). Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8, 258–267.
- Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G. and Hashemi, M. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of (*Thymus daenensis* Celak.). The Crop Journal, 5 (5), 407-415. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>
- Bistgani, Z.E., Hasehmi, M. and Hamid, R. (2021). Fertilizer source and chitosan effect on productivity, nutrient accumulation, and phenolic compounds of *Thymus daenensis* Celak. Agronomy Journal, 113(6), 5499-5515. <https://doi.org/10.1002/agj2.20858>
- Briceño-Domínguez, D., Hernández-Carmona, G., Moyo, M., Stirk, W. and van Staden, J. (2014). Plant growth promoting activity of seaweed liquid extracts produced from *Macrocystis pyrifera* under different pH and temperature conditions. Journal of Applied Phycology, 26, 2203-2210. <https://doi.org/10.1007/s10811-0140237-2>

- Bulgari, R., Morgutti, S., Cocetta, G., Negrini, N., Farris, S., Calcante, A., Spinardi, A., Ferrari, E., Mignani, I. and Oberti, R. (2017). Evaluation of borage extracts as potential biostimulant using a phenomic, agronomic, physiological, and biochemical approach. *Frontiers Plant Sciences*, 8, 935.
- Chaudhary, V., Kapoor, R. and Bhatnagar, A. K. (2008). Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annua* L. *Applied Soil Ecology* 40(1), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.04.003>
- Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H., Zhang, X., Xia, M. and Peng, J. (2017). Effect of oregano essential oil supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality, fatty acid composition, and oxidative stability of *Longissimus thoracis* muscle in growing-finishing pigs. *Meat science*, 133, 103-109
- Cheng, Y., Tian, Q. and Zhang, W. H. (2016). Glutamate receptors are involved in mitigating effects of amino acids on seed germination of *Arabidopsis thaliana* under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 130, 68–78.
- Cheruth, A. J., Joe, M. M. and Karthikeyan, B. (2009). Response of some medicinal plants to vesicular arbuscular mycorrhizal inoculations. *Journal of Scientific Research and Reports*, 1(2), 381–6.
- Chojnacka, K., Moustakas, K. and Witek-Krowiak, A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach towards economy. *Bioresource Technology*, 295, 122223. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122223>
- Colla, G. and Rouphael, Y. (2015). Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 1-134. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R. and Rouphael, Y. (2015a). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Science Horticulture*, 196, 28–38.
- Colla, G., Rouphael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhe, C. and Cardarelli, M. (2015b). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of Science Food Agriculture*, 95, 1706–1715.

- Consentino, B. B., Vultaggio, L., Sabatino, L., Ntatsi, G., Roupael, Y., Bondi, C., De Pasquale, C., Guarino, V., Iacuzzi, N., Capodici, G. and Mauro R. P. (2023). Combined effects of biostimulants, N level and drought stress on yield, quality and physiology of greenhouse-grown basil. *Plant Stress* 10:100268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100268>
- Corsi, S., Ruggeri, G., Zamboni, A., Bhakti, P., Espen, L., Ferrante, A., Nosedà, M., Varanini, Z. and Scarafoni, A. (2022). A Bibliometric analysis of the scientific literature on biostimulants. *Agronomy*, 12(6), 1257. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061257>
- Coste, A., Vlase, L., Halmagyi, A., Deliu, C. and Coldea, G. (2011). Effects of plant growth regulators and elicitors on production of secondary metabolites in shoot cultures of *Hypericum hirsutum* and *Hypericum maculatum*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 106, 279–288.
- Czerpak, R., Dobrzyń, P., Krotke, A. and Kicińska, E. (2002). The Effect of auxins and salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents in *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. (Lemnaceae) growing on media of various trophicities. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11, 231-235.
- da Silva, E. A., de Paula, A. C. C. F. F., Silva, V. N. B., de Alvarenga, A. A. and Bertolucci, S. K. V. (2021). Biostimulating effect of chitosan and acetic acid on the growth and profile of the essential oil of *Mentha arvensis* L. *Industrial Crops and Products*, 171, 113987. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113987>
- Daghaghian, H., Mortazaie, N. F. and Bahreininejad, B. Physiological response of the medicinal plant artichoke (*Cynara scolymus* L.) to exogenous salicylic acid under field saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92(4), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2016.1205960>
- Di Miceli, G., Vultaggio, L., Sabatino, L., De Pasquale, C., La Bella, S. and Consentino, B. B. (2023). Synergistic effect of a plant-derived protein hydrolysate and arbuscular mycorrhizal fungi on eggplant grown in open fields: A two-year study. *Horticulturae*, 9(5), 592. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050592>
- Di Mola, I., Conti, S., Cozzolino, E., Melchionna, G., Ottaiano, L., Testa, A., Sabatino, L., Roupael, Y. and Mori, M. (2021). Plant based protein

- hydrolysate improves salinity tolerance in hemp: Agronomical and physiological aspects. *Agronomy*, 11(2), 342.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11020342>
- Di Stasio, E., Van Oosten, M. J., Silletti, S., Raimondi, G., Dell'Aversana, E., Carillo, P. and Maggio, A. (2018). *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *Journal of Applied Phycology*, 30, 2675-2686.
<https://doi.org/10.1007/s10811-0181439-9>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- Duc, N. H., Vo, A. T., Haddidi, I., Daood, H. and Posta, K. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve tolerance of the medicinal plant *Eclipta prostrata* (L.) and induce major changes in polyphenol profiles under salt stresses. *Frontiers in Plant Science*, 11, 612299.
- Eid, R. A. (2010) Physiological properties studies on essential oil of *Jasminum grandiflorum* L. as affected by some vitamins. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3(1), 87- 96.
- Eid, R. A., Taha, L. S. and Ibrahim, S. M. M. (2011). Alleviation of diverse effects of salinity on growth, and chemical constituents of marigold plants by using glutathione and ascorbate. *Journal of Applied Sciences Research*, 7(5), 714–721.
- Elansary, H. O., Mahmoud, E. A., El-Ansary, D. O. and Mattar, M. A. (2019). Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint. *Agronomy*, 10(1), 6.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10010006>
- El-Gohary, A. E., El Gendy, A. G., Hendawy, S. F., El-Sherbeny, S. E., Hussein, M. S. and Geneva, M. (2015). Herbage yield, essential oil content and composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) as affected by sowing date and foliar nutrition. *Genetics and Plant Physiology*, 5, 170–178.
- Elhindi, K. M., Al-Amri, S. M., Abdel-Salam, E. M. and Al-Suhaibani, N. A. (2017). Effectiveness of salicylic acid in mitigating salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 40(6), 908-919.
<http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2016.1270311>

- Elmas, M., Yaldiz, G. and Camlica, M. (2024). Impact of bio-fertilizers and bio-fertilizers with reduced rates of chemical fertilization on growth, yield, antioxidant activity, essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant. Russian Journal of Plant Physiology, 71, 4. <https://doi.org/10.1134/S1021443723602665>
- El-Sayed, A. A., El-Hanafy, S. H. and El-Ziat, R.A. (2015). Effect of chicken manure and humic acid on herb and essential oil production of *Ocimum* sp. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 15(3), 367-379.
- El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M., Badr, M. A. and Gruda, N. (2013). Drought tolerance and water status of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by citric acid application. Journal of Applied Botany and Food Quality, 86, 212-216.
- EL-Zefzafy, M. M., Shahhat, I. M. A., Yousef, R. S. and Elsharkawy, E. R. (2016). Influence of foliar application with amino acids and citric acid on physiological and phytochemical responses of *Artemisia abrotanum* produced by in vitro culture. Bioscience Biotechnology Research Communications, 9(4), 702-711.
- Falcao, E. L. and da Silva, F. S. B. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and coconut coir dust application enhance the production of foliar secondary metabolites in *Passiflora cincinnata* Mast. seedlings. Journal of the Science of Food and Agriculture Reports 2, 247–254. <https://doi.org/10.1002/jsf2.47>.
- Fallah Hosseini, Z., Riahi, H., Ghorbani Nohooji, M. and Shariatmadari, Z. (2022). The effect of cyanobacterial bioelicitors on total phenolic content of *Echinacea purpurea* L. Journal of Phycological Research, 6(2), 914-922.
- Farruggia, D., Cannizzaro, M., Licata, M., La Bella, S., Urso, G. and Novak, J. (2025). Foliar application of three biostimulants in two time intervals affects crop yield and chemical parameters of *Melissa officinalis* L. Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 4, e70075. <https://doi.org/10.1002/sae2.70075>
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A. and Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. Horticulturae, 8(3), 189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>

- Gamal El-Din, K. M., Tarraf, A. S. and Balbaa, L. (1997). Physiological studies on the effect of some amino acids and microelements on growth and essential oil content in lemongrass (*Cymbopogon citrates* Hort). Journal of Agricultural Science Mansoura University, 22, 29-41.
- Gashgari, R., Selim, S., Abdel-Mawgoud, M., Warrad, M., Habeeb, T. H., Saleh, A. M. and AbdElgawad, H. (2020). Arbuscular mycorrhizae induce a global metabolic change and improve the nutritional and health benefits of pennyroyal and parsley. Acta Physiologiae Plantarum, 42, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03091-3>.
- Gharib, F. A. E. (2006). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International Journal of Agriculture and Biosciences, 4, 485-492.
- Gómez-Merino, F. C. and Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035>
- Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F. and Fakheri, B. A. (2017). Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regimes. Crop Science Research in Arid Regions, 1(2), 166-176.
- Gupta, A., Singh, U. B., Sahu, P. K., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., Singh, S., Kuppasamy, P., Singh, P., Paul, D., Rai, J. P., Singh, H. V., Manna, M. C., Crusberg, T. C., Kumar, A. and Saxena, A. K. (2022). Linking soil microbial diversity to modern agriculture practices: A review. International Journal of Environmenta Research and Public Health, 19(5), 3141. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053141>
- Hanafy, M. S., Heikal, A. A. M., El-Ghawwas, E. O. and Ali, Z. H. (2017). The effect of cattle manure and biostimulants on growth and essential oil production of southernwood Artemisia (*Artemisia abrotanum* L.) plant. Middle East Journal of Agriculture Research, 6(4), 1218-1231.
- Hassanpour Aghdam, M. B., Hajisamadi Asl, B. and Khalighi, A. (2011). Gibberellic acid foliar application influences growth, volatile oil and some physiological characteristics of lavender (*Lavandula officinalis* Chaix.). Romanian Biotechnological Letters, 16, 6322-6327.

- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J. and Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Applied Phycology, 26, 619-628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>
- Huang, W., Wang, Y., Tian, W., Cui, X., Tu, P., Li, J., Shi, S. and Liu, X. (2022). Biosynthesis investigations of terpenoid, alkaloid, and flavonoid antimicrobial agents derived from medicinal plants. Antibiotics, 11(10), 1380. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101380>
- Ibrahim, T. I. E. (2010). Physiological studies on geranium plants. M. Sc. Thesis, Fac. Agric., Minia Univ., Egypt, 160 pp.
- Jaafari, N. and Hadavi, E. (2012a). Growth and essential oil yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by foliar spray of citric acid and salicylic acid. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen Submission, 17, 80-83.
- Jaafari, N. and Hadavi, E. (2012b). Growth and essential oil yield of dill (*Anethum graveolens*) as affected by foliar sprays of citric acid and malic acid. Acta Horticulturae, 955, 287-290.
- Jacob, M. E., Nair, D.S., Sreekala, G. S., Alex, S., Sajitha, R. T. and Viji, M. M. (2023). Effect of chitosan foliar spray on plant growth parameters in Ashwagandha. The Pharma Innovation Journal, 12(9), 1393-1398.
- Jalal, R. S., Bafeel, S. O. and Moftah, A. E. (2012). Effect of salicylic acid on growth, photosynthetic pigments and essential oil components of shara (*Plectranthus tenuiflorus*) plants grown under drought stress conditions. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 2, 252-260.
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, and Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. Agronomy, 11(5), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>
- Kaboudi, Z., Peighambaroust, S. H., Nourbakhsh, H. and Soltanzadeh, M. (2023). Nanoencapsulation of chavir (*Ferulago angulata*) essential oil in chitosan carrier: Investigating physicochemical, morphological, thermal, antimicrobial and release profile of obtained nanoparticles. International

- Journal of Biological Macromolecules, 237, 123963.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123963>
- Karima, M. G. and Abd EL-Wahed, M. S. A. (2005). Effect of some amino acids on growth and essential oil content of chamomile plant. International Journal of Agriculture and Biology, 7(3), 376 – 380.
- Khandaker, L., Masum Akond, A. S. M. G. and Oba, S. (2011). Foliar application of salicylic acid improved the growth, yield and leaf's bioactive compounds in red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). Vegetable Crops Research Bulletin, 74, 77-86.
- Kheyri, Z., Moghaddam, M. and Farhadi, N. (2022). Inoculation efficiency of different mycorrhizal species on growth, nutrient uptake, and antioxidant capacity of *Calendula officinalis* L.: A comparative study. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s42729-021-00721-8>.
- Kim, H. J., Chen, F., Wang, X. and Rajapakse, N. C. (2005). Effect of Chitosan on the Biological Properties of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 9, 3696–3701.
<https://doi.org/10.1021/jf0480804>
- Kong, L., Dong, Y., Xu, L., Liu, S. and Bai, X. (2014). Effects of foliar application of salicylic acid and nitric oxide in alleviating iron deficiency induced chlorosis of *Arachis hypogaea* L. Botanical Studies, 55, 1-12.
- La Bella, E., Baglieri, A., Rovetto, E. I., Stevanato, P., Puglisi, I. (2021). Foliar spray application of *Chlorella vulgaris* extract: Effect on the growth of lettuce seedlings. Agronomy, 11, 308. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020308>
- Lachhab, N., Sanzani, S. M., Adrian, M., Chiltz, A., Balacey, S., Boselli, M., Ippolito, A. and Pointssot, B. (2014). Soybean and casein hydrolysates induce grapevine immune responses and resistance against *Plasmopara viticola*. Frontiers in Plant Science, 5, 716.
- López-Orenes, A., Martínez-Moreno, J. M., Calderón, A. A. and Ferrer, M. A. (2013). Changes in phenolic metabolism in salicylic acid-treated shoots of *Cistus heterophyllus*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 113, 417–427. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0281-z>
- Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Canaguier, R., Kumar, P. and Colla, G. (2015). The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling

- and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 182, 124–133.
- Mahajan, M., Kuiry, R. and Pal, P. K. (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18, 100255
- Majkowska-Gadomska, J., Jadwisieńczyk, K., Francke, A. and Kaliniewicz, Z. (2022). Effect of biostimulants on the yield and quality of selected herbs. *Applied Sciences*, 12(3), 1500. <https://doi.org/10.3390/app12031500>
- Maleki, V., Ardakani, M. R., Rejali, F. and Taherpour, A. (2013). Physiological responses of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) to triple inoculation with *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Glomus intraradices* and foliar application of citric acid. *Annals of Biological Research*, 4, 62-71.
- Malekpoor, F., Pirbalouti, A. G. and Salimi, A. (2016). Effect of foliar application of chitosan on morphological and physiological characteristics of basil under reduced irrigation. *Research on Crops*, 17(2), 354-359. DOI: 10.5958/2348-7542.2016.00060.7
- Mandal, S., Evelin, H., Giri, B., Singh, V. P. and Kapoor, R. (2013). Arbuscular mycorrhiza enhances the production of stevioside and rebaudioside-A in *Stevia rebaudiana* via nutritional and non-nutritional mechanisms. *Applied Soil Ecology*, 72, 187–194.
- Mehregan, M., Mehrafarin, A., Labbafi, M., Naghdi Badi, H. (2017). Effect of different concentrations of chitosan biostimulant on biochemical and morphophysiological traits of stevia plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Medicinal Plants*, 16(62), 169-181
- Metwally, R. A. & Abdelhameed, R. E. (2018). Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiology of salt-stressed *Trigonella foenum-graecum* plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 538-544. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.08.018>.
- Miri, S. M., Ahmadi, S. and Moradi, P. (2015). Influence of salicylic acid and citric acid on the growth, biochemical characteristics and essential oil content of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Medicinal plants and By-products*, 2, 141-146.
- Mohammadipour, N. and Souri, M. K. (2019). Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition, and

- antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Agrobotanica*, 72, 13–16.
- Mohammadzadeh, M., Arouee, H., Neamati, S. H. and Shoor, M. (2013). Effect of different levels of salt stress and salicylic acid on morphological characteristics of four weight native basils (*Ocimum basilicum*). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 3590–3596.
- Muscolo, A., Felicim, M., Concheri, G. and Nardi, S. (1993). Effect of earthworm humic substances on esterase and peroxidase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Biology and Fertility of Soils*, 15, 127–131.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M. and Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
- Nardi, S., Schiavon, M. and Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26, 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
- Neto, L., Silva-Santos, L., de Souza, L. M., de Moraes, M. B., Corte-Real, N., Monte Júnior, I. P., Camara, C. A. G., Moreas, M. M. and Ulisses, C. (2023). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on morphophysiological responses and secondary metabolism in *Lippia alba* (Verbenaceae) under different water regimes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 827–841. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10589-2>.
- Nikoogoftar-Sedghi, M., Rabiei, V., Razavi, F., Molaei, S. and Khadivi, A. (2024). Fulvic acid foliar application: A novel approach enhancing antioxidant capacity and nutritional quality of pistachio (*Pistacia vera* L.). *BMC Plant Biology*, 24(1), 241. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04974-0>.
- Paul, K., Sorrentino, M., Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P., Moreno, M. B. M., Reynaud, H., Canaguier, R., Trtílek, M., Panzarová, K. and Colla, G. (2019). A combined phenotypic and metabolomic approach for elucidating the biostimulant action of a plant-derived

- protein hydrolysate on tomato grown under limited water availability. *Frontiers in Plant Science*, 10, 493. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00493>
- Pedone-Bonfim, M. V. L., da Silva, D. K. A., da Silva-Batista, A. R., de Oliveira, A. P., Almeida, J. R. G. D., Yano-Melo, A. M. and Maia, L. C. (2018). Mycorrhizal inoculation as an alternative for the sustainable production of *Mimosa tenuiflora* seedlings with improved growth and secondary compounds content. *Fungal Biology*, 122(9), 918–27.
- Pérez-Tortosa, V., López-Orenes, A., Martínez-Pérez, A., Ferrer, M. A. and Calderón, A. A. (2012). Antioxidant activity and rosmarinic acid changes in salicylic acid-treated *Thymus membranaceus* shoots. *Food Chemistry*, 130, 362–369.
- Pirbalouti, A. G., Malekpoor, F., Salimi, A. and Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, 217, 114–122.
- Pirzad, A. and Mohammadzadeh, S. (2018). Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). *Agricultural Water Management*, 204, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020>
- Qazizadah, A. Z., Nakasha, J. J., Sinniah, U. R. and Wahab, P. E. M. (2021). Impacts of different concentrations and times of application of chitosan on sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Knowex Food and Agriculture Journal*, 2(1), 10-19. 10.17501/2682728X.2021.2102
- Raguraj, S., Kasim, S., Md Jaafar, N. and Nazli, M. H. (2022). Growth of tea nursery plants as influenced by different rates of protein hydrolysate derived from chicken feathers. *Agronomy*, 12, 299.
- Rahimi, A., Mohammadi, M. M., Siavash Moghaddam, S., Heydarzadeh, S. and Gitari, H. (2022). Effects of stress modifier biostimulants on vegetative growth, nutrients, and antioxidants contents of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(5), 2059-2072. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10604-6>

- Rai, V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum*, 45, 481–487.
- Rashidi, N., Khavari-Nejad, R.A., Ramak, P. and Saadatmand, S. (2020). The effect of chitosan on gene expression, some morphological and physiological traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(4), 21–30. DOI: 10.24326/asphc.2020.4.2.
- Rasouli, F., Nasiri, Y., Hassanpouraghdam, M.B., Asadi, T., Trifa, A., Strzemeski, M., Dresler, S. and Szczepanek, M. (2023). Seaweed extract and arbuscular mycorrhiza co-application affect the growth responses and essential oil composition of *Foeniculum vulgare* L.. *Scientific Reports*, 13, 11902 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39194-3>
- Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62, 3321–3338.
- Rouphael, Y., Carillo, P., Cristofano, F., Cardarelli, M. and Colla, G. (2021). Effects of vegetal-versus animal-derived protein hydrolysate on sweet basil morpho-physiological and metabolic traits. *Scientia Horticulturae*, 284, 110123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110123>
- Rouphael, Y., De Micco, V., Arena, C., Raimondi, G., Colla, G. and De Pascale, S. (2017). Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange and leaf anatomy of *Zucchini squash* grown under saline conditions. *Journal of Applied Phycology*, 29, 459–470.
- Ruzzi, M. and Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042>
- Sabatino, L., Consentino, B. B., Rouphael, Y., Baldassano, S., De Pasquale, C. and Ntatsi, G. (2023). *Ecklonia maxima*-derivate seaweed extract supply as mitigation strategy to alleviate drought stress in chicory plants. *Scientia Horticulturae*, 312, 111856. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111856>
- Safaa, R. E., Ayad, H. S. and Reda, F. (2011). Effect of riboflavin, ascorbic acid and dry yeast on vegetative growth, essential oil pattern and antioxidant activity of geranium (*Pelargonium graveolens* L.). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 10,5: 781–786.

- Salehi, S. and Rezayatmand, Z. (2017). The effect of foliar application of chitosan on yield and essential oil of savory (*Satureja isophylla* L.) under salt stress. *Journal of Herbal Drugs (An International Journal on Medicinal Herbs)*, 8(2), 101-108. DOI: <https://doi.org/10.18869/JHD.2017.101>
- Savvas, D. and Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>
- Seidler-Łożykowska, K., Kozik, E., Golcz, A. and Mieloszyk, E. (2016). Macroelements and essential oil content in the raw material of the selected medicinal plant species from organic cultivation. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 51, 161–163.
- Shafie, F., Bayat, H., Aminifard, M. H. and Saeid Daghighi, S. (2021). Biostimulant effects of seaweed extract and amino acids on growth, antioxidants, and nutrient content of yarrow (*Achillea millefolium* L.) in the field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52, 964–975.
- Shahrajabian, M. H., Sun, W. and Cheng, Q. (2022). Using bacteria and fungi as plant biostimulants for sustainable agricultural production systems. *Recent Patents on Biotechnology*, 17, 206–244.
- Shahrajaian, M. H.; Sun, W., Soleymani, A. and Cheng, Q. (2021). Traditional herbal medicines to overcome stress, anxiety and improvement of health in outbreaks of human coronaviruses. *Phytotherapy Research*, 35, 1237–1247.
- Shirkhodaei, M., Darzi, M. T. and Haj Seyed Hadi, M. R. (2014). Influence of vermicompost and biostimulant on the growth and biomass of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 706–714.
- Sierras, N., Botta, A., Staasing, L., Martinez, M. J. and Bru, R. (2016). Understanding the effect of amino acids based biostimulant by an enantiomeric analysis of their active principles and a proteomic profiling approach. *Acta Horticulturae*, 1148, 93–100.
- Silou T., Mampouya D., Loka L. W. D. and Saadou M. (1999). Composition globale et caractéristiques nutritionnelles des huiles extraites de 5 espèces des cucurbitacées du Niger. *Rivista Italiana della Sostanze Grasse*, LXXVI, 141-144.

- Sivanandhan, G., Rajesh, M., Arun, M., Jeyaraj, M., Dev, G.K., Arjunan, A., Manickavasagam, M., Muthuselvam, M., Selvaraj, N. and Ganapathi, A. (2013). Effect of culture conditions, cytokinins, methyl jasmonate and salicylic acid on the biomass accumulation and production of withanolides in multiple shoot culture of *Withania somnifera* (L.) dunal using liquid culture. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 715–728.
- Skrypnik, L., Golovin, A. and Savina, T. (2022). Effect of salicylic acid on phenolic compounds, antioxidant and antihyperglycemic activity of Lamiaceae plants grown in a temperate climate. *Frontiers in Bioscience-Elite*, 14(1), 3. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1401003>.
- Song, J. F., Qi, H. Y., Cui, X. Y. and Peng, H. M. (2012). Effects of organic acids on chlorophyll contents and photosynthesis of *Fraxinus mandshurica* seedlings. *Advanced Materials Research*, 2012(393-395), 713-716.
- Sumaira, B., Ejaz, H. S., Iqbal, H., Khizar, H. B. and Rizwan, R. (2014). Mitigating the effects of salinity by foliar application of salicylic acid in fenugreek. *Hindawi Publishing Corporation Physiology Journal*, 2014, 869058, 6p.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A. and Shahrajabian, N. (2023). Developing sustainable agriculture systems in medicinal and aromatic plant production by using chitosan and chitin-based biostimulants. *Plants*, 12, 2469. <https://doi.org/10.3390/plants12132469>.
- Talaat, I. M. and Youssef, A. A. (2002). The role of the amino acids lysine and ornithine in growth and chemical constituents of basil plants. *Egyptian Journal of Applied Science*, 17, 83–95.
- Taraf, S. A. (1999). The response of vegetative growth and essential oil of lemon grass (*Cymbopogon citrates* Hort) to foliar application of ascorbic acid, nicotinamid and some micronutrients. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 7, 247-259.
- Tattini, M., Bertoni, P., Landi, A. and Traversim, M. L. (1991). Effect of humic acids on growth and biomass partitioning of container grown olive plants. *Acta Horticulturae*, 294, 75–80.
- Thirkell, T. J., Cameron, D. D. and Hodge, A. (2016). Resolving the nitrogen paradox of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter

- brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant, Cell Environment*, 39(8), 1683–90.
- Thomas, S. C. L. (1996). Nutrient weeds as soil amendments for organically growth herbs. *Jour of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 4(1), 3-8. https://doi.org/10.1300/J044v04n01_02.
- Tian, L., Shi, S., Ma, L., Zhou, X., Luo, S., Zhang, J., Lu, B. and Tian, C. (2019). The effect of *Glomus intraradices* on the physiological properties of panax ginseng and on rhizospheric microbial diversity. *Journal of Ginseng Research*, 43(1), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2017.08.005>.
- Tursun, A. O. (2022). Effect of foliar application of seaweed (organic fertilizer) on yield, essential oil and chemical composition of coriander. *Plos one*, 17(6), e0269067. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269067>.
- Vosoughi, N., Gomarian, M., Pirbalouti, A. G., Khaghani, S. and Malekpoor, F. (2018). Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) extract under chitosan application and irrigation frequencies. *Industrial Crops and Products*, 117, 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.021>.
- Wafaa, H. A. A. A., Rania, M. R. K. and El-Shafay, R. M. M. (2021). Effect of spraying with extracts of plants and amino acids on growth and productivity on *Coriandrum sativum* plants under Shalateen condition. *Plant Archieves*, 21, 300–307.
- Wahba, M.I. (2020). Enhancement of the mechanical properties of chitosan. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 31, 30–375.
- Wu, Y. H., Qin, Y., Cai, Q. Q. Liu, M., He, D. M., Chen, X., Wang, H. and Yan, Z.Y. (2023). Effect the accumulation of bioactive constituents of a medicinal plant (*Salvia miltiorrhiza* Bge.) by arbuscular mycorrhizal fungi community. *BMC Plant Biology*, 23, 597. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04608-x>.
- Yadav, R. K., Sangwan, R. S., Sabir, F., Srivastava, A. K. and Sangwan, N. S. (2014). Effect of prolonged water stress on specialized secondary metabolites, peltate glandular trichomes, and pathway gene expression in *Artemisia annua* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 74, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.10.023>.

- Yang, Y., Ou, X., Yang, G., Xia, Y., Chen, M., Guo, L. and Liu, D. (2017). *Arbuscular mycorrhizal fungi* regulate the growth and phyto-active compound of *Salvia miltiorrhiza* seedlings. *Applied Sciences*, 7(1), 68. <https://doi.org/10.3390/app7010068>.
- Ye, J., Zhang, X., Tan, J., Feng, Xu., Cheng, S., Chen, Z., Zhang, W. and Liao, Y. (2020). Global identification of *Ginkgo biloba* MicroRNAs and insight into their role in metabolism regulatory network of terpene trilactones by high-throughput sequencing and degradome analysis. *Industrial Crops and Products*, 148, 112289. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112289>.
- Yin, W., Yan, R., Zhou, X., Li, X., Sang, S., McClements, D. J., Chen, L., Long, J., Jiao, A., Wang, J., Jin, J. and Qui, C. (2023). Preparation of robust, water-resistant, antibacterial, and antioxidant chitosan-based films by incorporation of cinnamaldehyde-tannin acid-zinc acetate nanoparticles. *Food Chemistry*, 419, 136004.
- Youssef, A. A., Aziz, E. E. and Talaat, I. M. (2005). Influence of some antioxidants on growth, flower-heads and essential oil content of *Matricaria chamomilla* L. plants. *Annals of Agricultural Science*, Moshtohor, 43(2).
- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z. and Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675> and biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 675.
- Zardak, S. G., Dehnavi, M. M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M. (2018). Effects of using arbuscular mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on the physiological traits and essential oil yield of fennel. *Rhizosphere*, 6, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.02.001>
- Zehra, A., Choudhary, S., Naeem, M., Masroor, M., Khan, and Aftab, T. (2019). A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 7(3), 99-106.
- Zhan, X., Chen, Z., Chen, R. and Shen, C. (2022). Environmental and genetic factors involved in plant protection-associated secondary metabolite biosynthesis pathways. *Frontiers in Plant Science*, 13, 877304. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.877304>

Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F. and Rejali, F. (2013). Effects Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Plant Physiology, 3(2), 643-650.

BÖLÜM 11

HALK TIBBİNDA KULLANILAN BAZI TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER

Doç. Dr. Meryem YEŞİL¹
Doç. Dr. Emel KARACA ÖNER¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608574>

¹ Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Ordu, Türkiye. meryemyesil@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-9246-2362, emelkar55@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1714-7426

GİRİŞ

Halk tıbbı, insanların geleneksel bilgi, kültürel inanışlar ve deneyimlere dayalı olarak geliştirdikleri sağlık koruma ve hastalık tedavi yöntemlerinin bütünüdür. Türkiye gibi farklı coğrafi ve tarihsel olarak da değişik etnik ve kültürel geçmişe sahip ülkelerde halk tıbbı uygulamaları büyük çeşitlilik göstermektedir. Yüzlerce yıldır kuşaktan kuşağa aktarılan bu uygulamalar, yalnızca bir sağlık alternatifi değil, aynı zamanda toplumsal hafızanın, yaşam biçiminin ve kültürel kimliğin önemli bir parçası olarak varlığını sürdürmektedir.

Türkiye’de halk tıbbı uygulamaları kırsal bölgelerde yaygın olmakla birlikte, şehirleşme ve modern tıbbın yaygınlaşmasına rağmen varlığını korumaktadır. Modern sağlık hizmetlerinin ulaşmakta güçlük çektiği bölgelerde, halk tıbbı uygulamaları hem pratik hem de ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir. Kent ortamında bu tür tedavi yöntemlerine daha mesafeli bir yaklaşım tarzı olduğu kabul edilse de son yıllarda konuyla ilgili televizyon programları ve kitaplar hem kent hem de köy ortamında bu tür tedavilere karşı ilginin artmasına olanak tanımıştır (Yeşil, 2015).

Son yıllarda yapılan etnobotanik ve halk sağlığı araştırmaları, halk tıbbının sadece kültürel bir miras değil, aynı zamanda bilimsel olarak da incelenmesi gereken bir bilgi sistemi olduğunu ortaya koymuştur (Sıcak, Çolak, İlhan, Sevindik ve Alkan, 2013; Karaoğlu, Köseoğlu Şengül, Öztürk ve Kaya, 2018; Kardaş, 2019; Demirtaş ve Demirtaş, 2021). Özellikle Anadolu coğrafyasının zengin florası ve farklı kültürel grupların etkisiyle gelişen yerel tedavi yöntemleri, modern fitoterapi ve farmasötik bilimler açısından da önem taşımaktadır.

Çalışmanın amacı, halk tıbbı uygulamaları kapsamında geleneksel olarak kullanılan bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin türlerini, kullanım amaçlarını, hazırlanma ve uygulama biçimlerini bilimsel literatürler doğrultusunda derleyerek sistematik bir şekilde ortaya koymaktır. Çalışma, özellikle Türkiye’de halk arasında yaygın olarak başvuru alan bitkisel tedavi yöntemlerine ilişkin bilgileri bir araya getirerek hem güncel etnobotanik literatüre katkı sağlamayı hem de yerel bilgilerin belgelenmesine destek olmayı hedeflemektedir. Ayrıca bu derleme ile geleneksel bilginin korunması, gelecekteki farmakolojik ve fitoterapötik çalışmalara temel oluşturması amaçlanmaktadır.

MATERYAL ve METOT

Bu çalışma, halk tıbbında kullanılan bitkiler üzerine yapılmış ulusal ve uluslararası literatürlerin sistematik bir şekilde incelenmesiyle gerçekleştirilmiş bir derlemedir. Çalışmada Google Scholar, PubMed, Scopus, Web of Science, TR Dizin ve YÖK Ulusal Tez Merkezi gibi veri tabanları kullanılmıştır. Arama sırasında kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: "bitkilerin Türkçe ve Latince isimleri", "halk tıbbı", "etnobotanik", "geleneksel bitkisel tedavi", "şifalı bitkiler", "bitkisel ilaç kullanımı", "Türkiye'de halk hekimliği"dir. Türkçe ve İngilizce kaynaklar birlikte değerlendirilerek bitkiler Türkçe isimleriyle alfabetik sırayla verilmiştir.

BULGULAR

Adaçayı (*Salvia L.*): *Salvia* cinsi Lamiaceae familyasında (Ballıbabagiller) tıbbi ve aromatik özellik taşıyan değerli bir cinsdir (Başyigit ve Baydar, 2017). Bu cins 900 kadar tür içermekte ve türe göre oranları değişmekle birlikte uçucu yağın ana bileşenleri α ve β thujene, 1,8-cineole, camphor, borneol, α -pinen, β -pinene'dir (Putievsky, Radiv ve Dudai, 1986; Baydar, 2022). Antik çağlardan beri *Salvia* türleri, antibakteriyel, spazmolitik, hemostatik ve daha birçok biyolojik aktiviteleri nedeniyle tüm dünyada halk hekimliklerinde kullanılmıştır (Wu vd., 2012). Soğuk algınlığı, boğaz enfeksiyonunda infüzyon olarak kullanımı (Göktaş ve Gıdık, 2019), ağız ülserleri, bademcik iltihaplarında ve dişeti hastalıklarında ise gargara şeklinde kullanımı önerilmektedir. Ayrıca karaciğer ve sindirim sistemi fonksiyonlarını düzenlemek için tonik olarak kullanılabileceği de bildirilmekte, terlemeyi önleyici etkisi ve östrojen hormonunu salgılayıcı etkisi sayesinde menapoz dönemi sıkıntılarının atlatılmasında olumlu etkisi de bulunmaktadır (Bahtiyarca Bağdat, 2006).

Anason (*Pimpinella anisum L.*): Anason Maydanozgiller (Apiaceae) familyasına ait *Pimpinella* cinsi içinde yer alan ve meyvelerinden elde edilen uçucu yağı geleneksel tıpta kullanılan bir bitkidir (Baytop, 1984). Meyvelerinde %1-6 oranında uçucu yağ bulunur ve bu uçucu yağın ana bileşeni trans-anetholdür (%75-80) (Hajyzadeh, Yıldırım, Karagöz ve Sarıhan, 2017; Boztaş ve Bayram, 2020). Bu bitki geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılmakta ve çay olarak tüketilmektedir. Gaz ve idrar söktürücü özellikleri sayesinde

sindirim sistemi rahatsızlıklarının giderilmesinde etkili rol oynamaktadır (Sun, Shahrajabian ve Cheng, 2019). Soğuk algınlığına karşı da kullanılan anason (Orav, Raal ve Arak, 2008; Baydar, 2022) aynı zamanda sakinleştirici ve yatıştırıcı özellikleri sayesinde sinir sistemi üzerinde rahatlatıcı bir etki de sağlamaktadır (Mirheydar, 2001). Emziren annelerde süt üretimini destekleyici etkisiyle de halk arasında yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur (Baydar, 2022).

Atkuyruğu (*Equisetum arvense* L.): Atkuyruğugiller (Equisetaceae) familyasına ait olan atkuyruğu bitkisi alkaloidler, hidrokarbonlar, proteinler, aminoasitler, tanenler, flavonoidler ve triterpenoitler içermektedir (Carneiro vd., 2019; Hasan, Erzaiq, Khalaf ve Mustafa, 2020). Yaprakları ve toprak üstü aksamı infüzyon ve dekoksasyon olarak hazırlanıp tüketilmekte ve halk tıbbında prostat hastalığı, idrar yolu enfeksiyonu, kum/taş düşürücü olarak, yara iyileşmesini hızlandırıcı, iltihap ve romatizmal rahatsızlıklarda kullanılmaktadır (Erşen Bak ve Çifci, 2020; Luanda, Ripanda ve Makangara, 2023).

Ayrıkotu (*Agropyron repens* L.): Ayrıkotu Graminae familyasına ait (Grzelak ve Gaweł, 2019), karbonhidratlar (fruktoz, glikoz, inositol, mannitol), mukuslu maddeler, pektin, tritisin, siyanogenetik glikozitler, flavonoidler, saponinler, uçucu yağlar (carvacrol, carvone, trans-anethol, tymol ve menthol) içeren çok yıllık yabancı bir bitkidir (Al-Snafi, 2015). Ayrıkotu harici olarak tonik şeklinde kullanılmakta ayrıca çocuklarda idrar kaçırma, yetişkinlerde idrar yolu hastalığı, prostat hastalığı, romatizma, böbrek taşı, öksürük kesici ve idrar yolu enfeksiyonlarının (sistit, üretrit, prostatit) tedavisinde yaygın olarak faydalanılmaktadır (Al-Snafi, 2015; Deveci, Tel Cayan, Karakurt ve Duru, 2020).

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.): Lamiaceae familyasından yarı çalı veya çalı formunda, uçucu yağının ana etken maddeleri 1,8-cineole, camphor, borneol olan ve yaprakları çay olarak tüketilen önemli bir tıbbi ve aromatik bitkidir (Başkaya, Ayanoğlu ve Bahadırılı, 2016; Baydar, 2022). Modern bilimsel araştırmalar biberiyenin zengin fitokimyasal içeriği sayesinde çok yönlü farmakolojik etkilere sahip olduğunu doğrulamaktadır (Rahbardar ve Hosseinzadeh, 2020; Benyaich ve Aksissou, 2024). Biberiye çayının, kabızlığa

iyi geldiği, sindirim sistemini uyardığı, safra artırıcı ve idrar söktürücü olarak kullanıldığı ve uçucu yağının ise romatizma ağrılarına karşı kullanıldığı bildirilmiştir (Kırpık, 2005). Duke (2000), Heinrich, Kufer, Leonti, Pardo-de-Santayana (2006), Rahbardar ve Hosseinzadeh (2020) halk hekimliğinde baş ağrısı, mide ağrısı, romatizmal ağrılarda hafif analjezik olarak epilepsi, spazmlar, uykusuzluk, depresyon, psikolojik rahatsızlıklar gibi çeşitli hastalıkları hafifletmek, hafızayı güçlendirme için kullanıldığını belirtmişlerdir.

Çakşır (*Ferula meifolia* L.): Maydanozgiller (Apiaceae) familyasında yer alan çakşır bitkisinin kök kısmı kaynatılarak veya köklerinin toz haline getirilip bal ile karıştırılarak tüketilmesi şeklinde iki farklı kullanım şekli bulunmaktadır. Halk tıbbında; afrodizyak etkisi, doğurganlığı artırmak amacıyla, idrar yolu enfeksiyonlarında, damar sertliği, epilepsi tedavisinde ve kabızlık için kullanılmaktadır (Demirtaş ve Demirtaş, 2021).

Çaşır (*Ferula orientalis* L.): *Ferula* cinsinden Maydanozgiller (Apiaceae) familyasına ait olan bu bitkinin tanen, terpen, saponin, nişasta, uçucu yağ, reçine ve alkaloid içerdiği belirlenmiştir (Karaman ve Sezgin, 2022). Tedavi amacıyla bitkinin genellikle kök kısmının kurutulmuş hali tercih edilirken bazen yaprak ve gövde kısmının salamura yapılmış şekli de kullanılmaktadır (Demirtaş ve Demirtaş, 2021). Halk tıbbında doğumu kolaylaştırmak, baş dönmesini engellemek, soğuk algınlığı için, kan basıncını düzenlemek, romatizma ve öksürük tedavisi amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir (Öztürk, Demirtaş ve Elmastaş, 2010).

Civanperçemi (*Achillea millefolium* L.): Asteraceae familyasının önemli bir türü olup, 3000 yıldan daha uzun bir süredir halk hekimliğinde kullanılmaktadır (Cavalcanti vd., 2006). Bitkinin tedavi amacıyla kullanılan kısımları çiçekleri ve toprak üstü aksamıdır (Kayıran ve Kırıcı, 2019). Uçucu yağında camphor, 1,8-cineole, α -pinen, kamazulen, caryophyllene oxide gibi bileşenler bulunmaktadır (Zöngür, 2023). Avrupa'dan Asya'ya kadar birçok kültürde çay olarak mide, bağırsak sisteminde anormal kasılmalar, karaciğer, safra kesesi, pankreas ve safra kanallarında meydana gelen hastalıklar, jinekolojik rahatsızlıkların tedavisi, iltihaplara karşı ve yara iyileşmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ali, Gopalakrishnan ve Venkatesalu, 2017).

Ayrıca grip, ishal, iştahsızlık, terleme, ödem söktürücü ve hemoroid kanamalarında kullanıldığı da kayıt altına alınmıştır (Başer et al., 2002; Wichtl, 2004, Benedek, Geisz, Jager, Thalhammer ve Kopp, 2006; Jenabi ve Fereidoony, 2015; Karaoğlu vd., 2018). Cilt iltihaplarına, yaralara, kesiklere, sıyrıklara karşı losyon/merhem olarak (Ali vd., 2017) akciğer rahatsızlıklarında ve nefes açıcı olarak kullanıldığı da bilinmektedir (Erşen Bak ve Çifci, 2020).

Çörek otu (*Nigella sativa* L.): Pek çok kültürde çoğu rahatsızlığa karşı doğal bir çare olarak kullanılan çörekotu, Ranunculaceae (Düğünçiçeğigiller) ailesine mensup tohumu, alkaloidler, saponinler, tokoferoller, flavonoidler, uçucu yağ (thymoquinone, thymohydroquinone, dithymoquinone, thymol, carvacrol, nigellimin, nigellicin, nigellidin, alphahederin) ve birçok aktif bileşen içeren tıbbi ve aromatik bir bitkidir (Aljabre, Alakloby ve Randhawa, 2015; Ghahramanloo vd., 2017). Tarihsel kayıtlara göre kullanımı 1400 yıl öncesine dayanan İslam tıbbında ölüm ve yaşlanma hariç tüm hastalıklar için çare olduğuna inanılan bu bitki İncil ve diğer dini kaynaklarda da önerilmiştir (Tembhurne, Feroz, More ve Sakarkar, 2011). Tohumları antik Mısır ve Yunan hekimlerce baş ve diş ağrısı, burun tıkanıklığı, menstrüasyon düzenleyici ve süt artırıcı olarak reçetelerine yazıldığı bilinmektedir. Ayrıca Orta Doğu, Uzak Doğu ve Bazı Asya ülkelerinin halk hekimliğinde baş ağrısı, sırt ağrısı, dizanteri, gaz giderici, mide-bağırsak problemleri, hipertansiyon gibi hastalıklarda kullanılmaktadır (Çakmakçı ve Çakır, 2011). Çörekotunun hem tohumu hem de yağı mantar hastalığında kullanılmakta, zehirlenme durumunda antitod olarak idrar ve böbrek hastalıklarında diüretik etkisinden faydalanılmaktadır (Al-Ghamdi; 2003; Kumar, Negi ve Sankar, 2010).

Dereotu (*Anethum graveolens* L.): Apiaceae familyası içinde yer alan uçucu yağının ana etken maddesi carvone, limonene olan (Chahal, Kumar, Bhardwaj ve Kaur, 2017) ve tohumlarından hazırlanan çay veya taze yapraklarının tüketilmesi şeklinde kullanılan dereotu (Jana ve Shekhawat, 2010), bebeklerde veya küçük çocuklarda gaz sancısını gidermek için kullanılmaktadır (Pulliah, 2002). Ayrıca iştahı artırmakta ve sindirime de yardımcı olmakta, emziren annelerde laktasyon süresini de uzatmaktadır (Nair ve Chanda, 2007). Baytop (1984) dereotu'nun diyabet hastalığı tedavisinde kullanıldığını, ağız kokusunu giderdiğini de belirtmiştir.

Ebegümece (*Malva sylvestris* L.): Ebegümecigiller (Malvaceae) familyasında yer alan ebegümece bitkisi müsilaj, glikoz ve pektin içermekte (Baytop, 1984) yüzyıllardır geleneksel tıpta çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Razavi, Zarrini, Molavi ve Ghasemi, 2011). Halk tıbbında bitkinin çiçeklerinin kesikler, egzama, enfeksiyonlu yaralar, bronşit, sindirim sorunları ve iltihaplar için kullanıldığı bildirilmektedir (Pirbalouti, Yousefi, Heshmetollah, Karimi ve Koohpayeh, 2009). El-Saber Batiha et al. (2023) ve Ferreira, Proenca, Serralheiro ve Araujo (2006) bitkinin öksürük, soğuk algınlığı, ishal, sistit, dizanteri, hipertansiyon ve cilt hastalıkları gibi çeşitli rahatsızlıkları tedavi etmek için kullanıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca boğaz ağrısı, diş ve ağız içinde gelişen iltihaplarda gargara yapılarak kullanılmaktadır (Baytop, 1984).

İhlamur (*Tilia cordata* Mill.): Tiliaceae ailesinden *Tilia* cinsini oluşturan ağaç türlerinin ortak adı olan ihlamur, çiçeklerinin demlenmesi ile tüketilmektedir (Cittan, Altuntaş ve Çelik, 2018). Bileşiminde yer alan hidrokarbonlar, esterler, terpenoidler, fenolik bileşikler, tanenler ve uçucu yağlar gibi metabolitler içermekte halk hekimliğinde kaygı ve uyku bozukluklarında yatıştırıcı olarak, idrar söktürücü, terletici hipertansiyon ve soğuk algınlığına bağlı öksürük tedavisinde kullanılmaktadır (Delnavazi, Shahabi ve Yassa, 2015).

Isırgan (*Urtica dioica* L.): Urticaceae familyasından olup otsu, çok yıllık bir bitki olan ısırgan bitkisi (Grauso, de Falco, Lanzotti ve Motti, 2020) tarihi kayıtlara göre Antik Yunan döneminden itibaren tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Taheri vd., 2022). Bitkinin tamamı flavonoidler, fenolik asitler, tanenler, kumarinler, terpenoidler ile karotenoidler içermektedir. Kurutulularak infüzyon şeklinde tüketilen ısırgan yapraklarının soğuk algınlığı, dispepsi, yüksek tansiyon gibi rahatsızlıklara iyi geldiği (Öztürk ve Öztürk, 2024) kanser, astım, bronşit, vücut direncini artırıcı olarak ve romatizma gibi hastalıklarda da kullanıldığı kayıt altına alınmıştır (Erşen Bak ve Çifci, 2020). Ayrıca romatizma, siyatik, astım, öksürük, saç dökülmesi, adet kanaması, anemi gibi çok farklı rahatsızlıkların tedavisine destek olmak için ısırganın kullanıldığı bildirilmektedir (Kregiel, Pawlikowska ve Antolak, 2018). İdrar söktürücü ve “kanı temizleyici” etkisi nedeniyle de özellikle böbrek ve mesane problemleri ile romatizmal hastalıklarda halk hekimliğinde önemli bir yer

tutmuştur. Anadolu dahil birçok coğrafyada ısırgan yaprakları ve kökleri; diyabet, diyare, egzama, ateş, gut, basur, burun kanaması, iskorbüt, böcek ve yılan sokmaları gibi durumlara çare olarak halk arasında yaygın biçimde tüketilmektedir (Taheri vd., 2022).

Karanfil (*Syzygium aromaticum* L.): Karanfil (*Syzygium aromaticum* (L.) Merril. & Perry, syn. *Eugenia aromaticum* veya *Eugenia caryophyllata*) Doğu'nun en eski ve değerli baharatlarından biridir. Myrtaceae ailesinin bir üyesi olan karanfilin tıbbi olarak kullanılan kısmı kurutulmuş çiçek tomurcuklarıdır. Karanfil tomurcukları %15-20 oranında uçucu yağ içermekte eugenol, eugenyl acetate, β -caryophyllene ana bileşenler olmaktadır (Mittal, Gupta, Parashar, Mehra ve Khatri, 2014). Karanfil uçucu yağı geleneksel olarak yanık ve yaraların tedavisinde ve diş bakımında ağrı kesici olarak ayrıca diş enfeksiyonlarını ve diş ağrısını tedavi etmek için kullanılmaktadır (Asuti, Listyowati ve Wahyuni, 2019). Bunlara ek olarak yüzyıllar boyunca kusma, şişkinlik, mide bulantısı, karaciğer, bağırsak ve mide rahatsızlıklarının tedavisinde ve sinirler için bir uyarıcı olarak faydalanılmıştır (Bhowmik vd., 2012). Karanfilden elde edilen eugenol diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Martínez-Herrera vd., 2016).

Kekik: Lamiaceae familyasına ait olan kekik bitkisi *Thymus*, *Origanum*, *Satureja* ve *Thymbra* cinsleri içinde yer almakta (Baydar, 2022), ülkemizde uçucu yağında ana bileşen olarak carvacrol veya thymol içeren bitkiler ise kekik olarak kabul edilmektedir (Başer, 2022). Anadolu'da popüler bir çay olan kekik çayının carvacrol bakımından zengin olanları dahilen özellikle mide yanması olmak üzere mide rahatsızlıklarında, kanda glikoz ve kolesterolün düşürülmesinde haricen olarak da yağı romatizma ağrılarının azaltılmasında, çürük dişlerde antiseptik ve analjezik amaçla, açık yaraların iyileşmesinde, ağız yaraları ve diş eti iltihaplarında kullanılmaktadır (Başer, 2022). Benli ve Yiğit (2005) yaptıkları çalışmalarında kekik halk hekimliğinde kramp giderici, çay ve gargara olarak balgam söktürücü, öksürük ve üst solunum yolları iltihabında, zayıf ve güçsüz çocukların ise kekik banyosu yaptırıldığını belirtmişlerdir.

Kimyon (*Cuminum cyminum* L.): Apiaceae familyasına ait olan kimyon bitkisi alkaloidler, flavonoidler, terpenoidler vb. bileşenleri ihtiva etmektedir (Singh, Singh, Kumar ve Narashiman, 2021). Bitki tohumlarının dekoksasyon şeklinde tüketilmesinin gaz ve spazmlara iyi geldiği, ancak düşüğe sebep olduğu ve idrar söktürücü olduğu vurgulanmıştır (Mnif ve Aifa, 2015; Tahir, Sarfraz, Ashraf ve Adil, 2016) yine geleneksel tıpta, mide ağrısı, hazımsızlık, şişkinlik, ses kısıklığı, diş ağrısı, hipertansiyon, akrep ve arı sokmaları, kilo kaybı, sarılık, ishal vb. hastalıklar için önerilmektedir (Mnif ve Aifa, 2015; Al-Snafi, 2016; Siow ve Gan, 2016; Taghizadeh vd., 2016). Baş ağrısında macun şeklinde alına uygulandığı, romatizmal hastalıklar için ise ağızdan alındığı bildirilmiştir (Al-Snafi, 2016). Hint halk tıbbında uykusuzluğa, soğuk algınlığına, yüksek ateşe karşı kullanıldığı kayıt altına alınmıştır (Mnif ve Aifa, 2015).

Kudret narı (*Momordica charantia* L.): Cucurbitaceae familyasında yer alan kudret narı (Tan, Kha, Parks ve Roach, 2016), vitaminler, flavonoidler, saponinler, peptidler ve alkoloidler içermektedir (Krawinkel ve Keding, 2006). Meyveleri ve yaprakları kullanılan bu bitki halk tıbbında, antidiyabetik, düşük yapmak için, doğum kontrol için, anne sütünü artırmak için, gut, sarılık, böbrekteki taş rahatsızlıklarında, müshil, sedef hastalığı, romatizma, ateş ve uyuz hastalıklarında kullanılmaktadır (Baldemir, Ekinci, İlgin, Dalda ve Yetişir, 2018). Türk halk tıbbında ise meyve özleri yaralar üzerine konularak ve özellikle peptik ülserle karşı dahili olarak kullanılmaktadır (İlhan vd., 2015).

Kuşburnu (*Rosa canina* L.): Rosacea (Gülgiller) familyasının bir üyesi olan kuşburnu bitkisinin (Selahvarzian, Alizadeh, Baharvand, Eldahshan ve Rasoulion, 2018) meyveleri fitonutrientler, şekerler, organik asitler, pektinler, flavonoidler, tanenler ve karotenoidler içermektedir. Geleneksel tıpta kurutulmuş meyvelerinden (2-5 gr) hazırlanan çay vücudu enfeksiyonlara karşı korumak için kullanılmakta ayrıca grip, ishal, gastrit, öksürük, vajina ve idrar yolu enfeksiyonları için de iyi geldiği bildirilmektedir. İbni-Sina tarafından hazırlanan Avicenna kitabında bitkinin meyvelerinin baş ağrısına iyi geldiği belirtilmiş ve bazı sinirsel rahatsızlıkları tedavi etmek için önerilmiştir (Khazaei, Khazaei, Pazhouhi, 2020). Hipokrat döneminde iltihapları tedavi etmek için Ortaçağ da dahil olmak üzere sonraki çağlarda kan tükürmeyi, dış

eti kanamalarını tedavi etmek, böbrek taşı dökme, tenya ve yılanlık hastalığının tedavisinde kullanıldığı da rapor edilmiştir (Akyürek ve Zeybek, 2023).

Küsküt (*Cuscuta* spp.): Cuscutaceae familyasına bağlı olan klorofil içermeyen ve tamamen parazit bir yaşam döngüsüne sahip olan bu bitki (Yazlık ve Albayrak, 2020) dulsitol, mannitol, sitosterol, karatonoidler, flavonoidler içermekte (Kumari, Tiwari ve Choudhart, 2017) ve Türkiye’de sadece Mardin yöresinde infüzyon veya maserasyon şeklinde karaciğer problemleri, diz ağrıları için kullanılmaktadır (Şekeroğlu, Koca ve Meraler, 2012).

Maydanoz (*Petroselinum crispum* (Mill.): Apiaceae familyası içinde bulunan (Subaş, Özgen, Gökkaya ve Renda, 2024) maydanoz bitkisinin yaprakları ve sapları quercetin, apiol, myristicin ve luteolin gibi flavanoidleri içermekte (Lai-Har Tang, Rajarajeswaran, Fung ve Kanthimathi, 2015) çiğ, infüzyon ve dekoksasyon olarak tüketilerek böbrekler, karaciğer, idrar yolu enfeksiyonlarında ağız kokusunun giderilmesinde kullanılmaktadır (Baytop, 1984). Ayrıca yüksek tansiyon (Kharchoufa vd., 2021), karaciğer yağlanması, kolesterol, böbrek taşı, mide rahatsızlığı, safra kesesi rahatsızlığı, böbrek rahatsızlığı, göz hastalıkları, iştahsızlık, iltihap giderici, idrar ve balgam söktürücü olarak da kullanıldığı bildirilmiştir (Karaköse, 2022).

Meyankökü (*Glycyrrhiza glabra* L.): Fabaceae ailesinin bir üyesi olan meyan kökü (Pastorino, Cornara, Soares, Rodrigues ve Oliveira, 2018), glisirhizin, flavonoidler, saponoitler, steroller, nişastalar, amino asitler, zamlar ve uçucu yağlar gibi çeşitli biyoaktif bileşikler içermektedir (Jiang, Zhang, True, Zhou ve Xiong, 2013). Kullanımı antik dönem öncesine dayanmakta geleneksel Çin tıbbında sindirim sistemi hastalıklarında, öksürük, bronşit ve arttır için önerilmekte, diğer halk hekimliklerinde de gastrit, peptik ülser, solunum yolu enfeksiyonları, titremeler, tüberküloz, karaciğer hastalıkları ve kurutulmuş köklerinden de diş temizliğinde hala yaygın olarak faydalanılmaktadır (Armanini, Fiore, Mattarello, Bielenberg ve Palermo, 2002; Wahab vd., 2021).

Oğulotu (*Melissa officinalis* L): Lamiaceae familyasında bulunan uçucu yağının ana bileşenleri geranial, neral, citronellal ve geraniol olan *M.*

officinalis L. tıbbi olarak kullanımı 2000 yıl öncesine dayanmaktadır. Farmakolojinin babası Dioscorides kaynatılmış yapraklarının akrep, örümcek ve köpek ısırığına olan bölgeye uygulanmasının iyi olacağını belirtmiş, dizanteri, mantar zehirlenmesinden kaynaklanan boğulma, bağırsak ülseri, grip ve diş ağrısına karşı da önermiştir. Ortaçağda ise bitki kanamayı durdurmak, diş ve kulak ağrıları, sabah bulantısı ve kelliği tedavi etmek için kullanılmıştır (Shakeri et al., 2016). Blumenthal ve ark., (2000)'da bu bitkinin terlemeyi artırdığı, stres kaynaklı baş ağrısını hafiflettiği, herpes simpleks'in sebep olduğu uçukların iyileşmesini hızlandırdığını belirtmiştir.

Papatya (*Matricaria chamomilla* L.): Asteraceae familyasına dahil olan papatya bitkisi (*Matricaria recutita* L., *Chamomilla recutita* L., *Matricaria chamomilla* L.) Dünyada çayı en fazla tüketilen bitkilerden biridir. Kurutulmuş çiçeklerinden demlenen papatya çayı, geleneksel olarak tıbbi amaçlar için kullanılmıştır. Bitki ekstraktının ana bileşenleri flavanoidler (apigenin, kuersetin, patuletin, luteolin) ve terpenoidler (α -bisabolol, azulen)'dir (McKay ve Blumberg, 2006a). Tarih boyunca geleneksel tıpta yağları ve çayları yaralar, romatizmal ağrılar, adet krampları, göz ve kulak enfeksiyonları, hazımsızlık, şişkinlik, ishal, iştahsızlık, mide bulantısı ve kusma gibi çeşitli gastrointestinal bozukluklar ve solunum yolu hastalıkları da dahil olmak üzere çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmıştır (Srivastava ve ark. 2010; El-Joumaa et al., 2022). Çay şeklinde tüketiminin kaygı ve uykusuzluğa karşı iyi geldiği, sakinleştirici olarak kullanıldığı da bildirilmiştir (Srivastava ve ark. 2010).

Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.): Umbelliferae familyasına ait olan rezene, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü alanlarda yetiştiriciliği yapılan tıbbi ve aromatik özelliğe sahip bir bitkidir (Şanlı vd., 2008). Başlıca etken maddeleri trans-anethol, anisaldehit, estragol, α fenkon ve limonen (Gedik vd., 2019) olup tıbbi olarak meyveleri kullanılmaktadır (Baydar, 2022). Çay olarak tüketilen rezene sindirim sistemini uyarıcı etkisi ile besinlerin sindirilebilirliğini artırarak hazmı kolaylaştırmakta, bebeklerin gaz sancılarının giderilmesinde yaygın olarak tercih edilmekte ayrıca solunum yolu hastalıklarının tedavisinde de sıklıkla başvurulmaktadır (Esquivel-Ferriño et al., 2012; Doğan 2020). Ayrıca rezene meyvelerinden yapılan çayların süt veren annelerinin emzirme süresini uzattığı da bilinmektedir (Baydar, 2007).

Sarımsak (*Allium sativum* L.): Alliaceae familyası içinde yer alan (Londhe et al. 2011) ve tıbbi bakımdan binlerce yıldır kullanılan sarımsak, Orta Çağ döneminde kolera, veba gibi salgın hastalıklar için kullanılmıştır. Bu hastalıklardan korunmak için hekimler, yüzlerine taktıkları maskeyi sarımsaktan elde edilen usare ile ıslatmışlardır. İkinci Dünya savaşı sırasında da yaralanan Rus askerlerinin yaralarındaki enfeksiyonu önlemek için ezilen sarımsak yara üzerine konulmuş ayrıca Afrika kıtasında amipin sebep olduğu dizanteriyi tedavi etmek için kullanılmıştır (Ayaz ve Alpsoy, 2007).

Sinirli ot (*Plantago lanceolata* / *Plantago major*): Plantaginaceae ailesinden olan. *P. lanceolata* ve *P. major* Türkiye’de en yaygın bulunan türler olup (Akbalık vd., 2021), *Plantago major*, flavonoidler, polisakkaritler, terpenoidler, lipidler, iridoid glikozitler ve kafeik asit türevleri gibi çeşitli aktif bileşenleri içermektedir (Najafian et al., 2018).

Anadolu halk hekimliğinde yara, çıban ve sivilceler için haricen, kanser, diyabet, idrar yolu enfeksiyonlarında, soğuk algınlığı ve viral enfeksiyonlarında ise çay şeklinde tüketilmektedir (Akbalık vd., 2021). Halk tıbbında çıban olgunlaştırma, yara tedavisinin yanı sıra öksürük, soğuk algınlığı, verem, hemoroit, bronşit gibi rahatsızlıklarda kullanılmakta olduğu tespit edilmiştir (Tanrıku, 2024). İran halk tıbbında ise bu bitkiler yaraları, bulaşıcı hastalıkları, sindirim ve solunum problemlerini, ateşi, ağrıyı, dermatiti ve tümörleri tedavi etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca *Plantago* türleri yanıklarında, ülserlerde ve göz hastalıklarında, iltihap giderici, ateş düşürücü, öksürük kesici ve yılan ısırıkları için müshil olarak da kullanılmaktadır (Haghighi et al., 2022).

Tarçın (*Cinnamomum zeylanicum*): Seylan tarçını veya gerçek tarçın olarak da bilinen *Cinnamomum zeylanicum* Lauraceae familyası içinde yer alan uçucu yağı trans-cinnamaldehyde, eugenol ve linalool içeren tıbbi ve aromatik bir bitkidir (Ranasinghe et al., 2013; Pathak ve Sharma, 2021). Ayurveda tıbbında kusmayı önleyici, ishal / gaz giderici, uyarıcı olarak (Pathak and Sharma, 2021), balgam söktürücü, tüberküloz, romatizma tedavisinde ve kolestrolü düşürmek için faydalanılmaktadır (Thakur et al., 2021).

Tıbbi Nane (*Mentha piperita* L.): Lamiaceae familyası içinde yer alan nane ve dünya çapında çay olarak çok yaygın bir şekilde tüketilen tıbbi nane (*Mentha piperita* L.) 'nin (Trevisan et al., 2017) bileşiminde flavonoidler (rosmarinic acid, eriocitrin, luteolin ve hesperidin) ve uçucu yağ (menthol, menthon) (McKay and Blumberg, 2006b) bulunmaktadır. Nane'nin halk ilacı veya tamamlayıcı ve alternatif tıbbi tedavi olarak kullanım alanları; safra bozuklukları, hazımsızlık, şişkinlik, gastrit, bağırsak kolik ve safra kanalı, safra kesesi ve gastrointestinal sistem spazmlarıdır (McKay and Blumberg, 2006b). İşcan et al. (2002) ve Trevisan et al. (2017) soğuk algınlığı, ağz, yutak, karaciğer iltihabı ve mide bulantısı, kusma, iştahsızlık, ishal, kramplar, şişkinlik, terletici, ağrı kesici ve hazımsızlık gibi gastrointestinal sistem bozukluklarında ayrıca yine İşcan et al. (2002), uçucu yağının haricen kaşıntı giderici, büzücü, kızarıklık giderici, antiseptik ve antimikrobiyal amaçlarla ve nevroalji, miyalji, baş ağrısı ve migren tedavisinde kullanıldığını rapor etmiştir.

Zencefil (*Zingiber officinale*): Zingiberaceae familyasında yer alan zencefil bitkisi, antik çağlardan beri hem baharat hem de tıbbi olarak kullanılan en popüler baharatlardan biridir (Uysal Bayar, 2020). Zencefilin içerdiği Fe, Mg, Ca, C vitamini, flavonoidler, fenolik bileşikler (gingerdol, gingerol, gingerdione ve shogaoller), seskiterpenler, paradoller gibi bileşenler ile kusma, ağrı, kramp, soğuk algınlığı semptomları, ateş, kabızlık, hazımsızlık dahil olmak üzere çeşitli semptomları tedavi etmek için bitkisel ilaç olarak kullanılmaktadır (Shahrajabian et al., 2019).

SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, zengin fitokimyasal çeşitlilikleri sayesinde halk hekimliğinin vazgeçilmez unsurları olarak varlığını sürdürmektedir. Yapılan çalışmalar, bu bitkisel kaynakların çok sayıda biyoaktif bileşik içerdiğini ve bu bileşiklerin çoğunlukla bir arada bulunup birden fazla terapötik etki gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Nitekim tek bir bitki türü dahi aynı anda antienflamatuvar, antibakteriyel, antifungal ve antiviral etki gibi pek çok farklı farmakolojik etki sergileyebilecek kompleks bir kimyasal bileşime sahip olabilmektedir. Bu çeşitlilik ve bileşen zenginliği, söz konusu bitkilerin yüzyıllardır çeşitli kültürlerde geniş bir geleneksel kullanım alanı bulmasına zemin hazırlamıştır. Bu geniş halk tabanlı deneyim ve bitkisel tedavilerin gözlenen yararları ışığında, geleneksel bilginin modern tıp ile biraraya

getirilebilme potansiyeli önemli bir araştırma ve uygulama alanı haline gelmiştir. Ancak geleneksel kullanımların bilimsel olarak doğrulanması ve bu bitkilerin etkinliğinin bilimsel doğrulama süzgecinden geçirilmesi gereği devam etmektedir. Her ne kadar bazı halk hekimliği uygulamaları modern farmakolojik çalışmalarla desteklenmiş ve gözlenen etkiler belirli bitkisel etken maddeler ile ilişkilendirilmişse de, pek çok tıbbi bitki ve kullanım alanı için halen kapsamlı bilimsel kanıtların yetersiz olduğu bilinmektedir. Bu durum, geleneksel bilgiler ile kanıta dayalı tıp arasında bir köprü kurulabilmesi için daha çok laboratuvar ve klinik araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, halk hekimliğinde yaygın biçimde kullanılan bu bitkilerin etkinlik ve güvenlik açısından titizlikle araştırılması, hem geleneksel bilgilerinin bilimsel geçerliliğe kavuşturulması hem de modern tıbbın ilaç geliştirme süreçlerine katkı sağlanması bakımından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbalık, C., Kireççi, O. A., Fırat, M., Şahin, İ. H. ve Çelikezen, F. Ç. (2021). Bitlis yöresinde yetişen *Plantago lanceolata* (Yılan Otu) bitkisinin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin araştırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10, 287-295.
- Akyürek, S. ve Zeybek, H. İ. (2023). Gümüşhane ilinde gastronomik bir değer olarak Kuşburnu üzerine bir değerlendirme. *Çatalhöyük Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (CUTSAD)*, 10, 42-59.
- Al-Ghamdi, M. S. (2003). Protective effect of *Nigella sativa* seeds against carbon tetrachloride-induced liver damage. *The American Journal of Chinese Medicine*, 31, 721-728.
- Ali, S. İ., Gopalakrishnan, B. ve Venkatesalu, V. (2017). Pharmacognosy, phytochemistry and pharmacological properties of *Achillea millefolium* L.: A review. *Phytother. Res.*, 31, 1140–1161.
- Aljabre, S. H. M., Alakloby, O. M. ve Randhawa, M. A. (2015). Dermatological effects of *Nigella sativa*. *Journal of Dermatology & Dermatologic Surgery*, 19, 92-98.
- Al-Snafi, A. E. (2015). Chemical constituents and pharmacological importance of *Agropyron repens* – A review. *Research Journal of Pharmacology and Toxicology* 01, 37-41.
- Al-Snafi, A. E. (2016). The pharmacological activities of *Cuminum cyminum*-a review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 6, 46–65.
- Armanini, D., Fiore, C., Mattarello, M. J., Bielenberg, J. ve Palermo, M. (2002). History of the endocrine effects of licorice. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, 110, 257–261.
- Asuti, R. I., Listyowati, S. ve Wahyuni, W. T., (2019). Life span extension of model yeast *Saccharomyces cerevisiae* upon ethanol derived-clover bud extract treatment. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 299, 012059.
- Ayaz, E. ve Alpsoy, H. C. (2007). Sarımsak (*Allium sativum*) ve geleneksel tedavide kullanımı. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 31, 145-149.
- Bahtiyarca Bağdat, R. (2006). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları, tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) ve ülkemizde kekik adıyla bilinen

- türlerin yetiştirme teknikleri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15, 19-28.
- Baldemir, A., Ekinci, K., İlğün, S., Dalda, A. ve Yetişir, H. (2018). *Momordica charantia* L. (Kudret narı) meyvelerinin toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan kapasitelerinin değerlendirilmesi. *Derim*, 35, 45-50.
- Başer, K. H. C., Demirci, B., Demirci, F., Koçak, S., Akıncı, Ç., Malyer, H. ve Güleriyüz, G. (2002). Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Acillea multifida*. *Planta Med.*, 68, 941–943.
- Başer, H. C. (2022). Kekik. *Türkiye Tabiatını Koruma Derneği Tabiat ve İnsan Dergisi*, 1, 16-31.
- Başkaya, Ş., Ayanoglu, F. ve Bahadırılı, N. P. (2016). Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) bitkisinin uçucu yağ oranı, uçucu yağ bileşenleri ve antioksidan içeriğinde morfojenetik ve ontogenetik varyabilite. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21, 12-20.
- Başığit, M. ve Baydar, H. (2017). Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.)’nda farklı hasat zamanlarının uçucu yağ ve fenolik bileşikler ile antioksidan aktivite üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 131-137.
- Baydar, H. (2007). *Tıbbi, aromatik ve keyf bitkileri bilimi ve teknolojisi*. Isparta: SDÜ Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Baydar, H. (2022). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve Teknolojisi*. Ankara: Nobel Yayınevi Genişletilmiş 10. Basım.
- Baytop T. (1984). *Türkiye’de Bitkilerle Tedavi*. Ankara: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Benedek, B., Geisz, N., Jager, W., Thalhammer, T. ve Kopp, B. (2006). Choleric effects of yarrow (*Achillea millefolium*) in the isolated perfused rat liver. *Phytomedicine*, 13, 702–706.
- Benli, M. ve Yiğit, N. (2005). Ülkemizde yaygın kullanımı olan Kekik (*Thymus vulgaris*) bitkisinin antimikrobiyal aktivitesi. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 3, 1-8.
- Benyaich, A. ve Aksissou, M. (2024). The Pharmacological and nutritional properties of *Rosmarinus officinalis*: A comprehensive review. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8, 8945-8954.

- Bhowmik, D., Kumar, K. S., Yadav, A., Srivastava, S., Paswan, S. ve Dutta, A. S. (2012). Recent trends in Indian traditional herbs *Syzygium aromaticum* and its health benefits. *J. Pharmac. Phytochem.*, 1, 13–23.
- Blumenthal M., Goldberg A. ve Brinckmann J. (2000). Herbal medicine-expanded commission E monographs. Newton, MA: *Integrative Medicine Communications*, 123, 230-232.
- Boztaş, G. ve Bayram, E.,(2020). Geliştirilmiş anason hatlarında verim ve kaliteyi etkileyen agronomik morfolojik ve fizyolojik farklılıkların belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35, 55-74.
- Çakmakçı, S. ve Çakır, Y. (2011). Çörekotu (*Nigella sativa* L.): bileşimi, gıda sanayinde kullanımı ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 9, 61-69.
- Carneiro, D. M., Jardim, T. V., Araujo, Y. C. L., Arantes, A. C., Sousa, A. C., Barraso, W. K. S., Sousa, A. L. L., da Cunha, L. C., Cardoso Cirilo, H. N., Freitas Bara, M. T.ve Jardim, P. C. B. V. (2019). *Equisetum arvense*: New evidences supports medical use in daily clinic. *Pharmacogn Rev.*, 13, 50-58.
- Cavalcanti, A. M., Hatsuko Baggio, C., Setim Freitas, C., Rieck, L., Silva de Sousa, R. ve Da Silva-Santos, J. E. (2006). Safety and antiulcer efficacy studies of *Achillea millefolium* L. after chronic treatment in Wistar rats. *Journal of Ethnopharmacology* 107, 277–284.
- Chahal, K. K., Kumar, M. A., Bhardwaj, U. ve Kaur, R. (2017). Chemistry and biological activities of *Anethum graveolens* L. (dill) essential oil: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 295-306.
- Cittan, M., Altuntaş, E. ve Çelik, A. (2018). Evaluation of antioxidant capacities and phenolic profiles in *Tilia cordata* fruit extracts: A comparative study to determine the efficiency of traditional hot water infusion method. *Industrial Crops & Products*, 122, 553–558.
- Delnavazi, M. R, Shahabi, M. ve Yassa N. (2015). Flavonoids from the leaves of Iranian linden; *Tilia rubra* Subsp. *caucasica*. *Research Journal of Pharmacognosy*. 2, 17-22.
- Demirtaş, N. ve Demirtaş, M. H. (2021). Tıbbi ve aromatik bitkilerin ekoturizm açısından değerlendirilmesi: Çakşır (*Ferula meifolia*) Örneği. *Turizm Çalışmaları Dergisi*, 3, 31-42.

- Deveci, E., Tel Cayan, G., Karakurt, S. ve Duru, M. E. (2020). Antioxidant, cytotoxic, and enzyme inhibitory activities of *Agropyron repens* and *Crataegus monogyna* species. *Eur. J. Biol.*, 79, 98-105.
- Doğan, H. (2020). Bazı anason (*Pimpinella anisum* L.) ve tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) populasyonlarının uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 2235-2241.
- Duke J.A. (2000). *Handbook of medicinal herbs*. Florida, CRC Press.
- El-Joumaa, M. M. ve Borjac, J. M. (2022). *Matricaria chamomilla*: A valuable insight into recent advances in medicinal uses and pharmacological activities. *Phytochem Rev.*, 21, 1913–1940.
- El-Saber Batiha, G., Tambo Tene, S., Teibo, J. O., Shahan, H. M., Oluwatoba, O. S., Teibo, T. K. A., Al-kuraishy, H. M., Al-Garbee, A. I., Alexiou, A. ve Papadakis, M. (2023). The phytochemical profiling, pharmacological activities, and safety of *Malva sylvestris*: a review. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 396, 421–440.
- Erşen Bak, F. ve Çifci, K. (2020). Artvin'in merkez köylerinde bazı tıbbi bitkilerin yöresel kullanımları. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21, 318-329.
- Esquivel-Ferriño, P. C., Favela-Hernández, J. M. J., Garza- González, E., Waksman, N., Ríos, M.Y. ve Camacho-Corona, M. R. (2012). Antimycobacterial activity of constituents from *Foeniculum vulgare* var. *dulce* grown in Mexico. *Molecules*, 17, 8471-8482.
- Ferreira, A., Proenca, C., Serralheiro, M. L. M. ve Araujo, M. E. M. (2006) The in vitro screening of acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of medicinal plants from Portugal. *Journal of Ethnopharmacology*, 108, 31-37.
- Gedik, O., Uslu, Ö. S., Kılılı, F., Kaya, A. R., Erol, A., Karataylı, K. ve Özyılmaz, B. (2009). Altı farklı Rezene (*Foeniculum vulgare* Miller) popülasyonu üzerine karyolojik araştırmalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 914-920.
- Ghahramanloo, K., Kamalidehghan, B., Akbari Javar, H., Teguh Widodo, R., Majidzadeh, K. ve Noordin, M. I. (2017). Comparative analysis of essential oil composition of Iranian and Indian *Nigella sativa* L. extracted

- using supercritical fluid extraction and solvent extraction. *Drug Des. Devel. Ther.*, 11, 2221–2226.
- Göktaş, Ö. ve Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 136-142.
- Grauso, L., de Falco, B., Lanzotti, V. ve Motti, R. (2020). Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochem Rev.*, 19, 1341–1377.
- Grzelak, M. ve Gawel, E. (2019). Floristic composition, nature value and productivity of the community with couch grass (*Agropyron repens* = *Elymus repens* (L.) P. Beauv.). *Polish Journal of Agronomy*, 38, 26–30.
- Haghighi, S. R., Yazdinezhad, A., Bagheri, K. ve Sharaf, A. (2022). Volatile constituents and toxicity of essential oils extracted from aerial parts of *Plantago lanceolata* and *Plantago major* growing in Iran. *Pharmaceutical and Biomedical Research*. 8, 205-224.
- Hajyzadeh, M., Yıldırım, M. U., Karagöz, İ. ve Sarıhan, E. O. (2017). Farklı yaşlardaki anason (*Pimpinella anisum* L.) tohumlarının çimlenmesine Gibberellik Asitin (GA3) etkisi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 20 (Özel Sayı), 332-336.
- Hasan, T. A. H., Erzaq, Z. S., Khalaf, T. M. ve Mustafa, M. A. (2020). Effect of *Equisetum arvense* phenolic extract in treatment of entamoeba histolytica infection. *Syst. Rev. Pharm.* 11, 618–620.
- Heinrich, M., Kufer, J., Leonti, M. ve Pardo-de-Santayana, M. (2006). Ethnobotany and ethnopharmacology-interdisciplinary links with the historical sciences. *J. Ethnopharmacol*, 107,157-160.
- İlhan, M., Bolat, İ. E., Süntar, İ., Kutluay Köklü, H., Uğar Çankal, D. A., Keleş, H. ve Akkol, E.K. (2015). Tropical application of olive oil macerate of *Momordica charantia* L. promotes healing of excisional and incisional wounds in rat buccal mucosa. *Archives of Oral Biology*., 60, 1708-1713.
- İşcan, G., Kırimer, N., Kürkcüoğlu, M., Başer, K. H. C. ve Demirci, F. (2002). Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3943-3946.
- Jana, S. ve Shekhawat, G. S. (2010). *Anethum graveolens*: An Indian traditional medicinal herb and spice. *Pharmacognosy Reviews*, 4, 179-184.

- Jenabi, E. ve Fereidoony, B. (2015). Effect of *Achillea millefolium* on relief of primary dysmenorrhea: a double-blind randomized clinical trial. *J. Pediatr Adolesc. Gynecol.*, 28, 402–404.
- Jiang, J., Zhang, X., True, A. D., Zhou, L., ve Xiong, Y.L., (2013). Inhibition of lipid oxidation and rancidity in precooked pork patties by radical-scavenging Licorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Journal of Food Science*, 78, 1686-1694.
- Karaköse, M. (2022). An ethnobotanical study of medicinal plants in Güce district, North-eastern Turkey. *Plant Diversity*, 44, 577-597.
- Karaman, E. E. ve Sezgin, A. C. (2022). Çaşır (*Ferula orientalis* L.) bitkisi ve yöresel mutfaklarda kullanımı. *Journal of Interdisciplinary Food Studies* 2, 51-61.
- Karaoğlu, E. S., Köseoğlu Şengül, M., Öztürk, M. ve Kaya, G. (2018). Erzurum’da yetişen ve halk arasında tıbbi önemi olan bazı bitki türleri. *Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 8, 224-239.
- Kardaş, C. (2019). Muş’ta yabani bitkilerin halk hekimliğinde kullanılması. *Lokman Hekim Dergisi*, 9, 85-96.
- Kayran, S. D. ve Kırıcı, S. (2019). Adana (Türkiye) aktarlarında tedavi amacıyla kullanılan bitkisel droglar. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22, 183-192.
- Kharchoufa, L., Bouhrim, M., Bencheikh, N., Addi, M., Hano, C., Mechchate, H. ve Elachouri, M. (2021). Potential toxicity of medicinal plants inventoried in Northeastern Morocco: An ethnobotanical approach. *Plants*, 10, 1-21.
- Khazaei, M., Khazaei, M. R. ve Pazhouhi, M. (2020). An Overview of Therapeutic Potentials of *Rosa canina*: A Traditionally valuable herb. *World Cancer Research Journal*, WCRJ 2020; 7: e1580.
- Kırpık, M. (2005). Çukurova bölgesi kıraç ve taban arazi koşullarında yetiştirilen Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) çeşitlerinin verim ve Kalitesi üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Adana: Tarla Bitkileri Anabilim.
- Krawinkel, M. B. ve Keding, G. B. (2006). Bitter gourd (*Momordica charantia*): A dietary approach to hyperglycemia. *Nutr. Rev.*, 64, 331–337.

- Kregiel, D., Pawlikowska, E. ve Antolak, H. (2018). *Urtica* spp.: Ordinary plants with extraordinary properties, *Molecules*, 23, 1-21.
- Kumar, S., Negi, P. S., Sankar, U. (2010). Antibacterial activity of *Nigella sativa* L. seed extracts. *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 1, 96-100.
- Kumari, P., Tiwari, S. K. ve Choudhart, A. K., (2017). ChoudharyHost range, anatomy, biochemistry and impacts of *Cuscuta reflexa* Roxb.: A case study from the Betla National Park. *Jharkhand, India. Tropical Plant Research*, 4-95-102.
- Lai-Har Tang, E., Rajarajeswaran, J., Fung, S. Y. ve Kanthimathi, M. S. (2015). *Petroselinum crispum* has antioxidant properties, protects against DNA damage and inhibits proliferation and migration of cancer cells. *J. Sci. Food Agric.*, 95, 2763–2771.
- Londhe V. P., Gavasane A. T., Nipate S.S., Bandawane D. D. ve Chaudhari P. D. (2011). Role of Garlic (*Allium sativum*) in various diseases: An overview. *Journal of Pharmaceutical Research and Opinion* 1, 129 – 134.
- Luanda, A., Ripanda, A. ve Makangara, J. J. (2023). Therapeutic potential of *Equisetum arvense* L. for management of medical conditions. *Phytomedicine Plus*, 3, 1-17.
- Martínez-Herrera, A., Pozos-Guillén, A., Ruiz-Rodríguez, S., Garrocho-Rangel, A., Vértiz-Hernández, A. ve Escobar-García, D. M. (2016). Effect of 4-Allyl-1-hydroxy-2-methoxybenzene (eugenol) on inflammatory and apoptosis processes in dental pulp fibroblasts. *Mediators of Inflammation*, 2016, 1-7.
- McKay, D. L. ve Blumberg, J. B., (2006a). A Review of the Bioactivity and Potential Health Benefits of Chamomile Tea (*Matricaria recutita* L.). *Phytother. Res.* 20, 519–530.
- McKay, D. L. ve Blumberg, J. B. (2006b). A review of the bioactivity and potential health benefits of peppermint tea (*Mentha piperita* L.). *Phytother. Res.*, 20, 619–633.
- Mirheydar, H. (2001). *Herbal information: Usage of plants in prevention and treatment of diseases*. Tehran, Iran: Islamic Culture Press Center.
- Mittal, M., Gupta, N., Parashar, P., Mehra, V. ve Khatri, M. (2014). Phytochemical evaluation and pharmacological activity of *Syzygium*

- aromaticum*: A comprehensive review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6, 67-72.
- Mnif, S. ve Aifa, S. (2015). Cumin (*Cuminum cyminum* L.) from traditional uses to potential biomedical applications. *Chemistry & Biodiversity*, 12, 733-742.
- Nair, R. ve Chanda, S. (2007). Antibacterial activities of some medicinal plants of the western region of India. *Turk J. Biol.*, 31, 231-236.
- Najafian, Y., Hamed, S. S., Farshchi, M. K. ve Feyzabadi, Z. (2018). *Plantago major* in Traditional Persian Medicine and modern phytotherapy: a narrative review. *Electronic Physician*, 10, 6390-6399.
- Orav, A., Raal, A. ve Arak, E. (2008). Essential oil composition of *Pimpinella anisum* L. fruits from various European countries. *Natural Product Research*, 22, 227-232.
- Öztürk, N., Demirtaş, İ. ve Elmastaş, M. (2010). Çasıır (*Ferula*) bitkisinin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi ve fitokimyasal araştırmalar. 24. *Ulusal Kimya Kongresi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- Öztürk, A. İ. ve Öztürk, Z. Ö. (2024). Isırgan otunun biyoaktif bileşenleri ve bu bileşenlerin analizinde kullanılan analitik yöntemler. *Bütünleyici ve Anadolu Tıbbi Dergisi*, 5, 40-50.
- Pastorino, G., Cornara, L., Soares, S., Rodrigues, F. ve Oliveira, M. B. P. P., (2018). Liquorice (*Glycyrrhiza glabra*): A phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 32, 2323–2339.
- Pathak, R. ve Sharma, H. (2021). A Review on medicinal uses of *Cinnamomum verum* (Cinnamon). *Journal of Drug Delivery & Therapeutics*. 11, 161-166.
- Pirbalouti, A. G., Yousefi, M., Heshmetollah, N., Karimi, I. ve Koohpayeh A. (2009). Evaluation of burn healing properties of *Arnebia euchroma* and *Malva sylvestris*. *Electron J. Biol.*, 5, 62-66.
- Pulliah, T. (2002). *Medicinal plants in India*. New Delhi: Regency Publications.
- Putievsky, E., Ravid, U., ve Dudai, N. (1986). The essential oil and yield components from various plant parts of *Salvia fruticosa*. *Journal of Natural Products*, 49, 1015-1017.

- Rahbardar, M. G. ve Hosseinzadeh, H. (2020). Therapeutic effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and its active constituents on nervous system disorders. *Iran J. Basic Med. Sci.*, 23, 1100–1112.
- Ranasinghe, P., Pigera, S., Premakumara, G. A. S., Galappaththy, P., Constantine, G. R. ve Katulanda, P. (2013). Medicinal properties of ‘true’ cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*): a systematic review. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 2-10.
- Razavi, S. M., Zarrini, G., Molavi, G. ve Ghasemi, G. (2011). Bioactivity of *Malva sylvestris* L., a medicinal plant from Iran. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14, 574 -579.
- Selahvarzian, A., Alizadeh, A., Baharvand, P. A., Eldahshan, O. A. ve Rasoulilian, B. (2018). Medicinal properties of *Rosa canina* L. *Herbal Medicines Journal*, 3, 77-84.
- Shahrajabiana, M. H., Suna, W. ve Cheng, Q. (2019). Clinical aspects and health benefits of ginger (*Zingiber officinale*) in both traditional Chinese medicine and modern industry. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 69, 546–556.
- Shakeri, A., Sahebkar, A. ve Javadi, B. (2016). *Melissa officinalis* L. – A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 188, 204-228.
- Sıcak, Y., Çolak, F. Ö., İlhan, V., Sevindik, E. ve Alkan, N. (2013). Köyçeğiz yöresinde halk arasında yaygın olarak kullanılan bazı tıbbi ve aromatik bitkiler. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 4, 70-77.
- Singh, N., Singh Yadav, S., Kumar, S. ve Narashiman, B. (2021). A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and clinical research of dietary spice *Cuminum cyminum* L. *Phytotherapy Research*, 35:5007–5030.
- Siow, H. L. ve Gan, C. Y. (2016). Extraction, identification, and structure–activity relationship of antioxidative and α -amylase inhibitory peptides from cumin seeds (*Cuminum cyminum*). *Journal of Functional Foods*, 22, 1–12.
- Srivastava, J. K., Shankar, E. ve Gupta, S. (2010) Chamomile: a herbal medicine of the past with a bright future. *Mol. Med. Rep.* 3, 895–901.

- Subaşı, T., Özgen, U., Gökkaya, İ. ve Renda, G. (2024). *Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss (Parsley), a food and medicinally important plant: A review of recent studies between. *Ankara Ecz. Fak. Derg.*, 48, 727-750.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H. ve Cheng, Q. (2019). Anise (*Pimpinella anisum* L.), a dominant spice and traditional medicinal herb for both food and medicinal purposes. *Cogent Biology*, 5, 1-25.
- Şanlı, A., Karadoğan, T. ve Baydar, H. (2008). Doğal olarak yetişen tatlı Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce)'nin farklı büyüme ve gelişme dönemlerinde uçucu yağ miktarı ile bileşenlerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3, 17-22.
- Şekeroğlu, N., Koca, U. ve Meraler, S. A. (2012). Geleneksel bir halk ilacı: İkşüt. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarih Bilimleri Dergisi*, 22, 56-61.
- Taghizadeh, M., Memarzadeh, M. R., Abedi, F., Sharifi, N., Karamali, F., Kashan, Z. F. ve Asemi, Z. (2016). The effect of *Cumin cyminum* L. Plus lime administration on weight loss and metabolic status in overweight subjects: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 18, 1-8.
- Taheri, Y., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sharidi-Rad, J., Ezzat, S. M., Merghany, R. M., Shaheen, S., Azmi, L., Mishra, A. P., Sener, B., Kılıç, M., Sen, S., Acharya, K., Nasiri, A., Cruz-Martins, N., Tsouh Fokou, P. V., Ydyrys, A., Bassygarayev, Z., Durna Daştan, S., Alshehri, M. M., Calina, D. ve Cho, W. C. (2022). *Urtica dioica*-derived phytochemicals for pharmacological and therapeutic applications. *Hindawi Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022,1-30.
- Tahir, H. U., Sarfraz, R. A., Ashraf, A. ve Adil, S. (2016). Chemical composition and antidiabetic activity of essential oils obtained from two spices (*Syzygium aromaticum* and *Cuminum cyminum*). *International Journal of Food Properties*, 19, 2156–2164.
- Tan, S. P., Kha, T. C., Parks, S. E. ve Roach, P. D. (2016). Bitter melon (*Momordica charantia* L.) bioactive composition and health benefits: A review. *Food Reviews International*, 32, 181-202.
- Tanrikulu, N. (2024). Bazı tıbbi bitkilerin kadim tıp konulu eserler, halk tıbbi ve bilimsel araştırmalardaki bulgularının karşılaştırılması. *Biological Diversity and Conservation*, 17, 267-280.

- Tembhurne, S. V., Feroz, S., More, B. H. ve Sakarkar, D. M. (2011). A review on therapeutic potential of *Nigella sativa* (kolonji) seeds. *J. Med. Plants Res.*, 8, 167-177.
- Thakur, S., Walia, B. ve Chaudhary, G. (2021). Dalchini (*Cinnamomum zeylanicum*): a versatile spice with significant therapeutic potential. *Int J. Pharm. Drug. Anal.*, 9, 126-136.
- Trevisan, S. C., Menezes, A. P. P., Barbalhol, S. M. ve Guiguer, E. L. (2017). Properties of *Mentha piperita*: A brief review. *World Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 3, 309-313.
- Uysal Bayar, F. (2020). Doğadan gelen mucize: Zencefil (*Zingiber officinale*). *Bahçe*, 49, 99-110.
- Wahab, S., Annadurai, S., Abullais, S.S., Das, G., Ahmad, W., Ahmad, Md.F., Kandasamy, G., Kandasamy, G., Vasudevan, R., Ali, Md.S. ve Amir, M. (2021). *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A Comprehensive Review on Its Phytochemistry, Biological Activities, Clinical Evidence and Toxicology. *Plants*, 10, 1-36.
- Wichtl, M. (2004). *Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals: A Handbook for Practice on a Scientific Basis, Third [English] edn*. Stuttgart: Medpharm Scientific Publishers.
- Wu, Y. B., Ni, Z. Y., Shi, Q. W., Dong, M., Kiyoto, H. ve Gu, Y. C. (2012). Constituents from *Salvia* species and their biological activities. *Chem. Rev.*, 112, 5967-6026.
- Yazlık, A. ve Albayrak, B. (2020). Türkiye’de küsküt taksonları ve etkileri. *Turkish Journal of Biodiversity*, 3, 95-106.
- Yeşil, Y. (2015). Türk halk hekimliğinde elma. *Eğitim ve Toplum*, 4, 201-209.
- Zöngür, A. (2023). *Achillea millefolium* (Civanperçemi) bitkisinin uçucu yağlarının antimikrobiyal ve antifungal etkinliğinin değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13, 906-913.

BÖLÜM 12

TÜRKİYE'DE BAHARAT OLARAK KULLANILAN TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER

Doç. Dr. Emel KARACA ÖNER¹

Doç. Dr. Meryem YEŞİL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608653>

¹ Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Ordu, Türkiye. emelkaracaoner@odu.edu.tr, Orcid ID: No:0000-0002-1714-7426

² Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Ordu, Türkiye. meryemyesil@odu.edu.tr. Orcid ID 0000-0002-9246-2362

GİRİŞ

Dünya tarihi üzerinde büyük bir etkiye sahip olan baharat bitkileri yüzyıllar boyu kralların ve soyluların yiyeceklerini çeşnilendirmek, çeşitli insan hastalıklarını tedavi etmek için ilaç şeklinde, değerli değişim ve ticaret öğeleri ve para kaynağı olarak kullanılmıştır.

Arapçada “koku” anlamına gelen baharat kelimesi “bahar” kelimesinin de çoğul halidir ve “değişik oranlarda koku ve keskinliğe sahip, özel lezzetiyle yemeklerin çeşnilendirilmesinde kullanılan bitkisel aromatik maddelerin genel adı” olarak tanımlanmaktadır (Kılıçhan ve Çalhan, 2015). Baharatlar, bitkilerden elde edilen ve gıda ürünlerine tat, lezzet, koku ve renk vermek amacıyla katılan, bütün, parçalanmış ya da kurutulmuş ve öğütülmüş olarak kullanılan aromatik veya keskin maddelerle karakterize edilen ürünler olarak tanımlanır. Bir ürünün baharat olarak kabul edilebilmesi için bitkisel kökenli olması ve aynı zamanda lezzet, tat, koku ve renk bakımından zengin bileşenler içermesi gerekmektedir.

Bitkilerin çiçek, kabuk, sap, kök, çekirdek, tomurcuk, meyve, yumru, rizom, yaprak, gövde, soğan ve tohum kısımlarından elde edilen ürünler baharat kategorisinde değerlendirilir. Bu kısımlar kurutulduktan sonra bütün olarak, ufalanmış veya öğütülmüş halde kullanılır. Gıdalara karakteristik tat, hoş koku, canlı renk ve lezzet kazandırmak için kullanılırlar. Sonuç olarak baharat, bu işlemlerle elde edilen ve gıdalara nitelik katmak için kullanılan çeşitli ürünlerin genel adıdır (Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği, 2022).

Baharat yalnızca tek bir bitkiden elde edilebileceği gibi farklı bitki baharatlarının karışımı olarak da elde edilebilirler. Örneğin karabiber sadece karabiber meyvesinin kurutulup öğütülmüş baharatı iken, köri baharatı zerdeçal, zencefil, karanfil, muskat, kimyon, kişniş, hardal, sumak, kırmızıbiber ve karabiber gibi baharatların karışımıdır. Köri, eski ve köklü bir mutfak kültürü olan Hindistan’da “sos” kelimesinden türetilmiştir. Tanınmış dünya mutfaklarının gıda ürünleri benzer ancak kullanılan baharatlar ve baharat soslari farklıdır. Dünya mutfaklarını özel kılan baharatların çeşitliliği ve sunum şekilleridir (Baydar, 2019).

Tarih boyunca baharat, "yükte hafif, pahada ağır" niteliği sayesinde uzun mesafeli ticarete merkezi bir rol üstlenmiştir. Asıl kökenleri Uzak Doğu ve Hindistan olan bu ürünler, öncelikle Yemen üzerinden Suriye ve Mısır'a ulaşmış; oradan da Anadolu ve Avrupa pazarlarına dağılmıştır (Bilgin, 2004).

Tıbbi ve aromatik bitkiler için Türkiye, geniş coğrafyası, iklim çeşitliliği ve zengin bitki örtüsü sayesinde uluslararası ticarete söz sahibi ülkelerden biridir. Türkiye’de doğal olarak yetişen bitkiler arasında 12.000’den fazla tür ve tür altı taksonuyla (alttür ve varyete) muazzam bir zenginliğe sahiptir (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011: 53). Ülke, kekik, defne, kimyon, haşhaş tohumu ve alkaloidler gibi ürünleri yaklaşık 100 farklı ülkeye ihraç eden önemli bir tedarikçidir. Dış ticaretin önemli bir payı, Kuzey Amerika, AB, Kuzey Afrika ve Latin Amerika gibi bölgelere yapılmaktadır (Keykubat, 2016). Baharatlar, binlerce yıldır insan beslenmesinde yiyeceklere aroma ve lezzet katmak için kullanılan doğal katkı maddeleridir (Yeşilada, 2012). Ancak baharatlar sadece yemeklere tat katmakla kalmaz; aynı zamanda geçmişte tedavi amacıyla da kullanılmıştır. Örneğin, kişniş, zencefil, tarçın, biber ve kimyon gibi türler, geleneksel anlayışta "sıcak yapılı" olarak görülüp sağlık açısından faydalı kabul edilmiştir (Gürsoy, 2012).

Son yıllarda baharatların gıdaların raf ömrünü uzatan etkileri dikkat çekmektedir. Antimikrobiyal ve antioksidan özellikleriyle dikkat çeken baharatların, gıda koruma alanındaki önemi artmıştır. Doğal ve katkısız ürün arayışındaki tüketiciler, bu tür doğal koruyucuların kullanımını teşvik etmektedir (Göncü ve Akın, 2017). Baharatlarda bolca bulunan fenolik ve flavonoid bileşikler, güçlü antioksidan (oksitlenmeyi önleyici) etkiler sağlar. Düzenli ve dengeli baharat tüketimi, vücudun ihtiyaç duyduğu antioksidan aktiviteyi destekleyebilir (Yiğit, 2016). Baharatlar, binlerce yıldır insanların yiyeceklerinin aromasını ve lezzetini zenginleştirmek için kullandığı doğal gıda katkılarıdır (Yeşilada, 2012). Ancak bu ürünler, sadece lezzet verici olmanın ötesinde, tarih boyunca tedavi amaçlı da kullanılmıştır. Örneğin, zencefil, biber, kişniş, kimyon ve tarçın gibi baharatlar, geleneksel olarak "sıcak tabiatlı" besinler arasında anılmış ve bu özellikleri sayesinde ilaç niteliği taşıdığı kabul edilmiştir (Gürsoy, 2012).

Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği, toplam 51 adet baharat türünü tanımlamaktadır. Bu tebliğde adı geçen türler arasında; Fesleğen, Adaçayı, Kimyon, Biberiye, Defne yaprağı, Çörekotu, Anason, Kırmızıbiber (çeşitleriyle), Hardal, Karabiber (çeşitleriyle), Kekik, Tarçın (çeşitleriyle), Zerdeçal ve Zencefil gibi yaygın kullanılan pek çok tür bulunmaktadır.

Ülkemizde tüketicilerin tercih ettiği baharatlar arasında en çok kimyon, kırmızıbiber, nane, haşhaş, hardal, , kişniş çörek otu, kekik ve tarhun gibi

çeşitler yer almaktadır (Baydar, 2022). Ülke genelindeki baharat bitkileri üretim miktarları incelendiğinde ise en yüksek üretim hacmine kırmızıbiberin sahip olduğu görülür. Kırmızıbiberi sırasıyla kekik ve kimyon izlemektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. 2020-2024 yılları arasında ülkemizde üretilen bazı baharatların üretim miktarları (ton)

ÜRÜN	2020	2021	2022	2023	2024
Kırmızıbiber	256735	284694	273846	287322	346287
Anason	10716	6936	5878	4521	5102
Kimyon	13926	8386	8130	11480	17018
Kekik	23866	21174	44 58	30129	18213
Çörek otu	3412	6435	10089	5386	4572
Rezene	4365	2503	2323	1108	1125
Kişniş	188	253	204	222	101
Süpürge otu	1788	1911	2 060	1405	1815
Kapari	3	18	17	17	23
Toplam	314999 ton	332310 ton	346905 ton	341590 ton	394256 ton

Kaynak : (TÜİK, 2024)

Ülkemizde tescillenmiş baharat bitkileri bulunmaktadır. Bu bitkiler ve tescillenmiş tür miktarları; adaçayı (5 adet), anason (4 adet), arı otu (4 adet), biberiye (3 adet), çayır salebi (1 adet), çemen (3 adet), çörek otu (4 adet), fesleğen (6 adet), haşhaş (11 adet), kekik (7 adet), kimyon (1 adet), kinoa (5 adet), kişniş (7 adet), rezene (1 adet), safran (1 adet), susam (15 adet), şeker otu (5 adet), zencefil (1 adet) ve zerdeçal (1 adet) şeklindedir (TTSM, 2024).

Çalışmanın amacı, ülkemiz mutfağında gıdalara lezzet vermek amacıyla baharat olarak yaygın şekilde kullanılan bazı Tıbbi ve aromatik bitki türlerinin değerlendirme biçimlerini konu ile ilgili yapılmış bilimsel literatürler ile birlikte ortaya koymaktır.

ADAÇAYI (*Salvia officinalis* L.)

Adaçayı (*Salvia officinalis*), Lamiaceae familyasına ait, Akdeniz bölgesine özgü bir bitkidir. Bu bitkinin hem yaprakları hem de çiçekleri geleneksel tıpta ve popüler bir baharat olarak kullanılmaktadır. Lamiaceae ailesinin 900'den fazla türe sahip olduğu bilinmektedir (Lopresti, 2017; Jakovljevic ve ark., 2019).

Küresel ölçekte ticari bakımdan en kıymetli kültür bitkisi türlerinden biri, tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) olarak kabul edilmektedir. Bu tür, Türkiye'nin doğal bitki örtüsünde bulunmamasına rağmen, ülkede başarıyla yetiştirilmektedir. Ayrıca, Anadolu adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.) da Türkiye'de kültüre alınmaya başlanmıştır. Türkiye florasında yaklaşık 90 adaçayı türü yetişmektedir.

"Alba" adıyla bilinen *Salvia* türleri (*S. fruticosa*, *S. sclarea*, *S. Cryptantha*, *S. aramisis*, *S. multicaulis* ve *S. tomentosa*), özellikle Ege ve Akdeniz'de doğadan toplanarak ticarete konu olmaktadır (Baydar, 2022).

Tıbbi adaçayı esansiyel yağı, temel terpen bileşenleri olarak manool, viridiflorol, borneol ve tüyon içermektedir. Ayrıca, *S. officinalis* (adaçayı) yapraklarında; karnosik asit, karnosol, rosmarinik asit, flavonoidler, polisakkaritler, oleik asit, tannik asit, ursolik asit, kafeik asit, ursonik asit, fumarik asit, klorojenik asit ve östrojenik etki gösteren bileşikler de yer almaktadır (Gericke ve ark., 2018; Benny ve Thomas, 2019). Uçucu yağında en dikkat çeken bileşikler ise β -thujon, α -thujon, kafur ve 1,8-sineol'dür (Karakuş ve ark., 2017).

Adaçayı, fonksiyonel gıda, baharat, bitkisel çay, ilaç, parfüm ve kozmetik sektörlerinde değerlendirilen oldukça değerli bir üründür. Çok eski ve önemli baharatlardan biri olan adaçayı, mutfakta taze veya kurutulmuş formda; balık ve deniz ürünleri, av hayvanları ve kuzu etleri, kanatlı etleri, sosis, güveç, salam, sucuk ve köfte çeşitlerinin çeşnilendirilmesinde, ızgara yemeklerinde, çorba ve tencere yemeklerinde, soslarda, salatalarda ve dolma içlerinde, hamburger, makarna, baharat karışımları, peynir ve rostolar gibi pek çok farklı üründe geniş şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, uçucu yağı çeşni olarak şekerleme, çiklet, likör, dondurma ve soslarda yer alırken, yapraklarından infüzyon (demleme) yöntemiyle bitkisel çay hazırlanır (Mete, 2017).

BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis* L.)

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*), Akdeniz bölgesinde ortaya çıkmış olsa da adaptif yapısı sayesinde dünyanın her yerinde özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde kolayca yaygın olarak yetiştirilen bir baharat bitkisidir (Nieto, Ros ve Castillo, 2018; deMacedo vd., 2020). Karakteristik kokusunu veren yapraklarla dolu, her dem yeşil, aromatik, çok yıllık bir çalıdır (Nieto vd., 2011).

Biberiye, biyoaktif bileşikler bakımından zengin olmasıyla tanınır (Napoli ve ark., 2010 ve 2015). İmza kokusunu kafur oluşturur. Biberiye esansiyel yağının başlıca bileşenleri arasında borneol, β -pinen, limonen, kafur, alfa-pinen, kamfen ve 1,8-sineol yer alır. Biberiyede bulunan başlıca fitokimyasallar ise kafur, kafeik asit, ursolik asit, rosmarin, karnosobetulinik asit ve karnosik asittir (Carrubba ve diğerleri, 2020).

R. officinalis rutin olarak aroma verici, baharat çeşnisi ve koruyucu olarak kullanılır. Sadece yaprakları veya yaprak özütü, mutfak bitkileri, aroma vericiler ve doğal antioksidanlar olarak kullanılır. (De Oliveira ve ark., 2019). Sebze çorbaları, soslar ve domatesle en uyumlu olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra kuzu, av hayvanları, tavuk, balık, ızgara etler, sebze yemekleri ve salatalarda da sıkça kullanılmaktadır (Aschl, 2010; Mete, 2017; Çoban ve Patır, 2010).

ÇEMEN (*Trigonella foenum graecum* L.)

Çemen otu olarak da bilinen *Trigonella foenum-graecum* L., tıbbi özelliklere sahip bitkilerden biri olarak bilinmektedir. Fabaceae familyasından olup kendi kendine tozlaşan tek yıllık otsu aromatik bir üründür. Kuş ayağı, Yunan saman tohumu, halba ve methi olarak da bilinir (Gu vd., 2017).

Çemen tohumu, yüksek miktarda protein, mineral ve vitamin içeren zengin bir besin kaynağıdır. Bileşiminin yaklaşık % 50-60'ı karbonhidrat, %25-35'i protein ve %4-10'u sabit yağlardan oluşur. Tohumun yağı, % 52 oranında oleik asit ve %40 oranında linoleik asit barındırır. Çemen, bu temel bileşenlerin yanı sıra; uçucu yağlar, azotlu bileşikler, nikotin amid, kolin, rutin, fitin ve % 3-4 oranında kül içerir. Ayrıca, %15-25 müsilaaj, %1 trigonellin ve eholine, sentionine, cerpaine gibi alkaloidler bulunur. Yağlı embriyosunda hidrolizle % 0.8-2.2 oranında diosgenin veren %5-7 oranında steroidal saponinler mevcuttur. Tohumda ayrıca minerallerden demir, A, B, C vitaminleri ile

kalsiyum yer alır. Çemene kendine özgü koku ve aromasını veren bileşen ise sotolon'dur (Baydar, 2022; Geberemeskel vd., 2019; Heshmat-Ghahdarijani vd, 2020).

Çemen otunun tohumları ve yaprakları, dünya genelinde yaygın olarak baharat olarak kullanılır. Tohumlar; fırıncılık ürünleri, et ürünleri, şekerlemeler, çeşni ürünleri, alkollü içecekler, dondurma, jelatin, puding, şurup, şekerli soslar ve çiklet gibi çeşitli gıda sanayi ürünlerine eklenir. Tohumlar kurutularak çerez şeklinde tüketilebildiği gibi, öğütülmüş hali de baharat karışımlarında, turşularda, çorbalarda, salatalarda, güveçlerde, soslarda ve et yemeklerinin üzerinde kullanılır (Snehlata vd., 2012).

Türkiye'de çemenin en bilinen kullanımı pastırma ve sucuk üretiminde görülür. Pastırmanın üzerine kaplanan özel karışımın ana bileşeni çemendir. Bu karışım, genellikle “Çemen hamuru” olarak adlandırılır ve yaklaşık %15 kırmızı toz biber, %50 çemen (buy otu) tohumu unu ile %35 sarımsak tozundan oluşur (Baydar, 2022). Çemenin pastırmaya kaplanması temel amacı, ürünü dış mikroorganizmaların etkisinden korumaktır (Kök, 2003). Karışımın bileşenlerinden olan çemen tohumu unu, sahip olduğu yapıştırıcı özelliği sayesinde pastırma üzerinde kılıf görevi görerek hem lezzet hem de aroma katmaktadır (Kök, 2003).

ÇÖREK OTU (*Nigella sativa* L.)

Çörek otu adıyla bilinen “*Nigella sativa*”, yaklaşık 22 tek yıllık ot türünü kapsayan Ranunculaceae ailesine mensuptur (Baydar, 2022).

Nigella sativa'nın kimyasal yapısında tıbbi değere sahip timokinon bileşeni bulunmaktadır (Sahak ve arkadaşları, 2016). Timokinon, uçucu yağın temel bileşenidir. *Nigella sativa* tohumları ayrıca sabit yağlar (%32,2-41) gibi beslenme açısından hayati önem taşıyan bileşenlerin önemli bir kaynağıdır ve ayrıca tohumların çoklu doymamış yağ asitleri, proteinler (%13,8-22), karbonhidratlar (%17), küller (%4,5-7,5), diyet lifleri (%8-16,4) ve tokoferol ve niasin gibi vitaminler açısından zengin olması gerçeğine de bağlıdır (Kabir ve ark., 2019; Shahbazi ve ark., 2022).

Nigella sativa tohumları gıda, kozmetik ve ilaç alanlarında değerlendirilir, ayrıca fırın ürünleri, peynir, turşu ve çeşitli geleneksel yemekler gibi yiyeceklere tat vermek için koruyucu ve baharat olarak da kullanılır (Sharma ve ark., 2019; Salehi ve ark., 2021).

DEFNE (*Laurus nobilis* L.)

Laurus nobilis L., Lauraceae ailesinden her dem yeşil kalabilen Roma defnesi veya Tatlı defne olarak bilinen aromatik bir bitkidir (Alejo-Armijo vd., 2017). Ülkemizde Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz kıyıları boyunca *Laurus nobilis* L. türü doğal yayılış göstermektedir. Bu türün ticari değeri, uçucu yağından ve genel olarak uçucu maddelerinden kaynaklanmaktadır. Yaprakları ticari olarak daha çok baharat ve uçucu yağ, meyvelerinden ise sabit yağ elde etmek için faydalanılır (Baydar, 2022).

Laurus nobilis yapraklarında bulunan bileşenlerden bazıları polifenolik bileşikler, alkaloidler, norisoprenoidler, şekerler, polisakkaritler, organik asitler ve tokoferollerdir (Alejo-Armijo ve ark., 2017). Yapraklar ayrıca %1-3 oranında bulunan uçucu yağlar içerir (Özcan, 2005). Uçucu yağda tanımlanan ana bileşen genellikle %50'ye veya hatta %70'e kadar değişen bir içeriğe sahip 1,8-sineoldür (Alejo-Armijo ve ark., 2017; Konovalov ve Alieva, 2019).

Defnenin sabit yağı ve uçucu yağı parfümeri, kozmetik, tarım, gıda ve ilaç dahil olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Defne, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak yetiştirilmekte olup, öncelikle mutfak otu olarak kullanılmaktadır (Anzano, 2022). Defne yaprakları geleneksel olarak Akdeniz mutfağında baharat olarak kullanılır (Sharma, 2012).

Defne geleneksel olarak kızarmış etleri, güveçleri, salyangozları, balıkları, sosları, çorbaları ve haşlanmış kestaneleri tatlandırmak için kullanılır (Motti ve ark., 2020). Ayrıca pudingler, sirke ve içecekler için baharatlı, aromatik bir tatlandırıcı madde olarak kullanılır.

DEREOTU (*Anethum graveolens* L.)

Dereotu (*Anethum graveolens*), Apiaceae (Maydanozgiller) familyasına ait, tek yıllık bir bitkidir. Bitkinin *Anethi fructus* (kurutulmuş meyveler) ve *Anethi herba* (toprak üstü kısımlar) adı verilen drogları, hem besleyici hem de tıbbi nitelikleri sayesinde kullanılır (Başer, 2012).

Anavatani Asya olmasına rağmen tüm dünyada kolaylıkla yetiştirilebilen dereotunun kendine has tadı ve kokusu, esas olarak yapraklarında bulunan aromatik bileşiklerden kaynaklanır. Bitkinin sap, yaprak ve meyvelerinden elde edilen uçucu yağ, bu aromatik özelliği sağlar. Bu uçucu yağın içeriğinde ise başlıca carvon, limonen ve yüksek miktarda α -phellandren maddeleri yer alır (Bezli, 2020).

Türkiye'de genellikle Güney Marmara, Ege ve Akdeniz gibi Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerde yetiştirilir. Türk mutfağında önemli bir baharat olarak yer alan dereotunun taze toprak üstü kısımları ile kurutulmuş yaprak veya tohumları kullanılır (Başer, 2012). Baharat olmasının yanı sıra, yaprakları çiğ veya pişirilmiş olarak tüketilebilir; turşusu yapılır ve yoğurt ile ayrana katılır (Yıldız ve Midilli, 2023).

FESLEĞEN (*Ocimum basilicum* L.)

Fesleğen, Lamiaceae familyasının bir üyesi olup, çok çeşitli tıbbi özelliklere sahip olduğu bilinen ve Türkiye'de geniş bir kullanım alanına sahip bir bitkidir (Dumanoglu ve Mokhtarzadeh, 2021). Esas olarak Eski Dünya'nın tropikal ve sıcak iklimli bölgelerinde yetişen yaklaşık 35 farklı fesleğen (reyhan) türü bulunmaktadır. Dünya fesleğenlerinin en önemli kültür türü, *Ocimum basilicum* L.'dir.

Ocimum basilicum türü, Türkiye'nin doğal florasında yabani olarak bulunmasa da, burada yerleşmiş (adapte olmuş) çok sayıda ekotipine rastlamak mümkündür. Örneğin, Malatya'nın Arapgir ilçesindeki mor fesleğen tarlaları dikkat çekicidir. Genellikle *O. basilicum* türüne "Reyhan", *O. minimum* türüne ise "Fesleğen" adı verilmekle birlikte, pratikte her iki tür için de yaygın olarak "Fesleğen" ifadesi kullanılmaktadır (Baydar, 2022).

Fesleğenin minimum varyetesi kavikol, purpurescens varyetesi linalool ve citriodorum varyetesi sitral bakımından zengindir. Uçucu yağları linalool ve metil kavikol bakımından zengin olan Avrupa tipi fesleğenler koku kalitesinde birinci sınıf kabul görmektedir (Baydar, 2022). Türk fesleğenleri yaygın olarak linalool ve metil sinamat içermekle birlikte 7 farklı kemotipin (linalool, metil sinamat, metil sinamat/linalool, metil öjenol, sitral, metil kavikol ve metil kavikol/sitral) bulunduğu belirlenmiştir. (Telci vd, 2009). Fesleğenin tıbbi etkileri, linalool, öjenol, geranial, metil öjenol, 1,8-sineol ve diğer bileşikleri içeren bitki parçalarına sahip olmasıyla doğrudan ilişkilidir (Aminian vd., 2022).

Fesleğen, taze veya kurutulmuş şekillerde gıda, ilaç, baharat ve kozmetik dahil olmak üzere geniş bir iş kolu yelpazesinde değerlendirilir. Bu sektörlerde bitkinin; konserve, çaylar, parfümeri sanayi ürünleri ve aromaterapi gibi çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır (Labra ve ark., 2004; Naghibi ve ark., 2005).

Gıda sektöründe baharat veya uçucu yağ; alkolsüz içecekler, fırın ürünleri, şekerlemeler, dondurmalar, sirkeler, et ve çeşni ürünlerinde yaygın olarak kullanılırken, parfümeri alanında da değerlendirilmektedir (Ekren, 2009). Mor renkli fesleğenlerin antioksidan etkisi diğerlerine göre daha fazladır. Metil sinamat zengini fesleğen yağlarının parfümeri, kafur zengini fesleğen yağlarının ise böcek kovucu değeri daha yüksektir. Linalool tipi fesleğen çeşitlerinin uçucu yağ oranı biraz daha düşük olup Avrupa ülkelerinde pesto sos yapımında daha fazla tercih edilirler (Baydar, 2022). Özellikle Uzakdoğu ve Akdeniz mutfağında sirke, salata, peynirlerde, pizza, çorba ve sos güzel koku verici yönüyle kullanılır (Baydar, 2016).

KARABİBER/AKBİBER (*Piper nigrum*)

Yaygın olarak “Baharatların Kralı” olarak bilinen karabiber, Piperaceae familyasına aittir ve dünya çapında kullanılan en popüler baharatlardan biridir (Nair, 2011). Henüz tam olgunlaşmamış yeşil meyveleri toplanıp bir süre fermente edildikten sonra kurutulursa “Karabiber”, eğer tam olgunlaşmış parlak kırmızı renklerdeki meyveleri toplanılıp bir süre akan suda bekletilerek kabukları (perikarpları) uzaklaştırdıktan sonra kurutulursa “Akbiber” elde edilir.

Karabiber esansiyel yağı, meyvenin kuru ağırlığının yaklaşık %0,4-7'sini oluşturur. Karabiberin aroması ve keskinliği esas olarak piperin ve uçucu yağdan kaynaklanır (Srinivasan, 2007). Piperin, karabiberdeki başlıca biyoaktif bileşendir (Manoharan ve ark., 2009),

Karabiber, özellikle Asya ülkelerinde gıdalardaki en önemli baharatlı bileşenlerden biridir ve ayrıca geleneksel tıpta, parfümeride, koruyucu maddelerde ve böcek ilaçlarında potansiyel uygulamalara sahiptir (Raja ve Sethuraman, 2008).

Piper nigrum, çok çeşitli yemeklerde bir mutfak ögesi olarak kullanılır. Batı mutfağında, karabiber esas olarak gıda lezzetini artırmak için bir baharat malzemesi olarak ve gıda muhafazasında kullanılır (Ravindran vd., 2012). Bütün karabiber taneleri güveçlerde ve çorbalarda veya maydanoz, kekik ve defne yaprağıyla birlikte kullanılabilir. Hafifçe ezilmiş karabiber taneleri kremalı soslara eklenebilir veya yemeğe biraz baharat katmak için bonfile biftekleri veya tavuk göğüslerini kaplamak için kullanılabilir. Öğütülmüş beyaz biber, Tayland ve Çin mutfağında salataların, kremalı sosların ve açık renkli

sosların hazırlanmasında kullanılır (Ravindran vd., 2012). Karabiber, klasik tatlılar dışındaki neredeyse tüm yemeklerde kullanılabilen temel bir baharattır. Yemeklere acı bir tat katmak için tercih edilen karabiber; et suları, ızgaralar, kızartmalar, her türlü çorba, bakliyat ve midye yemekleri gibi deniz ürünlerinde, ayrıca kümes hayvanı etlerinde, salatalarda ve sebze yemeklerinde yaygın olarak kullanılır (Aschl, 2010; Çoban ve Patır, 2010; Mete, 2017).

KARANFİL (*Syzygium aromaticum*)

Karanfil olarak bilinen *Syzygium aromaticum*, Endonezya'daki Maluku adalarına özgü olan ancak son zamanlarda dünyanın farklı yerlerinde yetiştirilen *Myrtaceae* ailesine ait kurutulmuş bir çiçek tomurcuğudur (Batiha ve ark., 2019).

Karanfil ağacı her dem yeşil, 12–15 m yüksekliğe ulaşabilen bir ağaçtır (Cortés-Rojas vd., 2014; Maugini vd., 2014). Tomurcuk üretimi ekimden dört yıl sonra başlar. Bu yetiştirme sürecinden sonra şekilleri çiviye benzeyen çiçek tomurcukları oluşur. Daha sonra, çiçeklenme öncesi aşamada elle ya da doğal bir fitohormon kullanılarak toplanırlar (Cortés-Rojas ve ark., 2014).

Karanfil çiçek tomurcukları, öjenol, öjenol asetat ve β -karyofilenodan oluşan %18'e kadar uçucu yağ içerir (Jirovetz ve ark., 2006). Karanfile koku ve lezzetini veren “eugenol” adındaki uçucu yağdır (Çoban ve Patır, 2010; Stanwey, 2013; Mete, 2017; Yeşilada, 2012). Karanfil yağı, belirgin bir karanfil aroması ve tadı olan renksiz veya soluk sarıdır.

Ticari olarak tıbbi amaç için ve parfüm endüstrisinde kullanılırlar ve karanfil, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle kimyasal koruyucuların yerini almak üzere özellikle et işlemede birçok gıdada koruyucu olarak potansiyel olarak kullanılabilen baharatlardan biri olarak kabul edilir (Cortés-Rojas ve ark., 2014). Çalışmalarda, karanfilin güçlü antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle diğer baharatların arasında çok ilgi gördüğü belirtilmiştir (Shan ve ark., 2005).

Bu ürün, iştah açıcı tatlı yiyeceklerde ve sıcak şarap gibi içeceklerde lezzet verici olarak kullanılır. Ayrıca, et ve balık haşlamaları, av etleri, salamura edilmiş meyve ve sebzeler, çeşitli kompostolar, tatlılar, reçeller, kek ve kurabiyelerde de tatlandırma amacıyla değerlendirilmektedir (Çoban ve Patır, 2010; Stanwey, 2013; Mete, 2017; Yeşilada, 2012).

KEKİK (*Origanum* spp., *Thymbra* spp., *Satureja* spp., *Thymus* spp.)

Kekik *Lamiaceae* ailesine ait çok yıllık bir aromatik bitkidir (Migliore ve ark., 2013). Kekik, binlerce yıllık geçmişe sahip olup, antik dönemlerde asaletin, cesaretin ve zenginliğin sembolü olarak görülmüştür. Oldukça geniş kullanım alanları bulunmasına rağmen, ülkemizde kekik genellikle baharat, kekik yağı ya da kekik suyu şeklinde tüketilmektedir (Bozdemir, 2019).

Kekik uçucu yağı; terpineol, linalol, karvakrol, timol, p-simen, borneol ve simol gibi çeşitli bileşenleri içerir. Bitkiye karakteristik kokusunu veren başlıca maddeler timol ve karvakroldür; bu iki bileşen, uçucu yağın ana unsurlarını oluşturur. Karvakrol, daha çok *Thymbra*, *Origanum* ve *Satureja* türü kekiklerin uçucu yağlarında bulunurken; timol, özellikle *Thymus* türü kekiklerin uçucu yağında daha yüksek oranlarda yer alır.

Timol, kristalleşebilme özelliğine sahip olduğu için ilaç sanayinde daha yaygın kullanılır ve güçlü bir antimikrobiyaldir. Bazı ülkelerde tek başına gıda aroma katkısı olarak kullanılabilir. Gıda sektörünün yanı sıra, eczacılık, kozmetik ve parfümeri alanlarında da değerlendirilir. Cilt tedavisindeki olumlu etkileri nedeniyle timol, özellikle kozmetik ve parfümeri endüstrisinde aktif şekilde kullanılmaktadır. Kristalleştirilemediği için karvakrolün ilaç sektöründeki kullanımı sınırlıdır. Antibakteriyal ve antifungal etkileri (özellikle aflatoksin üreten *Aspergillus* mantarlarına karşı) sayesinde gıdaların bozulmasını engelleyerek raf ömrünü uzatır (Ayhan ve Altınkaynak, 2020).

Kekik, içerdiği karvakrol sayesinde parfümeri ve kozmetik ürünlerinde; timol içeriğiyle ise sabun ve deterjan gibi temizlik ürünlerinin kokulandırılmasında kullanılmaktadır (Şener ve ark., 2021; Pirinçcioğlu ve İzci, 2022).

Kekik uçucu yağı, yüzyıllardır hem gıdalara tat vermek hem de geleneksel tıpta çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır (Lukas ve ark., 2010). *Thymus* veya *Origanum* cinsi bitkiler, yaygın olarak çay şeklinde tüketilmektedir (Baytop, 1999). Ayrıca kekik, özellikle ızgara ve et yemeklerine çeşni katarak sindirimi kolaylaştırmak amacıyla yoğun bir kullanıma sahiptir. Kekik, baharat olarak kullanılan başlıca türleri (*Origanum onites* L., *Coridothymus capitatus*, *Satureja* spp., *Thymus* spp., *Thymbra spicata* L. ve *Origanum sipyleum* L (L.) Reichb.) ile; salata, çorba, et, tavuk ve sebze yemekleri, turşu sosları ve sosislerde yaygın olarak kullanılır (Işık ve

ark., 1995). Ayrıca, *Majorana hortensis* Moench., *Origanum onites* L. ve *Thymus vulgaris* L. türleri; alkolsüz içecekler ve likör yapımında kullanılırken, özellikle *Thymus serpyllum* L. türü Van otlu peyniri gibi peynir çeşitlerinin üretiminde tercih edilmektedir (Işık ve ark., 1995).

KIRMIZI BİBER (*Capsicum* spp.)

Kırmızı biber ya da acı biber (*Capsicum* cinsi), Solanaceae familyasına ait bitkilerin meyvelerinden elde edilir (Al Othman vd., 2011). Öğütülmüş kırmızı biber; bitkinin tam olgunlaşmış meyvelerinin usulüne uygun olarak kurutulması, saplarının ayrılması ve ardından öğütülmesiyle elde edilen üründür. Pul kırmızıbiber; bitkinin tam olgunlaşmış meyvelerinin kurutulması, saplarının alınması ve yarı öğütülerek pul haline getirilmesiyle elde edilen üründür. İşlenmiş pul kırmızıbiber; tam olgunlaşmamış meyvelerin kurutulup yarı öğütülmesiyle elde edilen pul bibere, belirli oranlarda bitkisel sıvı yağ (yaklaşık %8) ve tuz (en fazla %9) karıştırılarak hazırlanan üründür. Biberin baharat haline gelmesi meyvelerinin olgunlaşma durumuna bakılarak kurutulup öğütülmesiyle olur. Eğer tam olgunlaşmış meyveler kurutulup öğütülürse kırmızı biber baharatı, tam olgunlaşmamış meyveler toplanıp yarı öğütülürse pul biber baharatı elde edilir (Baydar, 2022). Kurutulmuş ve öğütülmüş formları, farklı gıda ürünlerinde ve dünya çapında birçok mutfakta en yaygın kullanılan baharatlar arasındadır. Bu baharatın popüleritesi esas olarak renk, keskinlik ve lezzet gibi duyuşal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dahası, antioksidan bileşenleri nedeniyle, *Capsicum* cinsi bitkilerin meyveleri vitaminler, fenolikler, flavonoidler, karotenoidler ve kapsaisinoidler gibi ilaçların önemli bileşenleri haline gelmiştir (Ananthan, vd., 2018, Fratianni vd., 2020).

Biber meyveleri dünya çapında en çok tüketilen sebzelerden biridir. Biber meyveleri esas olarak yüksek C ve A vitamini ve mineral içerikleriyle karakterize edilir (Rodríguez-Ruiz vd., 2017; Corpas vd., 2018). *Capsicum* cinsinde bulunan kapsaisinoidler bitkiye acılık veren esas etmendir (Palma vd., 2020).

Mutfak ve gastronomi açısından, biber meyveleri kapsaisin yokluğuna veya varlığına bağlı olarak tatlı ve acı olarak sınıflandırılır (Fratianni vd., 2020). Renk, biber baharatlarının ticari değerini belirlemede önemli bir özelliktir. Olgunlaşmış *Capsicum*'un karakteristik rengi, sarı -turuncu ve

kırmızı tonlarda karotenoid adı verilen pigmentlerden gelir. Biberin kırmızı rengini kapsantin ve kapsorubinden verir. Kırmızıbiber, Türkiye’de ağırlıklı olarak Batı bölgeler ile Güneydoğu Anadolu’da yetiştirilse de, ülkenin genel iklim koşullarına uygun bir bitki olup yaygın şekilde üretilebilmektedir. Taze halde; konserve, salça, turşu ve acı sos gibi ürünlerde değerlendirilirken, kurutulmuş formu ise genellikle et ürünlerinin işlenmesinde, toz veya pul biber olarak kullanılmaktadır (Duman ve ark., 2002). Sahip olduğu aromatik özellikler ve tat bileşenleri, kırmızıbiberin baharat olarak kullanılmasını daha da yaygınlaştırmakta ve ona lezzet ile hoş bir koku kazandırmaktadır (Tunçil, 2018).

KİMYON (*Cuminum cyminum*)

Tohum baharatlarının kralı olarak bilinen kimyon (Lal vd., 2014), Apiaceae ailesine ait olup aroması, tıbbi özellikleri ve uzun süre saklanan tohumlarda bile tedavi edici faydaları nedeniyle oldukça değerlidir (Sowbhagya, 2013). Dünyanın en çok kullanılan ikinci baharatıdır (Lodha ve Mawar 2014)

Cuminum cyminum yüksek miktarda yağ, protein, diyet lifi, B, C, E vitaminleri ve mineraller, özellikle demir sağlayan (Keerthiga vd., 2019; Chaudhry vd., 2020). Dahası, *Cuminum cyminum* çeşitli biyoaktif bileşikler içerir; bunların en önemlileri alkaloidler, flavonoidler ve terpenoidlerdir (Archangia vd., 2019; Singh vd., 2021). Küminaldehit, simen, kimyon alkolü ve diğer terpenoidler, kimyon uçucu yağında bulunan ana uçucu biyomoleküllerdir (Keerthiga vd., 2019; Dinparvar vd., 2020).

Kimyon, dünyanın çeşitli mutfak kültürlerinde belirgin aromatik etkisi (Archangia vd., 2019; Keerthiga vd., 2019; Chaudhry vd., 2020; Dinparvar vd., 2020), hem geleneksel hem de güncel tıpta farmakolojik özellikleri (Keerthiga vd., 2019; Chaudhry vd., 2020; Singh vd., 2021; Balaram vd., 2021) ve ayrıca içecek, parfümeri, gıda (Archangia vd., 2019; Chaudhry vd., 2020) ve güzellik endüstrilerinde (Minooeianhaghighi vd., 2017) bilinen ticari açıdan önemli bir tohum baharatıdır. Kimyon, çoğunlukla pastırma ve sucuk üretiminde kullanılmakla birlikte; peynir yapımında, kek, ekmek, kurabiye gibi unlu mamuller ile bazı likör çeşitlerinde ve etli yemeklere lezzet katmak amacıyla da tercih edilmektedir. Ayrıca, ızgara etler ve ciğer kebaplarında da yaygın şekilde kullanılmaktadır (Uğur ve Kan, 2016; Stanwey, 2013; Bulduk, 2013)

KİŞNİŞ (*Coriandrum sativum* L.)

Apiaceae familyasına ait olan *Coriandrum sativum* L. Akdeniz'e özgü aromatik ve tek yıllıktır. Dünya çapında, kokulu meyveleri, filizleri ve genç yaprakları için, gıda aroma maddesi olarak yetiştirilir.

Kökler, yapraklar, meyveler ve tohumlar dahil olmak üzere bitkinin her bir bölümünde, geniş kullanım yelpazesine sahip kimyasal bileşikler tanımlanmıştır (Mandal ve Mandal, 2015). Bu bileşikler arasında gallik asit, timol ve bornil asetat bulunur (Sun vd., 2016). Yine farklı çalışmalar, kişnişte farklı türde alkaloidler, uçucu yağlar, yağ asitleri, flavonoidler, fenolikler, indirgeyici şekerler, steroller, tanenler ve terpenoidlerin çıkarıldığını ortaya koymuştur (Wei vd., 2019).

Kışniş, mutfak uygulamalarında ve geleneksel tedavilerde geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmasıyla bilinir (Prachayasittikul vd., 2018). Kendine özgü koku ve aroması nedeniyle, gıda endüstrisinde genellikle hem baharat hem de koruyucu olarak yiyeceklere eklenir. Kışniş; yaprak veya tohum halinde, bütün veya öğütülmüş formlarda kullanılabilmektedir (Singletary ve Coriander, 2016). Öğütülmüş meyvesi ise balık, et ve fırınlanmış yiyecekler gibi çeşitli tariflerde tatlandırıcı madde görevi görmüştür (Mahendra ve Bisht, 2011).

Yeşil yaprakları; soslar, salatalar, çorbalar, sebze yemekleri, zeytinyağlılar, mezeler ve bazı soğuk soslarda kullanılırken, kurutulmuş meyveleri gıdalara aroma katmak için tercih edilir. Ayrıca kışniş tohumları, turşulara, salamuralara ve balık konservelerine aroma vermek amacıyla da eklenmektedir (Beyzi ve Güneş, 2017; Tunçtürk, 2011; Mete, 2017).

NANE (*Mentha* spp.)

Nane, Lamiaceae (ballıbabagiller) familyasına ait çok yıllık bir bitki olup, dünya genelinde uçucu yağ üretiminin yanı sıra kurutulmuş baharat olarak yaygın biçimde kullanılan önemli tıbbi ve aromatik bitkilerden biridir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Anavatanı Avrupa ve Asya olan nane bitkisinin Türkiye'de doğal olarak yetişen yedi türü bulunmaktadır: *Mentha arvensis* L., *M. piperita* L., *M. spicata* L., *M. pulegium* L., *M. aquatica* L., *M. longifolia* L. ve *M. suaveolens* Ehrh. (Davis, 1982). Ülke genelinde yaygın olarak yetiştirilmesine rağmen, ticari anlamda en yoğun üretim Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde yapılmaktadır (Kocabıyık ve Demirtürk, 2008).

Mentha türleri, polifenol bakımından zengin bileşikler içermekte olup (Pereira vd., 2013); ayrıca kafeik asit ve onun türevleri olan kaftarik asit, sinamik asit, ferulik asit ve oleanolik asit gibi bileşenleri de bünyesinde barındırmaktadır (Wu vd., 2019). Bunun yanı sıra, luteolin ve türevleri olan apigenin, akasetin, diosmin, salvigenin ve timonin gibi flavonoid bileşikler de bu türlerde tespit edilmiştir (Fatiha vd., 2015). Uçucu yağ açısından değerlendirildiğinde ise mentol, menton, izomenton, mentil asetat, linalool, linalil asetat, lippione, pulegon, karvon, piperitenon oksit ve cis-piperiton epoksit, farklı nane türlerinden elde edilen yağların başlıca bileşenlerini oluşturmaktadır (Moghaddam vd., 2013).

Genel olarak, *M. piperita* türü ilaç ve gıda sanayinde ham madde olarak tercih edilirken, *M. spicata* ve *M. longifolia* türleri daha çok baharat üretimi amacıyla yetiştirilmektedir (Yeşil ve ark., 2018). Uçucu yağ üretimi açısından en yaygın olarak yetiştirilen tür *M. arvensis* olup, onu sırasıyla *M. piperita* ve *M. spicata* izlemektedir. *Mentha* türleri uzun yıllardır mutfaklarda kullanılmaktadır. Yaprakları kurutularak mutfakta baharat olarak değerlendirilir. Çiçekleri ve yapraklarından çay hazırlanır. Ayrıca, yemeklere aroma ve tat katmak için kullanılır (Ayaz, 2020). Hem eterik yağının hem de bitkinin yaş ve kuru halinin geniş bir alanda kullanılabilmesiyle nane en fazla tüketilen baharat bitkilerinden biridir (Taşkaya ve Yılmaz, 2022).

Mentha türlerinin taze ve kurutulmuş bitki materyalleri şekerlemelerin, lezzet arttırıcı maddelerin, ilaçların, kozmetiklerin bir parçası olarak endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Shaikh vd., 2014). Bunun yanında gıda sanayiinde yoğun olarak bitkisel takviye edici gıdalarda ve bitki çaylarında kullanılır.

REZENE (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Rezene (*Foeniculum vulgare*), Apiaceae (Maydanozgiller) familyasına ait olup hem tıbbi hem de aromatik özelliklere sahip bir bitkidir. Türkiye’de yabani formlarına daha çok kuzey bölgelerde rastlanırken, güney ve batı bölgelerinde kültürü yapılmaktadır. Farklı yörelerde “Arapsacı”, “Mayana” veya “Raziyane” gibi adlarla da bilinmektedir (Baytop, 1999). Bitkinin tatlı rezene (varyete dulce) ve acı rezene (varyete vulgare) olmak üzere iki alt çeşidi mevcuttur. Genellikle baharat olarak tatlı rezene türü tercih edilmektedir (Akgül, 1993). Avrupa Farmakopesi, her iki varyetenin meyveleri için ayrı

monograflar içermektedir. Bu iki varyetenin eterik yağ bileşenleri farklılık göstermektedir: Acı rezene türünde eterik yağın temel bileşenleri trans-anetol (%50-75), fenkon (%12-33) ve estragol (%2-5) oranlarında bulunurken; tatlı rezenede bu oranlar trans-anetol için %80-90, fenkon için %1-10 ve estragol için %3-10 arasında değişmektedir (Gruenwald vd., 2004).

Türkiye'de rezene bitkisi ve eterik yağı, tıbbi niteliklerinin yanı sıra; gıda sektöründe alkollü/alkolsüz içecekler, şekerleme ve et ürünleri sanayilerinde, ayrıca turşu ve salatalarda tatlandırıcı olarak kullanılır (Okçu, 2016). Rezene meyvelerinden hazırlanan çay, emziren annelerde laktasyon (süt verme) süresini uzatmaya ve bebeklerin gaz sancılarını hafifletmeye yardımcı olur.

SAFRAN (*Crocus sativus*)

Iridaceae familyasına ait olan Safran (*Crocus sativus* L.), otsu ve çok yıllıktır. Çiğdem bitkisinin bir türünün kurutulmuş kırmızı stigma uçlarından elde edilen değerli bir baharattır (Cardone vd., 2020; Çınar ve Önder, 2019). Sonbaharda mor renkli çiçekler açan bu bitki, halk arasında genellikle “çiğdem” adıyla tanınmaktadır (Mete, 2017).

Safran stigmalarının temel kimyasal yapısı yaklaşık %41-44 nitrojen içermeyen çözünür maddeler, %14-16 su, %12-15 şeker, %11-13 azotlu maddeler, %0.6-0.9 uçucu yağ, %4-5 selüloz ve %4-6 mineral maddelerden oluşur. Ayrıca içinde riboflavin (56–138 µg/g) ve tiamin (0.7–4 µg/g) gibi önemli vitaminler de bulunur. Kimyasal analizler sonucunda yaklaşık 150 uçucu ve aroma bileşiği tespit edilmiştir. Bunlar arasında terpenler, flavonoidler (kersetin ve kemferol), karotenoidler (krosin ve krosetin) ile pikrokrosin ve safranal gibi sekonder metabolitler yer almaktadır (Azarabadi ve Özdemir, 2018).

Safran, hem güçlü renk verme özelliği hem de içerdiği aromatik bileşiklerle yemeklere özgün bir tat ve lezzet kazandırmaktadır. Bu yönüyle özellikle İran, Arap, Orta Asya, Avrupa, Hint ve Fas mutfaklarında sıkça kullanılmaktadır (Kamalipour ve Akhondzadeh, 2011). Aynı zamanda şekerleme, alkollü veya alkolsüz içecekler, tereyağı, peynir ve dondurma gibi gıda ürünlerinin hem rengini hem de lezzetini zenginleştirmek amacıyla da değerlendirilmektedir (Hosseini ve ark., 2010).

Safran, kendine has rengi, acımsı tadı ve otsu kokusuyla antik çağlardan beri küresel çapta gıdalarda kullanılan önemli bir baharattır (Mzabri vd., 2019).

Kullanımında, stigmalar sıvı içinde bekletilerek renk ve aroma maddelerinin sıvıya geçmesi sağlanır ve bu karışım gıdaların üzerine dökülür (Small, 2016). Yoğun etkisinden dolayı birkaç tel kullanılması dahi yeterlidir (Özkul Açıkgöz, 2010). Günümüzde başlıca kullanım alanı mutfaklardır. Çok yönlü bir baharat olarak hem tatlı hem de tuzlu yemeklere eklenerek lezzet oluşumunu sağlar (Small, 2016). Et kızartmaları, güveçler, çorbalar, pilavlar, tatlılar ve hamur işlerinde sıkça kullanılır. Gıda sanayisinde ise içecekler, şekerleme, fırıncılık ürünleri, süt ürünleri (peynir, tereyağı, dondurma) ve et ürünlerinde (sucuk, salam, sosis) renklendirici ve tatlandırıcı olarak değerlendirilir (Yasmin ve Nehvi, 2013). Özellikle soslara, keklere, kurabiyelere, likörlere ve geleneksel zerde tatlısına zengin bir renk ve aroma katmak için eklenir (Mete, 2017).

SUMAK (*Rhus coriaria* L.)

Sumak (*Rhus coriaria* L.), Anacardiaceae (Menengiçgiller) familyasına mensup, doğal olarak yetişen şifalı ve aromatik bir bitki türüdür (Akay vd., 2023). Türkiye'de "somalık, somalık, tetri ve titre" gibi yöresel olarak farklı isimler almıştır (Ünder ve Saltan, 2019). Geleneksel ve modern kullanımlarıyla dikkat çeken sumak, biyoaktif bileşenler açısından zengin bir bitki türüdür (Canbey, 2025).

Bitkinin bileşiminde; fenolik bileşikler, antosiyaninler, flavonoidler, mineraller, organik asitler, proteinler, tanenler, uçucu yağlar ve vitaminler bulunur (Taşkıran vd., 2023). Bu fitokimyasallar, sumağa biyoaktif özellikler kazandırır. Biyoaktif bileşikler arasında, bitkinin meyvelerinde yoğunlaşan uçucu yağ önemlidir (Giovanelli vd., 2017). Uçucu yağdaki ana bileşen ise beta-karyofilen'dir (Giovanelli vd., 2017; Johnson vd., 2020). İçerdiği bu zengin biyoaktif bileşikler (özellikle antosiyaninler, fenolik asitler, flavonoidler ve organik asitler) sayesinde sumak, hem farmakolojik hem de beslenme açısından tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Akay vd., 2023; Zannou vd., 2025). Sumak, yüzyıllardır baharat ve geleneksel halk tıbbı amaçlı kullanılan bir bitkidir (Ünder ve Saltan, 2019). Gıdalara çeşni ve lezzet vermek amacıyla yaygın olarak kullanılır (Moghadam vd., 2020). Uçucu yağın içerdiği bileşikler, sumağa eşsiz bir aroma kazandırarak gıda endüstrisindeki kullanımını artırır (Zannou vd., 2025). Uçucu yağda bulunan beta-karyofilen, sumağın karakteristik baharat lezzetini ve aromasını oluşturan ana unsurdur

(Morshedloo vd., 2018). Baharat olarak kullanılacak sumak meyveleri, ağaçta olgunlaşıp kızardıktan sonra kurutulur ve öğütülür (Zannou vd., 2025).

Türkiye ve İran'da kanatlı ve sebze yemeklerinde çeşni ve lezzet verici olarak kullanılır (Ravindran vd., 2012). Akdeniz bölgelerinde ise et ve balık yemeklerinde yaygın bir baharattır (Alsamri vd., 2021). Dünya genelinde genellikle etlere, sebzelere ve pilavlara eklenir (Zannou vd., 2025). Türkiye'de özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kuru dolmalar, kebab çeşitleri ve et yemeklerinin yanında tüketilen salatalara ilave edilir (Güvenç vd., 2017). Gıdalara ekşi limon tadı katma özelliği, ülkemizde baharat olarak kullanılmasının temel nedenidir (Abu Reidah vd., 2014). Baharat kullanımının yanı sıra, sumak meyvesinden çay hazırlanır (Akay vd., 2023). Ayrıca, tek başına ya da diğer baharatlarla birlikte; içeceklerde, soslarda, iştah açıcı ürünlerde ve gıdalarda doğal bir asitlik dengeleyici olarak da kullanılmaktadır (Abu Reidah vd., 2014). Sumağın bileşimindeki besin unsurları sayesinde gösterdiği antioksidan özellik, zeytinyağının raf ömrü üzerinde olumlu etki yaratır (Doğan ve Akgül, 2005; Ostadrahimi vd., 2025).

SUSAM (*Sesamum indicum*)

Susam, *Pedaliaceae* ailesine ait tek yıllık bir bitkidir (Morris ve ark., 2021). Susam tohumunun direk tüketimi yerine lezzet verici olarak, gıda sanayinde tahin ve helvası yapılarak, yağı ise kozmetik sanayinde kullanılmaktadır (Onur, 2017)

Susam Lignanlar, polifenoller, fitosteroller, fenoller, antrakınonlar, naftokinonlar, triterpenler, serebrosid, yağ asitleri, vitaminler, proteinler, esansiyel amino asitler, şekerler ve başka çeşitli organik bileşikler dahil olmak üzere çok sayıda fitokimyasal bileşik içermektedir (Mili vd., 2021). Bu içerikler susamın yaprakları, kökleri, tohumları ve yağı ile çeşitli tıbbi faydaları için kullanılmasını sağlamaktadır.

Susam tohumları Asya ve Orta Doğu ülkelerinde, mutfaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da ekmek gibi çeşitli yiyeceklere tat vermek için ve garnitür olarak kullanılır (Amoo vd., 2017; Mohamed vd., 2021). Susam tohumunun balla ya da şurupla karıştırılarak şekerlemelerde, kurabiyelerde, bisküvi ve krakerlerde, kabuklarından ayrılmış susam tohumları ekmek ve unlu mamullerin dış yüzeyinde, susam yağının diğer yağlarla karıştırılarak lezzeti arttırmada, margarin üretiminde, kızartmalarda,

salata sosu olarak, kozmetik sanayinde vücut kremi ve sabun yapımında kullanılmaktadır. Türkiye’ de dahil olmak üzere Güney Asya ülkelerinde, genelde susam “Tahin ve Helva” üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bazı yerel ürünlerin hazırlanmasında yine susam kullanılmaktadır (Tan, 2011). Türkiye’de susam, ekmek, simit, helva ve tahin yapımında uzun süredir yeme kültürünün önemli bir parçası olarak kullanılmaktadır. Tahin, tahin helvası ile dünyaca meşhur “simit” üretiminde temel katkı maddesi olmasının yanı sıra, yöresel yemeklere özgün tatlar kazandırması sebebiyle ülkemiz kültüründe önemli bir yere sahiptir (Şahin, 2014).

TARÇIN (*Cinnamomum* spp.)

Tarçın, Asya kökenli, yaprak dökmeyen ve hoş kokulu bir ağacın kabuklarından soyularak elde edilir. Halk arasında “Darçın,” “Loğusa” ve “Şerbet Kokusu” isimleriyle anılan tarçın, *Cinnamomum* türlerine ait bitkilerden sağlanır. İki ana türü olan Seylan Tarçını (*Cortex Cinnamomi zeylanici*) ve Çin Tarçını (*Cortex Cinnamomi cassiae*) içerdiği tanen ve %1-2 oranındaki uçucu yağ ile ayırt edilir (Demirci ve Coşkun, 2025). Gerçek tarçın “Seylan tarçını” olarak da adlandırılan türünden elde edilir. Tarçın uçucu yağının %60’i sinnamik aldehit ve %10’u öjenol’dür (Baydar, 2022).

Tarçının baharat olarak kullanımı aynı isimle anılan ağacın gövde ve dal kabuklarının dış kısmının sıyrılarak elde edilen iç kabuğun kurutulup öğütülmesiyle sağlanmaktadır. Ayrıca çubuk formundaki tarçın, kabukların iç içe sarılarak rulo şeklinde kıvrılmasıyla üretilmektedir (Demirci ve Coşkun, 2025).

Tarçın, belirgin ve uzun süreli aroması, tatlımsı ve hafif yakıcı tadı ile mutfaklarda tercih edilmektedir. Özellikle sütlü tatlılar, meyve sosları, kahve, çikolata ve sıcak içeceklerde yaygın olarak kullanılmakta, yiyeceklere zengin bir aroma ve tat katmaktadır (Bozkurt, 2010).

Tarçın, yemeklere lezzet katmanın yanı sıra iştah açıcı, hafif keskin ve ısıtıcı etkileriyle de dikkat çekmektedir. Tatlılarla, şekerlemelerle, sütlü tatlılarla, boza, sahlep gibi içecekler ile sos ve çorba gibi yiyeceklerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürson ve Özçelikay, 2005). Osmanlı mutfağında tarçın, sıklıkla kullanılan baharatlar arasında yer almıştır (Samancı, 2016). Ülkemizde tavuk çorbasına tarçın eklenirken, işkembeci esnafı tarafından

hazırlanan kelle paça çorbalarında tarçın ve karanfil gibi baharatlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. (Samancı, 2016). Kebap hazırlıklarında, yaygın olarak tercih edilen baharatlar, tarçın ve kimyon olarak belirlenmiştir (Yerasimos, 2014). Ayrıca, koyun eti, kuyruk yağı ve köfte ile hazırlanan kalye türlerinde ise kişniş, karabiber, tarçın, zencefil, safran gibi baharatlar kullanılmıştır. (Samancı, 2016). Osmanlı dönemi mutfağında pilav tariflerinde kullanılan baharatlar arasında tarçın biber, yenibahar ve bazen mastika olarak bilinen sakız gibi öğeler ile birlikte kullanılmıştır. Osmanlı mutfağında sebze yemeklerinde ve Dolmalarda genellikle karabiber (fülül) ve tarçın öne çıkmaktadır. (Yerasimos, 2014). 18. yüzyılda patlıcanlı pilav tarçın, safran ve sakız ile hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra, iç pilavlar, kuru meyveler ve yemişlerle birlikte kakule, karanfil, yenibahar ve tarçın gibi baharatlar içeren "ağır yemek" kategorisine dahil edilmiştir. (Yerasimos, 2014). Soğan böreği ve tas (kapak) böreği gibi geleneksel Türk böreklerinde, baharat olarak karabiberin yanı sıra tarçın kullanıldığı tespit edilmiştir. (Yerasimos, 2014). Yemek dışında, kış aylarında sıklıkla tüketilen içecekler arasında tarçın şerbeti yer almakta; elma şerbeti, nar şerbeti, meyan kökü şerbeti ve lohusa şerbeti gibi içeceklerin hazırlanmasında tarçın kullanılmaktadır (Sarioğlu ve Cevizkaya, 2016).

TARHUN (*Artemisia dracunculus*)

Anadolu'da "tarhun" olarak bilinen "*Artemisia dracunculus* L"., Asteraceae (papatya) familyasına ait, mutfak geleneklerinde yıllardır kullanım geçmişi olan çok yıllık bir bitkidir. Aromatik yaprakları baharat, salata ve çorbada kullanımı için yetiştirilmektedir (Yılmaz, 2021).

Türkiye'de az bilinen bir baharat olan tarhun, özellikle Bayburt, Erzurum, Gaziantep ve Şanlıurfa bölgelerinde yetiştirilmektedir (Ulu vd., 2020). Tarhunun koyu yeşil yaprakları hem taze hem de kuru olarak mutfaklarda kullanılmaktadır. Taze tarhun, kurutulmuş haline göre daha yoğun bir aromaya sahiptir. Tarhunun yapraklı dalları iyot, mineral tuzlar ile A ve C vitamini açısından oldukça zengindir (Çil vd., 2015).

Tarhun, genellikle et, soslar, pırnç yemekleri, balık, sirke ve peynirde baharat olarak tercih edilir (Ekiert vd., 2021). Koruyucu özellikleri nedeniyle lahana ve salatalık turşusu, balkabağı marineleri, ayrıca tarhun hardalı ve bitkisel sirke yapımında kullanılır. Yemeklerin tadını geliştirdiği için tuzsuz

diyet uygulayanlara önerilir (Çil vd., 2015). Tarhun, yağda kızartılmış şekilde tavuk, çorba, deniz ürünleri, av etlerinin ve balıkların üzerine ilave edilir. Nane ve anason karışımına benzeyen aromasıyla sirkeli yemekler ve balıkta özel bir lezzet sağlar. (Türközü vd., 2014). Ayrıca infüzyonlara ve serinletici içeceklere katılabilir. Taze tarhun yaprakları ordövr olarak, et yemeklerinde ve sebze salatalarında garnitür olarak, meyve salatalarında ise kaliteyi artırıcı olarak kullanılmaktadır (Ekiert vd., 2021). Osmanlı döneminde yapılan terhane ve ak çorba adlı çorbaların yapımında tarhun baharat olarak kullanılmıştır (Ayyıldız vd., 2019). Anadolu’da kesme çorbası, salata gibi yemeklere katılan tarhun ayrıca bazı bölgelerde tarhana yapımında da kullanılmaktadır (Çil vd., 2015). Tarhun, Erzurum mutfak kültüründe özellikle çorbalarda kullanılan baharat türleri arasında yer alır (Akoğul ve Bayraktar., 2020). Denizli’de isli yoğurt kullanılarak yapılan ak çorbada baharat olarak tarhun otu kullanılmaktadır. Konya’da tarhun otu çorbası yapılmaktadır (Esen ve Seçim, 2020). Tarhun, Gaziantep’te pilav, börek ve tatlıların yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, Gaziantep’te geleneksel olarak hazırlanan ve kışlık ürünlerle yapılan alaca çorba, kurutulmuş biber ve tarhun içerdiği için aynı zamanda “kış çorbası” olarak da adlandırılır. Bu çorbanın üzerine, yağda kavrulmuş tarhun ve kırmızıbiber eklenerek servis edilir (Yıldırım ve Sönmezdağ, 2018). Bununla birlikte tarhun, Gaziantep’te çorba yapımında kullanılan karabiber, nane, pul biber, toz biber gibi baharatlardan sonra en çok kullanılan baharattır (Süzer ve Özkanlı, 2020). Güneşte kurutulup çekilerek kullanılmaktadır Bandırma-Erdek yöresinde geleneksel olarak düğünlerde yapılan bir et yemeği olan ‘Kapama’ yapımında tarhun, kuzu etinin üzerine katılan baharatlar arasında yer alır (Saçılık vd., 2018). Tarhun, geleneksel olarak ziron, kıymalı su böreği gibi hamur işlerinin yanı sıra; yavan çorba, ayran çorbası ve kesme çorba gibi farklı çorba türlerinde baharat olarak kullanılmaktadır.

YENİBAHAR (*Pimenta dioica*)

Yenibahar, ya da diğer adıyla “Jamaika Biberi”, Mersingiller familyasına ait, yaprağını dökmeyen bir bitkidir. Genellikle Amerika’nın tropikal bölgelerinde yetişen bu bitkinin meyveleri, yeşilken toplanıp kurutularak elde edilir (Altuntaş ve Erdoğan, 2017).

Oldukça kokulu bir baharat olan yenibahar, hindistan cevizi, tarçın, karanfil, kakule, karabiber ve zencefil gibi birçok baharatın kokusunu

barındırması nedeniyle İngilizcede “Allspice” (tüm baharatlar) olarak isimlendirilir (Peter, 2004). Yenibahar meyvelerinde %3-4 oranında uçucu yağ bulunur. Karanfil kokusunu anımsatan bu uçucu yağın en önemli (%60-75) bileşeni öjenoldür (Baydar, 2022). Yenibahar, çeşitli yemeklerde baharat olarak kullanılır ve kullanıldığı yemeklere hoş bir koku ile güzel bir tat verir.

ZERDEÇAL (*Curcuma longa* L.)

Güney ve Güneydoğu Asya kökenli bir bitki olan zerdeçalın kendine has acı ve yakıcı bir tadı olan rizomları baharat olarak kullanılır. Toprak altından çıkarılan zerdeçal rizomları kaynar suda bir süre tutulur, birkaç hafta kurutulur ve yüzeyleri parlatılarak cilalanır. Öğütülmüş zerdeçal en fazla “köri” yapımında kullanılır. Zerdeçalın uçucu yağı rizomlarında %1.5-6.0 civarındadır. Uçucu yağının önemli iki bileşeni turmeron ve ar-turmerondur. Zerdeçal tohumları bir sarı renk pigmenti olan kurkumin içerir: kurkumin miktarı arttıkça kalitesi de artar (Baydar, 2022).

Et yemeklerinin yanında, peynir turşusu, balık çorbası, soslar, tavuk bulyon, söğüş, pilav ve çeşitli sebze yemeklerine çeşni olarak kullanılmaktadır. Tahıl yemeklerinde, hardal ve turşu yapımında, tatlı kek yapımında kullanılır. Kimi zaman safranın yerine de kullanılmaktadır (Yiğit, 2016). Yapılan çalışmalarda Zerdeçal baharatının kebab ve pilav yemeklerinde ve tatlılarda kullanıldığı tespit edilmiştir (Ayyıldız ve Sarper, 2019).

ZENCEFİL (*Zingiber officinale*)

Zencefil (*Zingiber officinale*), Hindistan ve Çin'de antik çağlardan bu yana bilinen ve gıda, ilaç ve içecekler dahil olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılan, küresel çapta en popüler baharatlardan biridir.

Taze zencefilin bileşimi yaklaşık olarak %80.9 nem, %2.3 protein, %0.9 yağ, %1.2 mineral, %2.4 lif ve %12.3 karbonhidrat içerir. İçerdiği mineraller arasında demir, kalsiyum ve fosfor bulunur. Ayrıca tiamin, riboflavin, niasin ve C vitamini gibi önemli vitaminler de mevcuttur.

Zencefilde %1-3 oranında uçucu yağ bulunur. Bu yağdaki başlıca aktif bileşenler seskiterpenlerdir; bunlar bisapolen, zingiberene ve zingerol olarak sıralanır. Zencefile özgü fenolik bileşikler ise shogaol ve gingerol bileşenleridir (Ghosh, 2011). Eski çağlardan bu yana zencefil, lezzetleri artırmak, yiyeceklere keskinlik katmak ve renk vermek amacıyla küçük miktarlarda baharat olarak eklenmiştir. Hint ve Çin mutfaklarında kullanımı oldukça yaygın olsa da,

küresel olarak popülerdir ve köri harmanları ile masala karışımlarının önemli bir unsurudur. Zencefil; zencefil birası, zencefilli gazoz ve zencefil şarabı dahil olmak üzere hem alkollü hem de alkolsüz içeceklerin üretiminde kullanılır. Pişirme ve fırıncılıkta, özellikle kek ve bisküvilere aroma ve lezzet katan popüler bir baharattır.

Ayrıca zencefilden; şerbet, meşrubat, likör, şarap, turşu ve reçel yapılır. Mutfakta geniş bir alanda kullanılan zencefil; çorbalar, soslar, çeşitli dolmalar, kümes hayvanları, deniz mahsulleri, etli yemekler, salatalar, soslar, kompostolar, beyaz peynir çeşitleri, meyve salataları, pastalar, turşu/salamuralar ve çörekler gibi pek çok ürüne lezzet katmak için eklenir (Mete, 2017; Aschl, 2010; Yiğit, 2016).

SONUÇ

Tıbbi aromatik bitkilerin en önemli kullanım alanlarından birisi baharat olarak değerlendirilmesidir. Dolayısıyla tıbbi ve aromatik bitkilerin pek çoğu aynı zamanda değerli birer baharat ürünüdür. Dünya mutfaklarının gıda ürünleri birbirine benzerdir ancak kullanılan baharatların çeşitliliği ile baharat sosları ve sunum şekilleri dünya mutfaklarını farklı kılmaktadır. Ayrıca dünya tarihi üzerinde de büyük bir etkiye sahip olan baharat bitkileri yüzyıllar boyu kralların ve soyluların yiyeceklerini çeşnilendirmek, çeşitli insan hastalıklarını tedavi etmek için ilaç şeklinde, değerli değişim ve ticaret öğeleri ve para kaynağı olarak kullanılmıştır. İnsan metabolizması üzerinde önemli faydaları olan fonksiyonel gıdalar olarak adlandırılan baharat bitkileri sadece gıda hammaddesi ya da gıda katkı maddesi olarak değil, içerdikleri zengin bileşenlerden dolayı alkollü ya da alkolsüz içecek yapımında, bitkisel ilaç, kozmetik, tekstil, boya, esans, tütsü ve buhur gibi birçok alanda değerlendirilmektedir. Çok değerli bileşenlere sahip farklı alanlarda yaygın tüketimi bulunan tıbbi ve aromatik özellikli baharat bitkilerinin daha etkili bir şekilde araştırılması ve incelenmesi önem arz etmektedir. Sonuç olarak, günümüzde tüketicilerin doğal ürünleri tercih etme ve sağlık yaşam sürdürmeye yönelik çabalarından dolayı, biyoaktif maddelerin kaynağı olarak baharat bitkilerinin kullanımı giderek artmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abu-Reidah, I. M., Jamous, R. M., & Ali-Shtayeh, M. S. (2014). Phytochemistry, pharmacological properties and industrial applications of *Rhus coriaria* L. (Sumac). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 7(4), 233–244.
- Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Ashraf, S. A., Saad, H. H., Wahab, S., Khan, M. I., ... & Athar, M. T. (2021). An updated knowledge of black seed (*Nigella sativa* Linn.): Review of phytochemical constituents and pharmacological properties. *Journal of Herbal Medicine*, 25, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2020.100404>
- Akay, E., Yılmaz, İ., & Eyioglu, U. (2023). Sumak (*Rhus coriaria* L.) bitkisinin fitoterapide kullanımı ve gastronomik değeri. *Journal of Academic Tourism Studies*, 4(1), 56–65.
- Akbaş, S., & Bozlar, M. A. (2022). İstanbul'daki aktarlarda çok satılan bitki ve bitkisel ürünlerin incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 10(2), 603–615.
- Akgül, A. (1989). Volatile oil composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivating in Turkey. *Food/Nahrung*, 33(1), 87–88. <https://doi.org/10.1002/food.19890330123>
- Akgül, A. (1993). *Baharat bilimi & teknolojisi* (1. baskı). Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.
- Akoğul, E., & Bayraktar, Z. A. (2020). Erzurum mutfak kültüründe kış hazırlıklarının incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 1331–1345.
- Alejo-Armijo, A., Altarejos, J., & Salido, S. (2017). Phytochemicals and biological activities of laurel tree (*Laurus nobilis*). *Natural Product Communications*, 12(5), 743–757.
- Alekseeva, M., Rusanova, M., Rusanov, K., & Atanassov, I. (2023). A set of highly polymorphic microsatellite markers for genetic diversity studies in the genus *Origanum*. *Plants*, 12(4), 824. <https://doi.org/10.3390/plants12040824>
- Al Othman, Z. A., Ahmed, Y. B. H., Habila, M. A., & Ghafar, A. A. (2011). Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum* fruit

- samples using high performance liquid chromatography. *Molecules*, 16(10), 8919–8929. <https://doi.org/10.3390/molecules16108919>
- Almoyad, M. (2018). Synergism from combination of targeted therapy and phytochemicals in colorectal cancer. *Journal of Cancer Therapy*, 9(10), 787–797.
- Almshawit, H., & Macreadie, I. (2017). Fungicidal effect of thymoquinone involves generation of oxidative stress in *Candida glabrata*. *Microbiological Research*, 195, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.11.002>
- Alsamri, H., Athamneh, K., Pintus, G., Eid, A. H., & Iratni, R. (2021). Pharmacological and antioxidant activities of *Rhus coriaria* L. (Sumac). *Antioxidants*, 10(1), 1–28. <https://doi.org/10.3390/antiox10010073>
- Altuntaş, E., & Erdoğan, M. (2017). Yenibahar (*Pimenta dioica* L.) meyvesinin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(3), 316–320.
- Aminian, A. R., Mohebbati, R., & Boskabady, M. H. (2022). The effect of *Ocimum basilicum* L. and its main ingredients on respiratory disorders: An experimental, preclinical, and clinical review. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 805391. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.805391>
- Amoo, S. O., Okorogbona, A. O. M., Du Plooy, C. P., & Venter, S. L. (2017). *Sesamum indicum*. In *Medicinal spices and vegetables from Africa* (pp. 563–575). Elsevier.
- Anonim. (2024). Tohum Tescil ve Sertifikasyon Merkezi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM>
- Ananthan, R., Subhash, K., & Longvah, T. (2018). Capsaicinoids, amino acid and fatty acid profiles in different fruit components of the world hottest Naga king chilli (*Capsicum chinense* Jacq). *Food Chemistry*, 238, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.100>
- Anzano, A., de Falco, B., Grauso, L., Motti, R., & Lanzotti, V. (2022). Laurel, *Laurus nobilis* L.: A review of its botany, traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Phytochemistry Reviews*, 1–51. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09791-8>
- Archangia, A., Bahram, H., & Mohammadi-Nejad, G. (2019). Association between seed yield-related traits and cDNA-AFLP markers in cumin (*Cuminum cyminum*) under drought and irrigation regimes. *Industrial*

- Crops and Products*, 133, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.013>.
- Aschl, M. (2010). *Baharat ve otlarla şifalı yemek tarifleri*. İstanbul: Kaknüs Yayınları.
- Ashokkumar, K., Murugan, M., Dhanya, M. K., Pandian, A., & Warkentin, T. D. (2021). Phytochemistry and therapeutic potential of black pepper [*Piper nigrum* (L.)] essential oil and piperine: A review. *Clinical Phytoscience*, 7(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40816-021-00279-2>
- Ayyıldız, S., & Sarper, F. (2019). Antioksidan baharatların Osmanlı saray mutfağındaki yeri. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 363–380.
- Aziz, E., Batool, R., Akhtar, W., Shahzad, T., Malik, A., Shah, M. A., & Thiruvengadam, M. (2022). Rosemary species: A review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *South African Journal of Botany*, 151, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.001>
- Azizah, N. S., Irawan, B., Kusmoro, J., Safriansyah, W., Farabi, K., Oktavia, D., ... & Miranti, M. (2023). Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.): A review of its botany, phytochemistry, pharmacological activities, and biotechnological development. *Plants*, 12(24), 4148. <https://doi.org/10.3390/plants12244148>
- Azarabadi, N., & Özdemir, F. (2018). Determination of crocin content and volatile components in different qualities of Iranian saffron. *The Journal of Food*, 43(3), 476–489. <https://doi.org/10.1515/jfcd-2017-0062>
- Ayhan, F., & Altınkaynak, D. (2020). *Kekik fizibilite raporu ve yatırımcı rehberi*.
- Bahar, B., & Altug, T. (2009). Flavour characterization of sumach (*Rhus coriaria* L.) by means of GC/MS and sensory flavour profile analysis techniques. *International Journal of Food Properties*, 12, 379–387. <https://doi.org/10.1080/10942910802102757>
- Balaram, P. K., Vidhya, N., Rojmathi, K., Revathi Satheesh, E., Sowmiya, P., Sabarish, T., & Mahalingam, P. (2021). Antibacterial and phytochemical analysis of *Cuminum cyminum* (Cumin) and *Illicium verum* (Star Anise) against clinical pathogens. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10, 938–947.

- Başer, K. H. C. (2012). Zerdeçal (*Curcuma longa* L.). *Bağbahçe Dergisi*, 44, 26–27.
- Batiha, G. E. S., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., & Rashwan, E. K. (2020). *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. *Biomolecules*, 10(2), 252. <https://doi.org/10.3390/biom10020252>
- Bayar, F. U. (2020). Doğadan gelen mucize: Zencefil (*Zingiber officinale*). *Bahçe*, 49(2), 99–110.
- Baydar, H. (2016). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No. 51. Isparta.
- Baydar, H. (2019). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi* (7. basım). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Baydar, H. (2022). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi* (10. basım). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Baytop, T. (1999). *Türkiye’de bitkilerle tedavi* (2. baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri.
- Benny, A., & Thomas, J. (2019). Essential oils as treatment strategy for Alzheimer’s disease: Current and future perspectives. *Planta Medica*, 85(03), 239–248. <https://doi.org/10.1055/a-0822-6304>
- Benazzouz-Smail, L., Achat, S., Brahmi, F., Bachir-Bey, M., Arab, R., Lorenzo, J. M., ... & Madani, K. (2023). Biological properties, phenolic profile, and botanical aspect of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. seeds: A comparative study. *Molecules*, 28(2), 571. <https://doi.org/10.3390/molecules28020571>
- Beyzi, E., & Güneş, A. (2017). Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) bitkisinin uçucu yağ bileşenleri üzerine bor uygulamasının etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 146–152.
- Bezli, Ş. (2020). *Dereotu (Anethum graveolens L.) ekim yöntemlerini iyileştirme olanakları* (Yüksek lisans tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Bilgin, A. (2004). *Osmanlı mutfağı (1453–1650)*. İstanbul: İstanbul Kitapevi Yayınları.

- Bozdemir, Ç. (2019). Türkiye’de yetişen kekik türleri, ekonomik önemi ve kullanım alanları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3).
- Bozkurt, A. (2010). Özel bir hastaneye by-pass geçirmek için yatan tip-2 diyabetli hastalarda diyetle eklenen tarçının bazı kan değerleri üzerindeki etkisinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bulduk, S. (2013). *Gıda teknolojisi*. Ankara: Detay Yayınları.
- Canbey, İ. (2025). Sumak (*Rhus coriaria* L.) bitkisinin biyoaktif bileşikleri, etkileri ve kullanım alanları. *Gıda Bilimi ve Mühendisliği Araştırmaları*, 4(1), 17–28.
- Carrubba, A., & Lombardo, A. (2020). Plant structure as a determinant of coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed and straw yield. *European Journal of Agronomy*, 113, 125969. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.125969>
- Chaudhry, Z., Khera, R. A., Hanif, M. A., & Ayub, M. A. (2020). *Medicinal plants of South Asia*. Amsterdam: Elsevier.
- Chenni, M., El Abed, D., Neggaz, S., Rakotomanomana, N., Fernandez, X., & Chemat, F. (2020). Solvent-free microwave extraction followed by encapsulation of *O. basilicum* L. essential oil for insecticide purpose. *Journal of Stored Products Research*, 86, 101575. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101575>
- Corpas, F. J., Freschi, L., Rodríguez-Ruiz, M., Mito, P. T., González-Gordo, S., & Palma, J. M. (2018). Nitro-oxidative metabolism during fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, 69, 3449–3463. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery161>
- Cortés-Rojas, D. F., de Souza, C. R., & Oliveira, W. P. (2014). Clove (*Syzygium aromaticum*): A precious spice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4, 90–96. <https://doi.org/10.1016/S1995-7645>.
- Çil, Y., & Kara, K. (2015). Farklı dikim sıklıklarının tarhun (*Artemisia dracunculus* L.) bitkisinin bazı agronomik özellikleri ve uçucu yağ oranları üzerine etkileri. *Journal of Agricultural Sciences*, 21(3), 373–381.
- Çoban, Ö. E., & Patır, B. (2010). Antioksidan etkili bazı bitki ve baharatların gıdalarda kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 7–19.

- Davis, P. H. (1982). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vol. 2). Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press.
- De Macedo, L. M., Santos, É. M. D., Militão, L., Tundisi, L. L., Ataide, J. A., Souto, E. B., & Mazzola, P. G. (2020). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., syn *Salvia rosmarinus* Spenn.) and its topical applications: A review. *Plants*, 9(5), 651.
- De Oliveira, J. R., Camargo, S. E. A., & De Oliveira, L. D. (2019). *Rosmarinus officinalis* L. (rosemary) as therapeutic and prophylactic agent. *Journal of Biomedical Science*, 26(1), 5.
- Demirci, B., & Coşkun, R. (2025). Türkiye'nin coğrafi işaretli ürünlerinde tarçın. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 32–39.
- Diniz do Nascimento, L., Barbosa de Moraes, A. A., Santana da Costa, K., Pereira Galúcio, J. M., Taube, P. S., Leal Costa, C. M., ... & Guerreiro de Faria, L. J. (2020). Bioactive natural compounds and antioxidant activity of essential oils from spice plants: New findings and potential applications. *Biomolecules*, 10(7), 988.
- Dinparvar, S., Bagirova, M., Allahverdiyev, A. M., Abamor, E. S., Safarov, T., Aydogdu, M., & Aktas, D. (2020). A nanotechnology-based new approach in the treatment of breast cancer: Biosynthesized silver nanoparticles using *Cuminum cyminum* L. seed extract. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 208, 111902.
- Dobroslavić, E., Repajić, M., Dragović-Uzelac, V., & Elez Garofulić, I. (2022). Isolation of *Laurus nobilis* leaf polyphenols: A review on current techniques and future perspectives. *Foods*, 11(2), 235.
- Dogan, M., & Akgul, A. (2005). Characteristics and fatty acid compositions of *Rhus coriaria* cultivars from Southeast Turkey. *Chemistry of Natural Compounds*, 41(6), 724–725.
- Dumanoğlu, Z., & Mokhtarzadeh, S. (2021). Farklı fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) populasyonlarına ait tohumların bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Akademik Ziraat Dergisi*, 10(1), 97–104.
- Ekiert, H., Świątkowska, J., Knut, E., Klin, P., Rzepiela, A., Tomczyk, M., & Szopa, A. (2021). *Artemisia dracunculus* (Tarragon): A review of its

- traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 1–27.
- Ekren, S., Sönmez, Ç., Sancaktaroğlu, S., & Bayram, E. (2009). Farklı dikim sıklıklarının fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinin verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(3), 165–173.
- Erol, B., Sari, U., Amasyalı, A., Ozkanlı, S., Sogut, S., Hanci, V., ... & Yencilek, F. (2017). Comparison of combined antioxidants and thymoquinone in the prevention of testis ischemia–reperfusion injury. *Andrology*, 5(1), 119–124.
- Esen, M. F., & Seçim, Y. (2020). Konya mutfağında yer alan yöresel yemeklerin işletme menülerinde yer alma düzeylerinin tespit edilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(1), 279–294.
- Fatiha, B., Didier, H., Naima, G., Khodir, M., Martin, K., Léocadie, K., ... & Pierre, D. (2015). Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, 74, 722–730.
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(1), 52–67.
- Fратиanni, F., D’Acerno, A., Cozzolino, A., Spigno, P., Riccardi, R., Raimo, F., ... & Tucci, M. (2020). Biochemical characterization of traditional varieties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) of the Campania region, Southern Italy. *Antioxidants*, 9(7), 556.
- Geberemeskel, G. A., Debebe, Y. G., & Nguse, N. A. (2019). Antidiabetic effect of fenugreek seed powder solution (*Trigonella foenum-graecum* L.) on hyperlipidemia in diabetic patients. *Journal of Diabetes Research*, 2019, 8507453.
- Gericke, S., Lübben, T., Wolf, D., Kaiser, M., Hannig, C., & Speer, K. (2018). Identification of new compounds from sage flowers (*Salvia officinalis* L.) as markers for quality control and the influence of the manufacturing technology on the chemical composition and antibacterial activity of sage flower extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(8), 1843–1853.

- Ghosh, A. K. (2011). Zingiber officinale: A natural gold. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2(1).
- Giovanelli, S., Giusti, G., Cioni, P. L., Minissale, P., Ciccarelli, D., & Pistelli, L. (2017). Aroma profile and essential oil composition of *Rhus coriaria* fruits from four Sicilian sites of collection. *Industrial Crops and Products*, 97, 166–174.
- Goel, S., & Mishra, P. (2018). Thymoquinone inhibits biofilm formation and has selective antibacterial activity due to ROS generation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(4), 1955–1967.
- Göncü, B., & Akın, M. S. (2017). Baharat çeşitlerinin peynirde kullanımı. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1, 44–53.
- Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (2004). *PDR for Herbal Medicines* (3rd ed.). New Jersey: Medical Economics Company.
- Gu, L. B., Liu, X. N., Liu, H. M., Pang, H. L., & Qin, G. Y. (2017). Extraction of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed oil using subcritical butane: Characterization and process optimization. *Molecules*, 22, 228.
- Gürson, O., & Özçelikay, G. (2005). Tarçın'ın tarih boyunca ve günümüzdeki kullanımı. *Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 18(18), 171–183.
- Gürsoy, D. (2012). *Baharat ve güç*. İstanbul: Oğlak Yayınları.
- Güvenç, G., Özcan, A., Bükücü, Ş. B., & Sütyemez, M. (2017). Bazı derici sumak (*Rhus coriaria* L.) genotiplerinin fenolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4), 477–483.
- Heshmat-Ghahdarijani, K., Mashayekhlasl, N., Amerizadeh, A., Jervevani, Z. T., & Sadeghi, M. (2020). Effect of fenugreek consumption on serum lipid profile: A systematic review and meta-analysis. *Phytotherapy Research*, 34, 2230–2245.
- Hikmawenti, N. P. E., Hariyanti, N., & Sahera, N. (2019). Chemical components of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L. stem essential oils and evaluation of their antioxidant activities using DPPH method. *Pharmaceutical Science and Research*, 6(3), 149–154.
- Hoffmeister, M., Maier, W., Thines, M., & Becker, Y. (2020). Tracking host infection and reproduction of *Peronospora salviae-officinalis* using an

- improved method for confocal laser scanning microscopy. *Plant Pathology*, 69(5), 922–931.
- Hassanein, K. M., Al-Emam, A., & Radad, K. (2016). Prophylactic effects of thymoquinone against carbon tetrachloride-induced hepatic damage in Sprague-Dawley rats. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(2), 167–171.
- Hosseini, M., Hemati, K., & Karbasi, A. R. (2010). Study of socio-economic effects of ten years research on saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Horticulturae*, 850, 287–292.
- Işık, S., Gönüz, A., Arslan, Ü., & Öztürk, M. (1995). Afyon ilindeki bazı türlerin etnobotanik özellikleri. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 2(1), 161–166.
- Jakovljević, M., Jokić, S., Molnar, M., Jašić, M., Babić, J., Jukić, H., & Banjari, I. (2019). Bioactive profile of various *Salvia officinalis* L. preparations. *Plants*, 8(3), 55.
- Johnson, S. A., Rodriguez, D., & Allred, K. (2020). A systematic review of essential oils and the endocannabinoid system: A connection worthy of further exploration. *Hindawi Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 1–13.
- Kabir, Y., Shirakawa, H., & Komai, M. (2019). Nutritional composition of the indigenous cultivar of black cumin seeds from Bangladesh. *Progress in Nutrition*, 21, 428–434.
- Kamalipour, M., & Akhondzadeh, S. (2011). Cardiovascular effects of saffron: An evidence-based review. *Journal of Tehran University Heart Center*, 6(2), 59–61.
- Karakuş, M., Baydar, H., & Erbaş, S. (2017). Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) populasyonundan geliştirilen klonların verim ve uçucu yağ özellikleri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26, 99–104.
- Keerthiga, N., Anitha, R., Rajeshkumar, S., & Lakshmi, T. (2019). Antioxidant activity of cumin oil-mediated silver nanoparticles. *Pharmacognosy Journal*, 11, 787–789.
- Kerimoğlu, B. Ö., Kavuşan, H. S., & Serdaroğlu, F. M. (2020). The impacts of laurel (*Laurus nobilis*) and basil (*Ocimum basilicum*) essential oils on

- oxidative stability and freshness of sous-vide sea bass fillets. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 44(1), 101–109.
- Keykubat, B. (2016). *Tıbbi aromatik bitkiler ve iyi yaşam*. İzmir: Ticaret Borsası Ar-Ge Müdürlüğü.
- Kılıçhan, R., & Çalhan, H. (2015). Mutfakların sihirli baharat: Kayseri ilinde baharat tüketim alışkanlıklarının belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 3(2), 40–47.
- Knez Hrnič, M., Cör, D., Simonovska, J., Knez, Ž., Kavrakovski, Z., & Rafajlovski, V. (2020). Extraction techniques and analytical methods for characterization of active compounds in *Origanum* species. *Molecules*, 25(20), 4735.
- Kocabıyık, H., & Demirtürk, B. S. (2008). Nane yapraklarının infrared radyasyonla kurutulması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(3), 239–246.
- Konovalov, D. A., & Alieva, N. M. (2019). Phenolic compounds of *Laurus nobilis* (Review). *Farmatsiya I Farmakol*, 7, 244–259.
- Korkmaz, A., Atasoy, A. F., & Hayaloglu, A. A. (2021). The effects of production methods on the color characteristics, capsaicinoid content and antioxidant capacity of pepper spices (*C. annuum* L.). *Food Chemistry*, 341, 128184.
- Kök, F. (2003). Pastırma üretim teknolojisini geliştirme çabaları. *Uludağ University Journal of Faculty of Veterinary Medicine*, 22(1-2-3), 109–114.
- Król, B., Sęczyk, Ł., Kołodziej, B., & Paszko, T. (2020). Biomass production, active substance content, and bioaccessibility of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart) following the application of nitrogen. *Industrial Crops and Products*, 148, 112271.
- La Bella, S., Virga, G., Iacuzzi, N., Licata, M., Sabatino, L., Consentino, B. B., ... & Tuttolomondo, T. (2020). Effects of irrigation, peat-alternative substrate and plant habitus on the morphological and production characteristics of Sicilian rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) biotypes grown in pot. *Agriculture*, 11(1), 13.
- Labra, M., Miele, M., Ledda, B., Grassi, F., Mazzei, M., & Sala, F. (2004). Morphological characterization, essential oil composition and DNA

- genotyping of *Ocimum basilicum* L. cultivars. *Plant Science*, 167, 725–731.
- Lal, G., Mehta, R. S., Godara, A. S., Mahala, H. R., Maheria, S. P., & Singh, B. (2014). Performance of cumin varieties and technological interventions at farmers fields in Jaisalmer district of Rajasthan. *International Journal of Seed Spices*, 4(1), 9–13.
- Lodha, S., & Mawar, R. (2014). Cumin wilt management – a review. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 23, 23.
- Lopresti, A. L. (2017). *Salvia* (Sage): A review of its potential cognitive-enhancing and protective effects. *Drugs in R&D*, 17(1), 53–64.
- Lukas, B., Schmiderer, C., Mitteregger, U., & Novak, J. (2010). Arbutin in marjoram and oregano. *Food Chemistry*, 121, 185–190.
- Maggini, V., Semenzato, G., Gallo, E., Nunziata, A., Fani, R., & Firenzuoli, F. (2024). Antimicrobial activity of *Syzygium aromaticum* essential oil in human health treatment. *Molecules*, 29(5), 999. <https://doi.org/10.3390/molecules29050999>.
- Mahendra, P., & Bisht, S. (2011). *Coriandrum sativum*: A daily use spice with great medicinal effect. *Pharmacognosy Journal*, 3(1), 84–88. <https://doi.org/10.5530/pj.2011.3.12>
- Mahendran, G., & Rahman, L. U. (2020). Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha × piperita* L.)—A review. *Phytotherapy Research*, 34(9), 2088–2139. <https://doi.org/10.1002/ptr.6656>.
- Mahleyuddin, N. N., Moshawih, S., Ming, L. C., Zulkifly, H. H., Kifli, N., Loy, M. J., ... Goh, H. P. (2021). *Coriandrum sativum* L.: A review on ethnopharmacology, phytochemistry, and cardiovascular benefits. *Molecules*, 27(1), 209. <https://doi.org/10.3390/molecules27010209>.
- Mandal, S., & Mandal, M. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(5), 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.03.001>.
- Manoharan, S., Balakrishnan, S., Menon, V., Alias, L., & Reena, A. (2009). Chemopreventive efficacy of curcumin and piperine during 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-induced hamster buccal pouch carcinogenesis. *Singapore Medical Journal*, 50, 139–146.

- Maugini, E., Maleci Bini, L., & Mariotti Lippi, M. (2014). *Botanica Farmaceutica* (9th ed.). Piccin.
- Mendes, F. S. F., Garcia, L. M., da Silva Moraes, T., Casemiro, L. A., de Alcantara, C. B., Ambrósio, S. R., & Martins, C. H. G. (2020). Antibacterial activity of *Salvia officinalis* L. against periodontopathogens: An in vitro study. *Anaerobe*, 63, 102194. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2020.102194>.
- Mete, O. (2017). *Baharatlar Soframızın Lezzeti, Ağzımızın Tadı*. Alfa Basım Yayım.
- Migliore, J., Baumel, A., Pouget, M., Diadema, K., Noble, V., Leriche, A., & Medail, F. (2013). Plant biogeography in the western Mediterranean basin: New insights from phylogeographical studies. *Bollettino del Museo di Storia Naturale di Genova*, 75, 64–67.
- Mili, A., Das, S., Nandakumar, K., & Lobo, R. (2021). A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. *Journal of Ethnopharmacology*, 281, 114503. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114503>.
- Minooeianhaghighi, M. H., Sepehrian, L., & Shokri, H. (2017). Effets antifongiques des huiles essentielles de *Lavandula binaludensis* et *Cuminum cyminum* contre *Candida albicans* isolés de patientes atteintes de candidose vulvo-vaginale récidivante. *Journal de Mycologie Médicale*, 27, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2016.10.001>.
- Moghadam, P., Dadelahi, S., Hajizadeh, Y. S., Matin, M. G., Amini, M., & Hajazimian, S. (2020). Chemical composition and antibacterial activities of sumac fruit (*Rhus coriaria*) essential oil on dental caries pathogens. *The Open Microbiology Journal*, 14, 143–151. <https://doi.org/10.2174/1874285802014010143>.
- Moghaddam, M., Pourbaige, M., Tabar, H. K., Farhadi, N., & Hosseini, S. M. A. (2013). Composition and antifungal activity of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(4), 506–512. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.831709>.
- Mohamed, E. A., Ahmed, H. I., Zaky, H. S., & Badr, A. M. (2021). Sesame oil mitigates memory impairment, oxidative stress, and neurodegeneration in a rat model of Alzheimer's disease: A pivotal role of NF-

- κ B/p38MAPK/BDNF/PPAR- γ pathways. Journal of Ethnopharmacology, 267, 113468. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113468>.
- Morshedloo, M. R., Maggi, F., Neko, H. T., & Aghdam, M. S. (2018). Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. Industrial Crops & Products, 111, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.021>.
- Motti, R., Bonanomi, G., Lanzotti, V., & Sacchi, R. (2020). The contribution of wild edible plants to the Mediterranean diet: An ethnobotanical case study along the coast of Campania (Southern Italy). Economic Botany, 74, 249–272. <https://doi.org/10.1007/s12231-020-09465-0>.
- Muştu, Ç. (2021). Safranin (*Crocus sativus* L.) özellikleri, tarihçesi ve gıdalarda kullanımı üzerine bir araştırma. Food and Health, 7(4), 300–310.
- Mzabri, I., Addi, M., & Berrichi, A. (2019). Traditional and modern uses of saffron (*Crocus sativus*). Cosmetics, 6(4), 63–74.
- Nair, K. P. (2011). Agronomy and economy of black pepper and cardamom: The king and queen of spices (p. 380). Elsevier.
- Naghibi, F., Mosaddegh, M., Motamed, S. M., & Ghorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: From ethnobotany to pharmacology. Iran Journal of Pharmaceutical Research, 2, 63–79.
- Neslihan, O. (2017). Türk mutfak kültüründe özel bir tat: Manavgat’ın altın susamı. Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi (IRTAD), 1(1), 19–25.
- Nieto, G., Huvaere, K., & Skibsted, L. H. (2011). Antioxidant activity of rosemary and thyme by-products and synergism with added antioxidant in a liposome system. European Food Research and Technology, 233(1), 11–18.
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A review. Medicines, 5(3), 98.
- Oğuz, G. (2015). Zengin bir mutfak: ‘Nevşehirli Damat İbrahim Paşa’nın bir aylık erzak listesi ve düşündürdükleri. OTAM, 37, 239–262.
- Okçu, M. (2016). Gümüşhane florasında yabancı olarak yetişen rezene (*Foeniculum* spp.)’lerin bazı özelliklerinin belirlenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(1), 1–12.

- Oniga, I., Puşcaş, C., Silaghi-Dumitrescu, R., Olah, N. K., Sevastre, B., Marica, R., ... & Hanganu, D. (2018). *Origanum vulgare* ssp. *vulgare*: Chemical composition and biological studies. *Molecules*, 23(8), 2077.
- Ostadrahimi, A., Ezzati, S., Bahadori, M. B., Molani-Gol, R., Attari, V. E., & Kia, E. M. (2025). Delivery of sumac (*Rhus coriaria* L.) extract in a chewing gum system and its functional, textural, and sensory characterization. *Food Science & Nutrition*, 13, 1–9.
- Özkul-Açıkgöz, A. (2010). Safran bitkisinin yetiştirilmesi, kalitesi ve ticari önemi (Yüksek lisans tezi). Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Palma, J. M., Terán, F., Contreras-Ruiz, A., Rodríguez-Ruiz, M., & Corpas, F. J. (2020). Antioxidant profile of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits containing diverse levels of capsaicinoids. *Antioxidants*, 9(9), 878.
- Paparella, A., Nawade, B., Shaltiel-Harpaz, L., & Ibdah, M. (2022). A review of the botany, volatile composition, biochemical and molecular aspects, and traditional uses of *Laurus nobilis*. *Plants*, 11(9), 1209.
- Pereira, E., Pimenta, A. I., Calhelha, R. C., Antonio, A. L., Verde, S. C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Effects of gamma irradiation on cytotoxicity and phenolic compounds of *Thymus vulgaris* L. and *Mentha × piperita* L. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 370–377.
- Peter, K. V. (2004). *Handbook of herbs and spices* (Vol. 2). Woodhead Publishing Ltd. & CRC Press LLC.
- Pirinçcioğlu, S. R., & İzci, B. (2022). Determination of antimicrobial activities of essential oils of different thyme species grown in Çanakkale conditions. *Acta Nat. Sci*, 3(1), 44–50.
- Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., & Prachayasittikul, V. (2018). Coriander (*Coriandrum sativum*): A promising functional food toward the well-being. *Food Research International*, 105, 305–323.
- Raja, B. P., & Sethuraman, M. G. (2008). Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel. *Materials Letters*, 62, 2977–2979.
- Rasheed, M. S. A. A., Wankhade, M. V., Saifuddin, M. S. S. K., & Sudarshan, M. A. R. (2015). Physico-chemical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *International Journal of Engineering Research*, 4, 68–70.

- Ravindran, P., Pillai, G., & Divakaran, M. (2012). Chapter - Other herbs and spices: Mango ginger to wasabi. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of herbs and spices* (pp. 557–582).
- Reyes-Calderón, A., Gutiérrez-García, C., Urióstegui-Pena, A. G., Srivastava, A., Aguilar-Marcelino, L., Iqbal, H. M., ... & Sharma, A. (2023). Identification of cumin (*Cuminum cyminum*) microRNAs through deep sequencing and their impact on plant secondary metabolism. *Plants*, 12(9), 1756.
- Rodríguez-Ruiz, M., Mateos, R. M., Codesido, V., Corpas, F. J., & Palma, J. M. (2017). Characterization of the galactono-1,4-lactone dehydrogenase from pepper fruits and its modulation in the ascorbate biosynthesis: Role of nitric oxide. *Redox Biology*, 12, 171–181.
- Saçılık, M. Y., Çevik, S., & Toptaş, A. (2018). Geçmişin mutfağından gelecekteki sofralara: Bandırma-Erdek yöresinin gastronomik mirası. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6(1), 300–319.
- Samancı, Ö. (2016). Halk mutfağı, Osmanlı mutfağı. *Anadolu Üniversitesi Yayınları*.
- Sarioğlu, M., & Cevizkaya, G. (2016). Türk mutfak kültürü: Şerbetler. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 6(14), 237–250.
- Sanaei-Hoveida, Z., Mortazavian, S. M. M., Norouzi, M., & Sadat-Noori, S. A. (2024). Exploring the potential of polyploidization as a breeding tool for medicinal plants: A case study on cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 156(1), 23.
- Sargin, S. A., Selvi, S., & Büyükcengiz, M. (2015). Ethnomedicinal plants of Aydıncık district of Mersin, Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 174, 200–216.
- Shahbazi, E., Safipor, B., & Golkar, P. (2020). Responses of *Nigella damascena* L. and *Nigella sativa* L. to environmental and cultivation factors: Phytochemistry and pharmacological implications. *Journal of Herbal Medicine*, 25, 100392.
- Shakeri, A., Sahebkar, A., & Javadi, B. (2016). *Saffron: A review on phytochemistry and pharmacology*. *Journal of Functional Foods*, 21, 55–69.

- Sharifi-Rad, M., Rodrigues, C. F., Stojanović-Radić, Z., De Feo, V., & Sharifi-Rad, J. (2018). Bioactive natural compounds and antioxidant activity of spice plants: New findings and potential applications. *Biomolecules*, 8(4), 147.
- Shinwari, Z. K., & Qaiser, M. (2011). Efforts on conservation and sustainable utilization of medicinal plants of Pakistan. *Pakistani Journal of Botany*, 43(5), 2025–2036.
- Singh, R., Kumar, R., & Mishra, A. (2020). Phytochemistry and pharmacology of black pepper (*Piper nigrum* L.): A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(2), 68–76.
- Singh, S., & Prasad, S. (2017). Therapeutic and industrial applications of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, 109, 485–495.
- Soković, M., Glamoclija, J., Marin, P. D., Brkić, D., & Van Griensven, L. J. L. D. (2010). Antibacterial effects of essential oils of commonly used medicinal plants against human pathogens. *Food*, 4(5), 164–169.
- Souza, E. L., Martins, M. L., & de Oliveira, A. L. (2018). Ethnobotanical and phytochemical studies of *Ocimum basilicum* L.: A comprehensive review. *Medicinal & Aromatic Plants*, 7(1), 1–11.
- Srinivasan, K. (2007). Black pepper and its pungent principle—piperine: A review of diverse physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(8), 735–748.
- Stanwey, P. (2013). *Baharatlar, mucize gıdalar* (S. Demirci, Çev.). İstanbul: Kuraldışı Yayıncılık.
- Sulaiman, R., Tahir, N. M., & Ahmed, S. (2019). Bioactive compounds and pharmacological activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Pharmacognosy Reviews*, 13(26), 48–56.
- Suresh, S., & Das, S. (2017). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of *Nigella sativa*. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1987–1996.
- Sun, G., Zhang, S., Xie, Y., Zhang, Z., & Zhao, W. (2016). Gallic acid as a selective anticancer agent that induces apoptosis in SMMC-7721 human hepatocellular carcinoma cells. *Oncology Letters*, 11, 150–158.

- Süzer, Ö., & Özkanlı, O. (2020). Bölge mutfaklarının kullanılan malzemeler bağlamında değerlendirilmesi: Gaziantep yemekleri üzerine bir inceleme. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 117–138.
- Szymandera-Buszka, K., Katarzyna, W., & Anna, J. (2020). Sensory analysis in assessing the possibility of using ethanol extracts of spices to develop new meat products. *Foods*, 9(2), 209.
- Şahin, G. (2014). Türkiye’de üretimi azalan önemli bir yağ bitkisi: Susam. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 382–433.
- Şener, İ., Tekelioğlu, F., Zurnacı, M., Baloglu, P., Mahmut, G. Ü. R., & Güney, K. (2021). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of *Thymus praecox*. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 21(1), 65–73.
- Takooree, H., Aumeeruddy, M. Z., Rengasamy, K. R., Venugopala, K. N., Jeewon, R., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2019). A systematic review on black pepper (*Piper nigrum* L.): From folk uses to pharmacological applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(sup1), S210–S243.
- Tan, Ş. A. (2011). Bazı susam çeşitlerinin Menemen koşullarında performansları. *Anadolu, Journal of AARI*, 21(2), 11–28.
- Taşkaya, G., & Yılmaz, D. (2022). Nane (*Mentha*) bitkisinin mekanik hasadı için fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 1–6.
- Taşkıran, Z. G., Dündar, A., & Yıldız, H. (2023). Bitkisel materyallerdeki biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonunda kullanılan konvansiyonel ve yeni nesil ekstraksiyon yöntemleri. *Food Science and Engineering Research*, 2(2), 50–58.
- Telci, I., Demirtaş, I., & Şahin, A. (2009). Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruits during stages of maturity. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 126–130.
- Tunçil, E. (2018). Kırmızıbiber tüketiminin enerji harcanması, yağ oksidasyonu ve iştah üzerine akut etkilerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Tunçtürk, R. (2011). Kişniş (*Coriandrum sativum* L.) çeşitlerinde değişik ekim mesafelerinin verim ve kalite üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 89–97.
- Türközü, D., Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., & Yıldırım, B. (2014). Tarhun (*Artemisia dracunculus* L.) bitkisinin doku kültürü yoluyla çoğaltılması üzerinde çalışmalar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3), 300–308.
- Uçan, B. Z. (2021). Farklı baharat kombinasyonları ile hazırlanan raw food ürünlerinin duyu analizi yöntemi ile değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Uğur, Ş., & Kan, Y. (2016). Ankara (Gölbaşı) şartlarında farklı ekim zamanlarında yetiştirilen kimyon (*Cuminum cyminum* L.)'un verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2), 205–209.
- Ulu, H., & Kılıç, P. A. (2020). Fare kemik iliği hücrelerinde siklofosamid tarafından indüklenen genotoksositeye karşı tarhun (*Artemisia dracunculus* L.) yaprak ekstraktının olası koruyucu etkisinin mikronükleus testi ile belirlenmesi. *Caucasian Journal of Science*, 7(2), 92–108.
- Ünder, D., & Saltan, F. Z. (2019). Sumak ve önemli biyolojik etkileri. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 34(1), 51–60.
- Visuvanathan, T., Than, L. T. L., Stanslas, J., Chew, S. Y., & Vellasamy, S. (2022). Revisiting *Trigonella foenum-graecum* L.: Pharmacology and therapeutic potentialities. *Plants*, 11(11), 1450.
- Wei, J. N., Liu, Z. H., Zhao, Y. P., Zhao, L. L., Xue, T. K., & Lan, Q. K. (2019). Phytochemical and bioactive profile of *Coriandrum sativum* L. *Food Chemistry*, 286, 260–267.
- Wu, Z., Tan, B., Liu, Y., Dunn, J., Guerola, P. M., Tortajada, M., Cao, Z., & Ji, P. (2019). Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from peppermint, native spearmint and scotch spearmint. *Molecules*, 24, 2825.
- Wulandari, W., Octavia, M. D., Sari, Y. N., & Rivai, H. (2021). Black pepper (*Piper nigrum* L.) botanical aspects, chemical content, pharmacological activities. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine*, 83.

- Yashin, A., Yashin, Y., Xia, X., & Nemzer, B. (2017). Antioxidant activity of spices and their impact on human health: A review. *Antioxidants*, 6(3), 70.
- Yasmin, S., & Nehvi, F. A. (2013). Saffron as a valuable spice: A comprehensive review. *African Journal of Agricultural Research*, 8(3), 234–242.
- Yerasimos, M. (2011). *Evliya Çelebi Seyahatnamesi'nde yemek kültürü: Yorumlar ve sistematik dizin*. İstanbul: Kitap Yayınevi.
- Yeşil, M., Karaca Öner, E., & Özcan, M. M. (2018). Ordu ekolojik şartlarında farklı nane (*Mentha* sp.) türlerinin tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(12), 1734–1740.
- Yeşilada, E. (2012). *İyileştiren bitkiler*. İstanbul: Hayykitap.
- Yıldız, S., & Midilli, A. (2023). Sebzelerin baharat olarak kullanım alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 272–288.
- Yıldırım, M., & Sönmezdağ, A. (2018). Gaziantep yöresel yemeklerinden Alaca çorbanın tanımlayıcı duyuşsal, temel bileşen ve kümeleme analizleri ile karakterizasyonu. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6, 563–577.
- Yılmaz, Ö. (2021). Tarhunun (*A. dracunculus*) Türk ve dünya mutfağında kullanımı. In *About Congress* (p. 38).
- Yiğit, A. (2016). Baharatlar. In S. G. Aktaş (Ed.), *Gıda coğrafyası*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Zamljen, T., Zupanc, V., & Slatnar, A. (2020). Influence of irrigation on yield and primary and secondary metabolites in two chilies species, *Capsicum annuum* L. and *Capsicum chinense* Jacq. *Agricultural Water Management*, 234, 106104.
- Zannou, O., Oussou, K. F., Chabi, I. B., Alamou, F., Awad, N. M. H., Miassi, Y. E., Loké, F. C. V., Abdoulaye, A., Pashazadeh, H., Redha, A. A., Kpoclou, Y. E., Guclu, G., Koca, I., Selli, S., & Ibrahim, S. A. (2025). Phytochemical and nutritional properties of sumac (*Rhus coriaria*): A potential ingredient for developing functional foods. *Journal of Future Foods*, 5(1), 21–35.

BÖLÜM 13

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE UÇUCU YAĞ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ VE BİYOAKTİF PROFİLLER

Dr. Öğr. Üyesi Sedef ÖZLİMAN¹

Prof. Dr. Gülsüm YALDIZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608740>

¹ Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye. sedefozliman@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-9293>

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Bolu, Türkiye. g_yaldiz@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-6889-1562

GİRİŞ

Bitkiler, sabit yağlar ve uçucu yağlar olmak üzere farklı yapısal ve fonksiyonel özelliklere sahip iki ana yağ grubu sentezler. Uçucu yağlar bitkilere hoş koku kazandırmanın ötesinde; aromatik bitkilerde bulunan uçucu, lipofilik ve kokulu bileşenlerin karmaşık doğal karışımlarıdır. Kimyasal özellikleri açısından uçucu yağların çoğu renksiz veya soluk sarı renkte olup oda sıcaklığında sıvıdır ve tarçın gibi bazı türler istisna oluşturabilmekle birlikte genelde sudan daha az yoğunluktadır. Ayrıca bileşenlerin çoğu düşük molekül ağırlığına (300'ün altında) sahiptir, bazıları optik olarak aktif ve genel olarak eter, alkol veya aseton gibi organik çözücülerde çözünürken suda çözünmezler (Baser ve Buchbauer, 2015b, 2015a; de Sousa vd., 2023; Dhifi vd., 2016).

Avrupa Farmakopesi'ne göre uçucu yağ genellikle karmaşık bileşimli bir kokulu ürün olup, botanik olarak tanımlanmış bir bitkisel drogdan buhar distilasyonu, kuru distilasyon veya ısı kullanılmayan uygun mekanik işlemlerle elde edilir; eğer sulu faz varsa bu yağ fiziksel yollarla sudan ayrılmalıdır. Bu tanım, hem üretim yöntemlerine hem de bileşimde önemli değişiklik yapmadan saflaştırmayı mümkün kılan ayırma süreçlerine vurgu yaparak kalite kontrolün ve standardizasyonun önemini altını çizer (AFNOR, 2000; EDQM, 2024).

Uçucu yağların biyolojik etkinlikleri yalnızca kimyasal bileşimlerine bağlı kalmayıp, kaynak bitkinin genetiği, yetiştirme koşulları, fenoloji ve hasat sonrası işlemler tarafından da belirgin şekilde etkilenir; bu nedenle standardizasyon ve katı kalite kontrol uygulamaları kritik önem taşır (Pezantes-Orellana vd., 2024). Uçucu yağların bildirilen farmakolojik profili antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antitümör ve antioksidan vb. etkinlikleri kapsamaktadır (Kong vd., 2022; Machado vd., 2022; Pandey vd., 2023; Zhao vd., 2023). Bu özellikler uçucu yağların tıp, aromaterapi, mikrobiyoloji, tarım, hayvancılık, kozmetik ile antimikrobiyal ve antioksidan etkileri nedeniyle özellikle gıda koruyucu olarak gıda endüstrisi gibi farklı sektörlerde uygulama potansiyelini ortaya koymaktadır (Pezantes-Orellana vd., 2024; Ramsey vd., 2020).

Uçucu yağların tıbbi kullanımlarına örnek olarak; tarçın yağının glikoz kontrolü ve kan lipidleri üzerinde olumlu etkileri, kişniş yağının parazitoid özellikleri, kimyon yağının kan basıncı düşürücü etkileri, kekik yağının oksidatif hücre hasarına ve DNA mutasyonlarına karşı koruyucu etkileri ve biberiye ile kekik yağlarının kanser hücresi çoğalmasını sınırlayıcı etkileri

bildirilmiştir. Bazı yağların bakterileri öldürücü (bakterisidal), bazılarının ise büyümeyi yavaşlatıcı (bakteriyostatik) etkileri olduğu da bilinmektedir (Pezantes-Orellana vd., 2024). Günümüzde uçucu yağlar hem bilimsel araştırmalarda hem de sanayi uygulamalarında dikkat çekici şekilde ilgi görmekte olup aromaterapi, gıda aroması, doğal farmakolojik tedaviler, kozmetik ve kişisel bakım gibi birçok sektörde popülerlik kazanmıştır (Reddy vd., 2025; Sharmeen vd., 2021). Özellikle gıda sektöründe antimikrobiyal ve antioksidan işlevleri “temiz etiket” taleplerini desteklemektedir.

Fortune Business Insights verilerine göre küresel uçucu yağ pazarı 2024'te 12.47 milyar USD olarak değerlendirilmiş; pazarın 2025'te 13.66 milyar USD'ye ulaşması ve 2032'de 27.82 milyar USD değerine çıkması öngörülmektedir. 2025-2032 döneminde beklenen birleşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ise %10.69'dur. Bu büyüme, yeşil tüketici eğilimleri yani doğal ürünlere yönelik artan talep, aromaterapi uygulamalarındaki yükseliş ve COVID-19 pandemisi sonrası sağlık/bağışıklık odaklı tüketim eğilimleri gibi faktörlerle ilişkilendirilmektedir (Industry Report, 2024).

Ulusal ölçekte ise, yağlık gül, kekik, lavanta, anason, rezene ve adaçayı ülkemizde uçucu yağ üretiminde önemli türlerdir (Karık ve Öztürk, 2020). Türkiye, dünya gül yağı talebinin önemli bir kısmını karşılayan başlıca üreticilerden biridir; bu, ülkemizin üretim ve Ar-Ge açısından stratejik önemini ortaya koymaktadır (Gunes, 2005). Bu ulusal üretim kapasitesi ve küresel talepteki artış, ekstraksiyon ve distilasyon süreçlerindeki teknolojik gelişmelerin önemini arttırmakta; zira bu gelişmeler uçucu yağların verimliliğini ve saflığını yükselterek hem terapötik etkinliği hem de endüstriyel uygulanabilirliği güçlendirmektedir.

Bu bölümde uçucu yağ üretim teknolojileri, kimyasal ve farmakolojik profiller, kalite kontrol yaklaşımları ve uygulama alanları sistematik bir çerçevede ele alınacaktır.

BİTKİLERDE UÇUCU YAĞ BİYOSENTEZİ

Terpenoidler, aynı zamanda izoprenoidler olarak da bilinir, bitki sekonder metabolitlerinin en yaygın ve işlevsel olarak en çeşitli gruplarından birini temsil eder. Beş karbonlu izopren ünitelerinden oluşurlar ve on binlerce benzersiz bileşikten oluştukları bilinmektedir. Bu bileşikler, uçucu yağların ana bileşenleri olarak görev yaparlar. Bitki dokularında birikir veya uçucu bileşikler

olarak salınırlar. Terpenoidler, patojenlere ve otçullara karşı savunma da dahil olmak üzere önemli kemo-ekolojik işlevleri yerine getirirler. Ayrıca tozlaşma ve bitkiler arasındaki iletişimde de rol oynarlar. Dahası, ilaç, nutrasötik, koku ve biyoyakıt gibi çeşitli kullanımları için giderek daha fazla ilgi görmektedirler (Cheng vd., 2025; Li vd., 2023; Nurzyńska-Wierdak & Walasek-Janusz, 2025)

Bu bileşiklerin karmaşık biyosentezi, temel öncüller üzerine kuruludur. Biyosentez, evrensel C5 öncülleri olan izopentenil difosfat (IPP) ve dimetilalil difosfat (DMAPP) üzerinden ilerler (Cheng vd., 2025; Mahmoud vd., 2021). Bu öncüller, hücrenin farklı bölgelerine yerleşmiş iki ayrı yol tarafından üretilir. İlki, plastidial metilerytritol fosfat (MEP/1-DXP) yoludur. Bu yol, monoterpenlerin (C₁₀), diterpenlerin (C₂₀) ve tetraterpenlerin (C₄₀) biyosentezi için IPP/DMAPP sağlar (Laule vd., 2003; Lois vd., 2000; Turner vd., 2000). İkincisi, sitozolik mevalonat (MVA) yoludur. Bu yol, IPP/DMAPP havuzunu esas olarak seskiterpenlerin (C₁₅) ve triterpenlerin (C₃₀) üretimi için besler (Laule vd., 2003; Mahmoud vd., 2021). Bu ayrışma, farklı terpenoid sınıflarına doğru metabolik akışın düzenlenmesi için hayati önem taşır (Mahmoud vd., 2021; Tholl ve Lee, 2011). Uçucu yağların temel bileşenleri olan monoterpenlere giden yol literatürde iyi tanımlanmıştır. Monoterpen biyosentezi, dört farklı aşamada gerçekleşen bir süreç olarak özetlenmiştir. İlk iki aşama, evrensel monoterpen öncüsü olan geranil pirofosfatı (GPP) üretir. Bu ilk adımlar, mitokondri ve sitoplazmada bulunan yollar aracılığıyla gerçekleşir (Kumar vd., 2024; Mahmoud ve Croteau, 2002). Üçüncü aşama, monoterpenoid ara maddelerin oluşumunu içerir. Bu oluşum, terpen sentazlar ve sitokrom P450 ailesi proteinleri tarafından gerçekleştirilir (Chen vd., 2011). Son aşama, örneğin sitokrom P450 enzimleri tarafından gerçekleştirilen, oksidatif ve dehidrojenatif modifikasyonlardan oluşur. Bu reaksiyonlar, doğada bulunan çok çeşitli monoterpenleri üretir (Mahmoud ve Croteau, 2002). Bu durum, biyosentezin bölümlere ayrılmasıyla ilgili önceki noktayı vurgular. Sitozolik MVA yolu, seskiterpenler, alkanlar ve triterpenlerin üretiminde daha aktiftir. Plastidial MEP yolu esas olarak monoterpenlerin, diterpenlerin ve tetraterpenlerin sentezlenmesinden sorumludur (Davis ve Croteau, 2000; Samandari-Bahraseman vd., 2025; Tai vd., 2020).

Tüm terpenoid biyosentezlerinde önemli bir adım, yoğunlaşma reaksiyonudur. IPP ve DMAPP'nin yoğunlaşması, izoprenil difosfat sentazlar (IDS) tarafından katalize edilir. Bu reaksiyon geranil difosfat, neril difosfat,

farnesil difosfat, geranilgeranil difosfat gibi doğrusal prenil difosfatlar üretir (Bouvier vd., 2005; Defilippi vd., 2009; Mahmoud vd., 2021). Trans-IDS'ler genellikle yaygın baştan kuyruğa yoğunlaşmaları katalize eder. Korunmuş aspartat açısından zengin motiflerle tanımlanırlar (Burke vd., 1999; Ogura ve Koyama, 1998; Tholl ve Lee, 2011). Buna karşılık, *cis*-IDS'ler bu spesifik motiflerden yoksundur. Bunun yerine, I-V olarak bilinen farklı korunmuş bölgelere ve alternatif aktif bölge özelliklerine sahiptirler (Adal ve Mahmoud, 2020; Demissie vd., 2013; Kharel ve Koyama, 2003). Örneğin, bir *cis*-IDS (LPPS), iki DMAPP ünitesinin yoğunlaşmasını katalize eder. Bu işlem, Lavandula'da lavandulil difosfat (LPP) oluşturur (Adal ve Mahmoud, 2020; Demissie vd., 2013). Bu prenil difosfatlar daha sonra çeşitli terpen iskeletlerine dönüştürülür. Bu dönüşüm terpen sentazlar tarafından gerçekleştirilir. Daha sonra iskeletler, sitokrom P450 monooksijenazlar (CYP450) gibi oksidatif enzimler tarafından dönüştürülmeye devam eder (Cheng vd., 2025; Mahmoud vd., 2021; Tholl ve Lee, 2011).

Birçok aromatik bitkide, bu karmaşık biyokimya özelleşmiş yapılarla sınırlıdır. Bu yapılardan biri olan glandüler trikomlar (GT) doğal biyofabrikalar olarak işlev görür. Düşük molekül ağırlıklı izoprenoidlerin, özellikle mono- ve seskiterpenlerin sentezi ve depolanmasında uzmanlaşmışlardır. GT'lerin içinde yer alan salgı hücreleri, izoprenoid biyosentezine ait genleri güçlü ve spesifik şekilde ifade eder. Bu hücreler sentezlenen terpenoidleri daha sonra trikoma ait depolama boşluklarında biriktirir. Bu biyolojik organizasyon *Mentha* ve *Lavandula* gibi *Lamiaceae* cinslerinde gösterilmiştir (Mahmoud vd., 2021). Örneğin lavanta, özellikle peltat GT'lere sahiptir. Bu trikomlar, monoterpen açısından zengin bir uçucu yağ üretir (Huang vd., 2008). Yağın temel bileşenleri arasında linalool ve linalil asetatın yanı sıra borneol, kafur ve 1,8-sineol bulunur (Lis-Balchin, 2002; Upson ve Andrews, 2004). Bu yağların bileşimi, lavantanın biyolojik ve ticari değerlerinden doğrudan sorumludur. *Mentha* cinsi ise, hafif enzimatik farklılıkların uçucu yağ profilini nasıl belirlediğine dair klasik bir örnek sunar. Türlerle özgü yol dallanması *Mentha*'da açıkça gösterilmiştir. İlk olarak, geranil pirofosfat (GPP), limonen sentaz (LimS) enzimi tarafından (-)-limonene dönüştürülür (Croteau vd., 2005; Mahmoud vd., 2021). Sonraki hidroksilasyon adımı metabolik dalı belirler. Limonen-3-hidroksilaz (L3H) tarafından C-3 pozisyonunda gerçekleşen hidroksilasyon, naneyi trans-izopiperitenol ve mentol koluna yönlendirir

(Fuchs vd., 2022; Mahmoud vd., 2021). Buna karşılık, limonen-6-hidroksilaz (L6H) tarafından C-6 pozisyonunda gerçekleşen hidroksilasyon, naneyi *trans*-karveole ve ardından karvona yönlendirir (Fuchs vd., 2022; Mahmoud vd., 2021; Turner ve Croteau, 2004). Mentol kolunda, bir dizi ek reaksiyon dönüşümü kolaylaştırır. Bunlar, birden fazla organelde gerçekleşen oksidasyonlar, redüksiyonlar ve izomerizasyonları içerir. Bu süreçteki temel enzimler *trans*-izopiperitenol dehidrogenaz (IPDH), izopiperitenon redüktaz (IPR), pulegon izomeraz (IPGI), pulegon redüktaz ve menton redüktazlardır. Bu dizi, izopiperitenon ve pulegon ara maddeleri boyunca ilerleyerek nihayetinde mentol üretir (Croteau vd., 2005; Croteau ve Gershenzon, 1994; Mahmoud vd., 2021; Ringer vd., 2003). Alternatif olarak, endoplazmik retikulumdaki (ER) mentofuran sentaz (MFS) enzimi yolu yeniden yönlendirebilir ve pulegonu mentofurana dönüştürür (Battaile ve Loomis, 1961; Fuchs vd., 2022; Mahmoud vd., 2021). Bu tür karmaşık biyosentetik mekanizmaların düzenlenmesi genellikle dokuya özgüdür. Transkriptomik ve ekspresyon analizleri, terpenoid biyosentezinde doku özgüllüğünü ortaya koymuştur. Örneğin, çiçek salkımlarının gövdelere kıyasla daha yüksek unigene kümesi ve anahtar yol genleri ekspresyonu sergilediği gösterilmiştir. Bu artan ekspresyon, GPP üretimiyle sonuçlanan monoterpenoid biyosentezinin ilk basamaklarından sorumlu genleri içerir. Mevalonat kinaz (MVK) ve izopentenil şikimat kinaz (ISPH) gibi spesifik genlerin gerçek zamanlı PCR ile doğrulanması da bu bulguları desteklemektedir. Dolayısıyla, gövdelere kıyasla çiçek salkımlarında gen ifadesinin arttığını netleşmektedir (Kanehisa ve Goto, 2000; Samandari-Bahraseman vd., 2025; Tai vd., 2020).

Dokuya özgü bu biyosentetik süreçler sonucunda üretilen terpenoidler, ekolojik açıdan kritik işlevlere sahip uçucu organik bileşikler (VOC) olarak sınırlanır. VOC'lar bitki savunmasını ve ekolojik etkileşimleri kolaylaştırır ve üç ana kimyasal sınıfa ayrılır. İlk sınıf yağ asidi türevleridir. Bunlar, jasmonat sinyallemeyle ilişkili olan LOX yoluyla sentezlenen yeşil yaprak uçucularını içerir (Dudareva vd., 2013; Engelberth, 2020; Feussner ve Wasternack, 2002; McMullen vd., 2009; Nagegowda ve Gupta, 2020; Pierik vd., 2014). İkinci sınıf ise benzen halkası/fenilpropanoid bileşikleridir. Bunlar, savunma sinyalizasyonunda ve polinatör çekiminde rol oynayan metil salisilat ve metil benzoat gibi şikimat yolunun ürünleridir (Kolosova vd., 2001; Shulaev vd., 1997; Tzin ve Galili, 2010). Üçüncü ve en çeşitli sınıf ise terpenoidlerdir. Bu

sınıf, linalool ve limonen gibi monoterpenleri ve (E)- β -farnesen ve karyofilen gibi seskiterpenleri içerir (Aharoni vd., 2004; Christianson, 2017; Gutensohn vd., 2013; Gwak vd., 2014; Lichtenthaler, 1999; Yamaga vd., 1993). Bitkiler VOC'ları yapısal, uyarılmış, doğrudan ve dolaylı savunma stratejilerinde kullanır (Li vd., 2023). Bu biyosentetik yolların anlaşılması, hem ekolojik işlevlerin kavranması hem de üretim verimliliğini arttırmaya yönelik metabolik manipülasyonları mümkün kılar. Bu çerçevede, GT taşıyan bitkilerde yürütülen metabolik mühendislik çalışmaları birkaç temel stratejiye odaklanır. Bunlardan biri, öncüllerin tedarikini arttırmaktır. Bu, 1-deoksi-D-ksilüloz-5-fosfat sentaz (DXS), 1-deoksi-D-ksilüloz-5-fosfat redüktizomeras (DXR) gibi hız sınırlayıcı MEP enzimlerinin aşırı ekspresyonu ile sağlanır. Örneğin, *Lavandula latifolia*'da bu yöntemin monoterpenoid üretimini yaklaşık %350'ye kadar arttırdığı bildirilmiştir. Diğer stratejiler arasında terpen sentazların ekspresyonunun manipüle edilmesi ve izoprenoidlerin trikom depolama boşluklarına taşınması gibi sınırlayıcı faktörlerin giderilmesi yer alır. Ayrıca GT yoğunluğu ve boyutunun artırılması da üretim kapasitesini güçlendiren bir başka odaktır. Tüm bu uygulamaların amacı, bitkinin genel üretim ve depolama kapasitesini arttırmaktır (Fuchs vd., 2022; Mahmoud vd., 2021). Özetle, basit C5 ünitelerinden karmaşık terpenoidlere giden yolculuk, hassas bölmelendirme, özel enzimler ve genellikle GT'ler gibi uzmanlaşmış yapılara yerleşen genetik düzenleme ağlarıyla şekillenmektedir.

BİYOLOJİK AKTİVİTE VE FONKSİYONEL PROFİLLER

Güncel tahminlere göre, uçucu yağlar 200'den fazla farklı bileşik içerebilir (Pezantes-Orellana vd., 2024). Uçucu yağların temel biyoaktif bileşenleri, çeşitli belgelenmiş biyolojik etkilerinden sorumlu olan terpenler ve terpenoidlerdir (Masyita vd., 2022). Önemli bir şekilde, uçucu yağların biyolojik özellikleri, birden fazla mekanizma aracılığıyla hastalıkları önlemede rol oynar; örneğin in vitro araştırmalar, anti-inflamatuar özelliklere sahip bileşenlerin DNA mutasyonlarına neden olabilen serbest radikalleri nötralize edebileceğini göstermektedir (Bunse vd., 2022). Bu çerçevede, kalıcı oksidatif stres ve yüksek reaktif oksijen türleri (ROS), DNA hasarını kolaylaştırarak metabolik sendrom, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser dahil olmak üzere kronik durumların başlangıcıyla bağlantılıdır. Ayrıca uçucu yağlar, Alzheimer hastalığı, kardiyovasküler sorunlar, uyku ve stres kaynaklı sorunlar

ve doğum sırasında ağrı ile ilgili semptomları azaltmak için klinik uygulamada kullanılmaktadır. Dahası, bitki bazlı ürünlerin antimikrobiyal özellikleri tıpta (antiviraller, immünomodülatörler ve antibiyotikler olarak) ve endüstride gıda koruyucusu olarak kullanılmakta olup, patojenlerle savaşmaya ve gıdaların raf ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır (Ramsey vd., 2020). Bitkisel formülasyonlar genellikle geleneksel antibiyotikler kadar güçlü olmasa da, kombinasyon halinde kullanıldıklarında sıklıkla sinerjik ve çok hedefli mekanizmalar sergilerler (Mahmutovic-Dizdarevic vd., 2022). Tıbbi ve aromatik bitki özleri ile uçucu yağlar, antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra güçlü antioksidan aktivite de gösterir. Bu özellikleri, onları oksidatif stresle ilişkili hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde yararlı kılar (Tadić vd., 2014). Bir başka yönden, polifenoller açısından zengin olanlar da antioksidan kapasiteleriyle dikkat çekmekte ve çeşitli rahatsızlıklar için potansiyel tedaviler olarak kabul edilmektedir (Bunse vd., 2022).

Hem teknolojik hem de güvenlik açısından, uçucu yağların diğer bitki özlerine göre en büyük avantajı, ekstraksiyon sırasında organik çözücülere sınırlı ihtiyaç duymalarıdır. Bu durum, kalıntı oluşturan toksik çözücülerin varlığını en aza indirir ve ilaçlarda, gıda ürünlerinde ve kozmetiklerde kullanım güvenliğini artırır (Mirković vd., 2025).

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE ÜRETİM, HASAT VE HASAT SONRASI İŞLEMLER

Çoğu tıbbi ve aromatik bitkinin yetiştirilmesi genelde öncelikli olarak uçucu yağ üretimini hedeflediğinden, uçucu yağ kalitesi, biyolojik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen üretimlerinin kritik bir yönünü temsil eder. Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ sentezi temelde genetik olarak belirlenirken, fizyolojik aşamalar, tarımsal koşullar, hasat zamanlaması ve hasat sonrası işleme yöntemleri dahil olmak üzere bir dizi faktörden etkilenir. Bu durumda uçucu yağların verimi ve kimyasal bileşimi, günlük sıcaklık dalgalanmaları, bağlı nem ve ışık koşulları (hem yoğunluk hem de kalite) gibi çevresel değişkenlere de büyük ölçüde bağlıdır (Asghari vd., 2014; Baričević ve Bartol, 2009). Işık, nem, sıcaklık ve rakım gibi çok sayıda çevresel faktör tek başlarına veya birlikte hareket ederek biyokimyasal, fizyolojik ve fenotipik değişikliklere neden olabilirler. Bu değişimler, genetik faktörlerin yanı sıra sekonder metabolitlerden olan uçucu yağların içerik ve bileşimindeki değişikliklerin

temel nedenidir. Çevresel faktörlerin uçucu yağların içeriği ve bileşimi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Figueiredo vd., 2008).

Ayrıca, 24 saatlik bir süre içinde belirli metabolitlerin birikim ve ardından bozunma (veya dönüşüm) göstermesi ‘diurnal varyabilite’ olarak tanımlanmıştır. Tıbbi ve aromatik bitkilere ait bu tip varyabilite bilgileri hasat zamanının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Uçucu yağ kalitesinin çevresel ve hasat sonrası faktörlere bu denli bağımlı olması göz önüne alındığında, yetiştirme ve hasat uygulamaları titizlikle planlanmalı ve standartlaştırılmalıdır. Bu noktada, uçucu yağların bitkide depolanma biçimi de büyük önem taşımaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağlar yaprak yüzeylerinde ve trikoma adı verilen özel yapılarda depolanır (Werker, 2000). Dolayısıyla, trikoma bütünlüğünün korunması ve kurutma işlemi öncesinde bu yapılara gelebilecek hasarın en aza indirilmesi, kurutulmuş bitkilerin aromatik kalitesini iyileştirebilir ve uçucu yağ verimini arttırabilir (Thamkaew vd., 2021). Ayrıca, kimyasal profildeki değişkenlik, hem yabani hem de kültüre alınmış aromatik bitkilerin tipik bir özelliğidir ve tıbbi değerlerinin temel belirleyicisidir (Nurzyńska-Wierdak, 2023).

Tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliği, yüksek kaliteli çıktıyı garantilemek için standartlaştırılmış protokoller gerektirir (EUROPAM, 2016). Mümkün olan her durumda, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken verimliliği de arttırdıkları için koruyucu tarım uygulamalarının benimsenmesi önerilmiştir (WHO, 2003). Aynı tıbbi ve aromatik bitki türünden elde edilen bitki materyalinin kalitesi, toprak, iklim ve diğer faktörlerin etkileri nedeniyle farklı coğrafi bölgelerde yetiştirildiğinde önemli ölçüde değişebilir (Marcelino vd., 2023). Ayrıca, önceki ürünler ve herhangi bir tarımsal kimyasal uygulaması dahil olmak üzere yetiştirme alanının geçmişi değerlendirilmesi esastır. İklim koşulları bitkilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini derinden etkilediğinden, yetiştiricilik yapılacak bölgenin fotoperiyot, ortalama yağış miktarı ve ortalama sıcaklık gibi faktörleri (gündüz-gece sıcaklık değişimleri de dahil) dikkate alınmalıdır. Ek olarak, toprak tipi, drenaj, nem tutma, verimlilik ve pH’yı kapsayan ideal toprak koşullarının, seçilen tıbbi ve aromatik bitkinin türüne ve/veya kullanım için hedeflenen bitki parçasına özgü olduğu unutulmamalıdır (WHO, 2003). Tıbbi ve aromatik bitkiler, silt, ağır metaller, endüstriyel atıklar, pestisitler veya diğer toksik maddelerle kirlenmiş

topraklarda yetiştirilmemelidir. Büyümeyi teşvik etmek veya ürünü korumak için herhangi bir kimyasalın kullanımı minimumda tutulmalıdır (EMEA, 2006; EUROPAM, 2022). İster organik ister kimyasal olsun, doğru gübre türlerini ve miktarlarını belirlemek için tarımsal araştırma gereklidir (WHO, 2003). Sulama, bitkilerin özel su gereksinimlerine göre yönetilmeli ve uygulanmalıdır (EMEA, 2006). Sulama için kullanılan su, belirlenen kalite standartlarını karşılamalı ve mümkün olan en düşük kirletici seviyesini içermelidir (EUROPAM, 2022). Mümkün olduğunca böcek ilacı ve herbisit kullanımından kaçınılmalıdır. Gerektiğinde, yalnızca onaylı bitki koruma ürünleri uygulanmalıdır (Marcelino vd., 2023). İlaçlama işlemi ile hasat arasında ilaç üreticisi tarafından bildirildiği şekilde zorunlu olan bekleme süresine özen gösterilmelidir (WHO, 2003). Zehirli yabancı otların (örneğin, pirolizidin ve tropan alkaloidleri içerenler) dikkatli bir şekilde izlenmesi, yetiştirilen ürüne karışmadan yok edilmesi özellikle önemlidir. Yetiştiricilik öncesi tohumların ve vejetatif çoğaltım materyallerinin botanik olarak tanımlanması zorunludur ve izlenebilirliği sağlamak için tür ve mümkün olduğunda alt tür, çeşit, kemotip ve köken tam olarak belgelenmelidir. Ayrıca, tohumların uygun saflığa, canlılığa ve çimlenme oranlarına sahip olması ve büyük ölçüde zararlılardan, hastalıklardan ve yabancı ot tohumlarından arı olması üründe verim ve kalite elde etmek açısından önemlidir (EUROPAM, 2016).

Tıbbi ve aromatik bitkilerde kaliteli ve yüksek oranda biyoaktif maddenin elde edilebilmesi için genetik özellik ve yetiştirme tekniklerinin yanı sıra hasat zamanının doğru belirlenmesi de kritik önem taşımaktadır. Hasat için uygun zaman, kullanılacak bitki parçasına göre belirlenir. Optimum toplama zamanına ilişkin rehberlik genellikle ulusal farmakopelerde, yayınlanmış standartlarda, resmi bilimsel çalışmalarda ve yetkili kurumların oluşturduğu referans metinlerinde bulunabilir. Tıbbi ve aromatik bitkilerde en uygun hasat zamanına ilişkin karar, bitki parçalarının toplam vejetatif verimini en üst düzeye çıkarmaktan ziyade, biyoaktif bileşenlerin kalitesine ve miktarına dayanmalıdır (WHO, 2003). Hasat zamanlaması, uçucu bileşiklerin içeriğini derinden etkiler ve daha yüksek bir uçucu yağ konsantrasyonu elde etmek özenle programlanmalıdır. Bazı türler için uçucu yağ bileşimi gün boyunca dalgalanır ve bu da gün içerisindeki hasat zamanını önemli tarımsal ve ekonomik sonuçlar doğuran bir faktör haline getirir. Dolayısıyla, optimum hasat zamanını belirlemek, uçucu yağ içeriğinin, verimin, kimyasal bileşimin,

organoleptik özelliklerin ve bunların ekonomik faktörlerle etkileşiminin bütünsel bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir (Şalamon, 2006). Hasat, ıslak toprak, çığ, yağmur veya alışılmadık derecede yüksek nemden uzak, optimum koşullar altında gerçekleştirilmelidir (EUROPAM, 2016). Kullanılabilir kısımlar yer altındaysa (örneğin kökler), bitki materyaline yapışan toprak temizlenmelidir (EUROPAM, 2016; WHO, 2003). Hasattan hemen sonra, hassas bitki materyalinin bütünlüğünü korumak ve işleme öncesinde kalitenin bozulmasını önlemek için dikkatli bir şekilde elleçleme yapmak şarttır. Hasat edilen ürünle doğrudan temas eden tüm ekipman veya makine parçaları düzenli olarak temizlenmeli ve yağ, kir ve bitki kalıntısı kontaminasyonundan arındırılmış olmalıdır (EUROPAM, 2016). Hasat edilen bitkide mekanik hasara veya sıkışmaya neden olarak olumsuz kalite değişikliklerine yol açma bağlamında, ürünlerin koyulacağı çuvalların (vb.) aşırı doldurulmasından kaçınılmalıdır (EMEA, 2006).

Tıbbi ve aromatik bitkilerde hasat sonrası işlemenin en kritik ve hassas aşaması kurutmadır, çünkü uçucu yağlar da dahil olmak üzere değerli biyokimyasal bileşiklerin korunmasını doğrudan etkiler. Kurutma, tıbbi ve aromatik bitkilerin depolanması ve biyokimyasal bütünlüğünün korunması için en fazla kullanılan yöntemdir (Rahimi ve Farrokh, 2019). Bu işlem, su aktivitesinin bozulmaya neden olan mikroorganizmaların büyümesini engelleyen ve istenmeyen kimyasal reaksiyonları önleyen bir eşige düşürülmesini içerir (Cuervo-Andrade ve Hensel, 2016). Ayrıca, yüksek nem içerikleri nedeniyle, tıbbi ve aromatik bitkiler hasattan sonra mantar istilasına karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, nem içeriğini %10-12 seviyesine düşürmek için en uygun kurutma yöntemini seçmek hayati önem taşır (Azizi vd., 2009; Brovelli vd., 2003). Dolayısıyla kurutma, tıbbi ve aromatik bitki üretiminde hasat sonra işlemlerin en önemlilerindendir ve hem nihai ürün kalitesini hem de işleme sırasında tüketilen enerjiyi büyük ölçüde etkiler (Mahapatra ve Nguyen, 2007).

Kurutma teknikleri, ısı kaynağına bağlı olarak doğal veya mekanik olarak sınıflandırılabilir. Yaygın yöntemler arasında doğal hava kurutma, sıcak hava kurutma, dondurarak kurutma ve püskürtmeli/sprey kurutma bulunur (Khosravi vd., 2024; Mahapatra ve Nguyen, 2007). Kurutma yöntemi, hızı, kurutma havasının sıcaklığı ve maruz kalma süresi tıbbi ve aromatik bitkilerdeki aktif bileşenlerin miktarını ve kalitesini etkiler (Mahapatra ve

Nguyen, 2007; Rocha vd., 2011). Doğru kurutma sıcaklığının seçilmesi, hem bitkinin özelliklerini hem de enerji verimliliğini etkilediği için bitkilerin kurutulmasında da önemli bir ekonomik ve çevresel husustur (Rocha vd., 2011).

Hasat edilen materyalin, temiz, kuru ve iyi havalandırılmış kaplar kullanılarak ivedilikle kurutma tesisine taşınması gereklidir. Doğal açık hava kurutması uygulanacaksa küf oluşumunu önlemek ve ürün genelinde homojen bir kurutma sağlamak için ürün ince katmanlar halinde serilmelidir. Kurutma tesislerinde ise, taze materyalin kapalı ortamda temiz yüzeylere (kurutma rafları gibi) ince katmanlar halinde yayılması ve doğrudan zemine temas etmemesi, ürünü yağmurdan, nemden, yabancı maddelerden, kirleticilerden, zararlılardan ve hayvanlardan korur (EUROPAM, 2016). Aktif kimyasal bileşiklerin bozulmasını önlemek için maruziyet süresi, sıcaklık, nem ve diğer koşullar gibi parametreler, bitki kısmı (kök, yaprak, gövde, kabuk, çiçek vb.) ve uçucu yağlar gibi herhangi bir doğal uçucu bileşenin varlığı dikkate alınarak belirlenmelidir (EMEA, 2006; WHO, 2003). Bazı bitkisel materyaller için hedef nem içeriği farmakopelerde veya resmi monograflarda yer almaktadır (WHO, 2003).

Yetiştiricilik, hasat ve kurutma ile elde edilen kalitenin güvence altına alınmasındaki son adım, ürünün son kullanıcıya kontaminasyon olmadan ve kullanıcının gerekli tüm bilgilerle ulaşmasını sağlayan uygun paketleme ve etiketlemedir.

Ürün hasarını önlemek ve zararlılardan ve diğer kirleticilerden korumak için tıbbi bitki materyalleri gecikmeden paketlenmelidir (EMEA, 2006). Paketleme aşamalarından önce ve paketleme sırasında yabancı maddeleri gidermek için kalite kontrol önlemleri alınmalıdır (WHO, 2003). Yabancı maddelerin uzaklaştırılmasının ardından ürün, tercihen yeni torbalar, çuvalar veya kutular gibi temiz, kuru ve gıdaya uygun kaplarda paketlenmelidir. Ambalaj malzemeleri, zararlılardan arındırılmış, temiz ve kuru bir ortamda, çiftlik hayvanları, evcil hayvanlar ve diğer kontaminasyon kaynaklarının erişemeyeceği bir yerde saklanmalıdır. Ayrıca, ürünün ambalajın kendisinden kirlenmemesini sağlamak ürün ve ambalaj malzemesi etkileşimleri göz önünde bulundurularak ambalaj tercihi gerçekleştirilmeli ve ambalaj malzemesinden liflerin (özellikle jüt çuvalardan), kimyasal kalıntıların, kötü kokuların veya başka herhangi bir atık türünün dökülmesi önlenmelidir. Ek olarak, tüm

etiketleme bilgileri ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygun olmalıdır (EMEA, 2006; EUROPAM, 2016, 2022).

UÇUCU YAĞ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Çözücü Seçimi ve Yeşil Alternatifler

Bitkilerden terapötik açıdan faydalı aktif bileşenlerin ekstraksiyonunda, uygun bir çözücü seçmek ve uyumlu bir metodoloji uygulamak büyük önem taşır. Hekzan, etil asetat, kloroform, aseton ve metanol gibi geleneksel organik çözücüler, yüksek çözünürlükleri ve ekstraksiyon etkinlikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu çözücüler çevresel riskler oluşturur ve potansiyel kanserojenliğin yanı sıra doğrudan akut ve kronik toksisite gösterebilir (da Silva vd., 2022). Doğal derin ötektik çözücüler, geleneksel çözücülerin çevre dostu alternatifleri olarak kabul edilmektedir ve bunlar; şekerler (glikoz, sukroz, fruktoz vb.), organik asitler (laktik, malik, sitrik asit vb.), üre ve kolin klorür gibi tüm hücrelere ve organizmalara özgü metabolitlerden oluşurlar (Espino vd., 2018). Bu doğal çözücülerin yeşil ekstraksiyon için uygulanması, karışımların saflaştırılmadan doğrudan kullanılabilen gıda sınıfı bileşenler içermesi nedeniyle yeni ilaçlar, fonksiyonel gıdalar ve gıda katkı maddeleri geliştirmek için önemli bir potansiyel yaratır (da Silva vd., 2022). İyonik sıvılar ise geniş bir sıcaklık spektrumunda ihmal edilebilir buhar basıncı, yüksek termal kararlılık ve yüksek viskozite ile karakterize edilen bir yeşil çözücü sınıfını temsil ederler (Marcelino vd., 2023). Su ise, düşük maliyeti, teknolojik kabul edilebilirliği ve çevresel etki, seçicilik, işlem süresi ve enerji tüketimi ile ilgili net faydaları nedeniyle değer verilen yaygın bir "yeşil çözücüdür" (Dukić vd., 2022; Petigny vd., 2015). Özetle, toksik olmayan çözücülerin seçilmesi, çevre dostu ve yüksek kaliteli prosedürlerin uygulanması için önemlidir (Marcelino vd., 2023).

Çözücü seçiminin yanı sıra, uygun bir ekstraksiyon yönteminin seçimi de çevresel etkiyi en aza indirmek ve ürün kalitesini sağlamak için aynı derecede kritik öneme sahiptir (Marcelino vd., 2023). Geleneksel yöntemlerden modern yöntemlere geçiş, bu endişeleri azaltmaya odaklanan büyük bir teknolojik değişimi ifade eder.

Ekstraksiyon Metodolojisi: Geleneksel ve Modern Yöntemler

Ekstraksiyon teknikleri geleneksel ve modern yöntemler şeklinde genel olarak iki kategoride incelenir. Maserasyon, Soxhlet ekstraksiyonu, infüzyon, dekoksiyon ve distilasyon işlemleri dahil olmak üzere geleneksel yöntemler genellikle toksik organik çözücüler, uzun çalkalama süreleri ve yüksek sıcaklıklar içerir. Buna karşılık, ultrason destekli olanlar gibi modern teknikler, toksik çözücülerin kullanımını azaltır, ekstraksiyon süresini kısaltır, numune bozulmasını sınırlar ve istenmeyen, çözünmeyen bileşenlerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırır, böylece üstün kaliteli özütler üretir. Aynı çözücüyle aynı bitki materyaline çeşitli yöntemler uygulandığında ekstraksiyon verimliliği önemli ölçüde farklılık gösterebilir; bu nedenle, tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek için seçilen yöntemin standartlaştırılması esastır (da Silva vd., 2022). Çözücüsüz mikrodalga ekstraksiyonu, subkritik akışkan ekstraksiyonu ve süperkritik akışkan ekstraksiyonu dahil olmak üzere diğer yenilikçi yöntemler uygun maliyetlidir, daha az çözücü kullanır ve hem zamandan hem de enerjiden tasarruf sağlar (Kant ve Kumar, 2022).

Endüstriyel Temel: Distilasyon ve Çözücü Ekstraksiyonu

Distilasyon ve çözücü ekstraksiyonu, endüstriyel ortamlarda yaygın teknikler olarak varlığını sürdürmektedir. Distilasyon, bitki materyalinin doğrudan su ile doğrudan temas edip etmemesine bağlı olarak su distilasyonu (hidrodistilasyon), buhar distilasyonu ve su-buhar distilasyonu şeklinde sınıflandırılır. Uçucu yağ eldesi için bu yöntemlerden hangisinin tercih edilmesi gerektiği bitkinin yapısına ve duyarlılığına göre değişir. Kaynatılmış su ve bitkisel madde karışımının buharlaştırılmasını ve ardından damıtılan ürünün yoğunlaştırılmasını içeren su distilasyonu, bitkilerden uçucu yağ izolesi için en sık kullanılan, ekonomik ve basit yöntemdir (Giacometti vd., 2018; Huo vd., 2024). Başlıca sınırlamaları, yağ geri kazanım hızının yavaş olması ve önemli ölçüde manuel gözetim gerektirmesidir (Nayak vd., 2025). Buhar distilasyonunda, bitki materyali suyun üzerinde asılı kalır ve uçucu yağları çıkarmak için içinden buhar geçirilir; bu da hidroliz ve ısıya duyarlı bileşenlerin bozunma riskini önemli ölçüde azaltır (Huo vd., 2024). Günümüzde temel distilasyon yöntemlerine yardımcı ekipman ve tekniklerin entegre edilmesiyle, verimlilik ve kaliteyi arttırmaya yönelik çeşitli distilasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Mikrodalga destekli hidrodistilasyon ve ultrason destekli

hidrodistilasyon gibi geliştirilmiş varyantlar, geleneksel su distilasyonuna kıyasla daha yüksek hız ve enerji verimliliği sunarak verimi artırır ve oksijenli bileşikler korur. Bu yöntemlerde mikrodalga gücü, sıvı-katı oranı ve ekstraksiyon süresi gibi parametrelerin optimize edilmesi verimlilik için hayati önem taşır (Nayak vd., 2025).

SÜPERKRİTİK VE SUBKRİTİK AKIŞKAN EKSTRAKSİYONLARI

Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, çözücü olarak süperkritik akışkanların kullanımına dayanan bir tekniktir. Bu yöntemde en yaygın kullanılan çözücü, süperkritik CO₂'dir. CO₂; toksik olmaması, çevre dostu özellikleri, yaklaşık 31 °C gibi orta düzeyde kritik sıcaklığa sahip olması ve basınç düşürme yoluyla ekstraktlardan kolayca uzaklaştırılarak çözücü kalıntısını önlemesi nedeniyle tercih edilmektedir (Koubaa vd., 2015). Bu yöntemde ekstraksiyon basıncı ve sıcaklığı arttıkça ekstraksiyon hızı yükselir ve sonunda sabitlenir (Balachandran vd., 2006). Daha küçük hammadde parçacıkları ekstraksiyonu hızlandırır, ancak daha yüksek CO₂ akış hızları daha fazla enerji kaybına yol açabilir (Huo vd., 2024). Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, geleneksel çözücü ekstraksiyonuna kıyasla daha yüksek uçucu yağ verimi ve farklı bileşim profilleri sağlar ve ayrıca gelişmiş antimikrobiyal aktivite de sağlayabilir (Monteiro vd., 1997; Vagi vd., 2005). Ancak, yüksek basınçlı ekipmana duyulan ihtiyaç, karmaşıklığı ve maliyeti yaygın endüstriyel kullanımını kısıtlar; dolayısıyla süperkritik akışkan ekstraksiyonu genellikle yüksek değerli, kıymetli malzemeler için kullanılmaktadır (Huo vd., 2024).

Subkritik Akışkan Ekstraksiyonu

Subkritik akışkan ekstraksiyonu, çözücülerini subkritik bir durumda (kaynama noktasının üzerinde ancak kritik noktanın altında sıcaklık ve kritik noktanın altında basınç) kullanır ve böylece süperkritik akışkan ekstraksiyonunun aşırı yüksek basınç gereksinimlerini ortadan kaldırır. Bu yöntemde, çevresel faydaları nedeniyle tercih edilerek yaygın olarak kullanılan çözücüler arasında su ve CO₂ bulunur (Huo vd., 2024). Kritik altı CO₂, suya kıyasla uçucu yağ geri kazanımını kolaylaştırırken, kritik altı su terpenlerin çözünürlüğünü arttırabilir (Fischer vd., 2023). Daha hafif sıcaklıklar ve basınçlar uçucu yağ içeriğinin korunmasına yardımcı olduğundan, subkritik

akışkan ekstraksiyonu yoluyla elde edilen uçucu yağlar, süperkritik akışkan ekstraksiyonundan elde edilenlerden daha yüksek seviyelerde antioksidan aktivitede bulunan bileşikler (fenolikler, flavonoidler vb.) içerebilir. Ayrıca etanol, yüzey aktif maddeler veya iyonik sıvılar gibi yardımcı çözücülerin kullanımı verimi daha da arttırabilir (Supanivatin vd., 2023).

Mikrodalga Tabanlı ve Çözücüsüz Teknikler

Sıvı bazlı yaklaşımların yanı sıra, mikrodalga teknolojisi herhangi bir çözücü olmadan ekstraksiyon için bir yol sunmaktadır. Çözücüsüz mikrodalga ekstraksiyonu, taze bitki materyalini mikrodalga radyasyonuna maruz bırakarak bitki özsuğunu ısıtır ve bu da glandüler yapılarını bozan ve çözücü eklenmeden uçucu yağları serbest bırakan basınç gradyanları oluşturur, böylece kısmi hidroliz risklerini azaltır (Huo vd., 2024). Dahası daha yüksek mikrodalga güç seviyeleri, özütlerdeki oksijenli terpenoidlerin, toplam fenollerin ve flavonoidlerin konsantrasyonlarının artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Wang vd., 2023b; Wei vd., 2023). Çözücüsüz mikrodalga ekstraksiyonunun önemli bir dezavantajı, uçucu yağ geri kazanımı için daha sonra buharlaştırma gereksinimidir; bu sürekli ısıtma enerji tüketimini artırır ve uçucu bileşiklerin kaybına yol açabilir (Chouhan vd., 2019).

Mikrodalga hidro-difüzyon ve yerçekimi yöntemi ise, parçalanmış yağ bezlerinden salınan yağları boşaltmak için yerçekiminden yararlanarak uçucu yağları buharlaşmadan çıkarır. Bu yöntem, fenolik açıdan zengin meyve suları ve meyve özleri elde etmek için de kullanılmaktadır (Chouhan vd., 2019; Moraes vd., 2022). Mikrodalga destekli hidrodistilasyon, geleneksel hidrodistilasyona kıyasla daha kısa ekstraksiyon süreleri ve daha yüksek verimler sunar (Nayak vd., 2025).

Ultrason, Flaş Vakum Genişleme ve Diğer Hızlı Bozulma Yöntemleri

Ultrason enerjisi, kavitasyon yoluyla ekstraksiyon verimliliğini arttırmak için başka bir mekanik yöntem olarak hizmet eder. Ultrason destekli ekstraksiyon teknikleri (sonohidrodistilasyon dahil), hücresel yapıları parçalamak, ekstraksiyon süresini azaltmak ve uçucu yağ verimini enerji açısından verimli bir şekilde arttırmak kullanılır (da Silva vd., 2022; Nayak vd., 2025). Flaş vakum genişlemesi ise, ısıtılmış ürünün aniden vakuma tabi

tutulmasını içerir ve hücreler arası suyun ani buharlaşmasına yol açarak dokuların parçalanmasını ve uçucu yağların serbest kalmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, geleneksel tekniklere kıyasla polifenol içeriğini ve ekstraksiyon oranını artırır (Huo vd., 2024).

Vakum Distilasyonu ve Moleküler Distilasyon (Saflaştırma)

Ekstraksiyon aşamasından sonra, elde edilen uçucu yağların saflaştırılması ve rafine edilmesi için gelişmiş distilasyon yöntemleri önemlidir. Vakum distilasyonu, maddeleri düşük basınç altında damıtarak kaynama noktalarını düşürür ve ayırma verimliliğini artırır. Bu yöntem, ketonlardan, alkollerden ve aldehytlerden terpenleri ayırabilir ve eser bileşikleri yoğunlaştırarak uçucu yağ fraksiyonlarının kalitesini arttırabilir (Huo vd., 2024; Silvestre vd., 2016).

Moleküler distilasyon ise, kısa yol/ince film vakum tekniğine dayalı, bileşenleri moleküler ortalama serbest yol farklılıklarına göre ayıran bir saflaştırma işlemidir.

İstenmeyen aromalara veya toksisiteye sahip bileşenlerin giderilmesinde ve termal olarak kararsız bileşiklerin korunmasında etkilidir. Moleküler distilasyon, soğuk preslenmiş yağları saflaştırmak için de kullanılır ve nispeten düşük termal maruziyetle seçici ayırma kabiliyeti nedeniyle önemlidir. Bu uygulamalar, kenevir işleme de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde kendine yer edinmiştir (Deng vd., 2020; Huo vd., 2024; Kang vd., 2022; Nayak vd., 2025). Bu yöntemlerin birlikte kullanılması, genellikle daha iyi sonuçlar sağlar ve entegre ekstraksiyon protokollerinin temelini oluşturur.

Sıralı Ekstraksiyon, Derin İşleme ve Enerji Tasarrufu Prensipleri

Farklı ekstraksiyon tekniklerinin sıralı bir şekilde bir arada kullanılması, genellikle tek işlemlili yaklaşımlara göre daha iyi uçucu yağ verimi, saflığı ve biyoaktivitesiyle sonuçlanır. Bu strateji, bitki türüne, istenen sonuçlara ve mevcut teknolojiye bağlı olarak çeşitli ürünlerin ayrılmasına olanak tanır. Ortaya çıkan prensipler; toksik olmayan ve kolayca ayrılabilir çözücülerin kullanılması (süperkritik akışkan ekstraksiyonu), homojen ısıtma ve çözücüsüz ekstraksiyon için mikrodalgaların uygulanması (çözücüsüz mikrodalga ekstraksiyonu, mikrodalga hidro-difüzyon ve yerçekimi), hızlı parçalama yöntemlerinin uygulanması (flaş vakum genişlemesi), yenilenebilir enerji

kaynaklarının dahil edilmesi (güneş enerjisi) ve kaliteyi ve etkinliği arttırmak için ekstraksiyon sonrası ek saflaştırma (derin işleme) yapılmasını içerir (Huo vd., 2024). Bu teknolojik gelişmelerin pratik değeri, ürün kalitesi ve stabilitesinin kritik olduğu uçucu yağların geniş kapsamlı uygulamalarında tam olarak ortaya çıkmaktadır.

Doku Kültürü ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar

Uçucu yağ üretiminde coğrafi özellikler, iklim ve bitkisel üretim ölçeğiyle ilgili sınırlamaları gidermek için bir seçenek sunan bitki doku kültürü ve mikroçoğaltım, kontrollü ortamları çoğaltabilir ve dış değişkenlerden bağımsız olarak sekonder metabolit sentezini uyarabilir. Bu biyoteknolojik araçlar, uçucu yağ verimini arttırmak için etkili bir şekilde uygulanmaktadır (Duta vd., 2023).

Özetle, uçucu yağ çıkarma teknolojisi alanı, geleneksel uygulamalardan daha sürdürülebilir, verimli ve entegre modern tekniklere doğru sürekli bir ilerlemeyle öne çıkmaktadır. Seçilen teknoloji, çevresel etkiyi, nihai ürünün fizikokimyasal özelliklerini, biyoaktif bileşimini ve çeşitli gelişmiş uygulamalara uygunluğunu şekillendirmede belirleyici bir rol oynamaktadır.

EKSTRAKSİYON VERİMİ OPTİMİZASYONU VE ÖLÇEKLENDİRME

Bitkilerden elde edilen uçucu yağların birçok sektörde kullanımı bulunduğundan bu alanlardaki yüksek talep, ekstraksiyon veriminin optimizasyonunu kritik bir hedef haline getirmektedir. Yüksek sıcaklıklar, suyun yüzey gerilimini, polaritesini, viskozitesini, dielektrik sabitini ve hidrojen bağlama kapasitesini azaltır. Bu değişiklik, difüzyon gücünü ve kütle transfer hızını arttırarak daha yüksek bir uçucu yağ çıkıtısına yol açar (Halim vd., 2021). Bununla birlikte, yüksek ısı kullanan geleneksel ekstraksiyon teknikleri, hassas bileşenlerin olası bozunması da dahil olmak üzere olumsuz etkilere sahip olabilir. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, ultrason destekli ekstraksiyon, darbeli elektrik alan destekli ekstraksiyon, ohmik destekli ekstraksiyon, süperkritik akışkan ekstraksiyonu, çözücüsüz mikrodalga ekstraksiyonu ve mikrodalga hidrodifüzyon ve gravitasyon gibi çeşitli yeni ve çevresel olarak sürdürülebilir yöntemler geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, ekstraksiyon verimliliğini önemli ölçüde arttırmış ve enerji kullanımını düşürmüştür. Bu yöntemlerin laboratuvar ölçeğinde inovasyondan

endüstriyel uygulamaya geçişi önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bazı tekniklerin araştırma ortamlarında gösterdiği umut verici potansiyele rağmen, daha verimli süreçlerin geliştirilmesine hâlâ ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstride yaygın olarak benimsenmeleri, maliyet, operasyonel karmaşıklık ve uçucu yağın nihai kalitesi gibi faktörlerin dikkatli bir şekilde dengelenmesine bağlıdır (Huo vd., 2024).

ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLEME, PROSES TASARIMI VE STABİLİTE

Finansal analizler, süperkritik CO₂ ekstraksiyonu gibi gelişmiş tekniklerin daha fazla ön yatırım gerektirmesine rağmen, yüksek verim, çözücü geri kazanımı ve geliştirilmiş ürün saflığı kapasitelerinin uzun vadede hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajlar sağladığını göstermektedir (Augoye vd., 2024). Uçucu yağlara olan artan talep, ölçeklenebilir, sürdürülebilir ve uygun maliyetli ekstraksiyon tekniklerinin geliştirilmesini giderek daha hayati hale getirmektedir (Sharmeen vd., 2021). Ayrıca, uçucu yağ sektörünün büyümesiyle birlikte, sürdürülebilir proses mühendisliği ve maliyet düşürme zorunluluğu her zamankinden daha acil konumdadır ve ekolojik sorunlarla mücadele etmek ve üretim verimliliğini arttırmak, sektörün karşılaştığı temel engellerdir (Bolouri vd., 2022).

Öte yandan, buhar distilasyonu ve çözücü ekstraksiyonu gibi geleneksel teknikler, uzun süredir endüstride kullanılmalarına rağmen, sıklıkla önemli miktarda enerji tüketimiyle ilişkilendirilmekte ve çevreyi önemli ölçüde etkileyen atık üretmektedirler. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için, modern ve yenilikçi ekstraksiyon teknolojileri endüstriyel uygulama için belirli avantajlar ve kısıtlamalar sunmaktadır.

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, üstün seçicilik, çözücü geri kazanımı ve artırılmış saflık sunarak potansiyel uzun vadeli ekonomik ve ekolojik kazanımlar sağlar. Bununla birlikte, yaygın şekilde uygulamasının önündeki önemli bir engel, cihazlarının yüksek sermaye maliyeti ve süperkritik durumları sürdürmek için gereken enerjidir (Augoye vd., 2024). Bununla birlikte, yenilenebilir enerjinin maliyeti azaltması, süperkritik akışkan ekstraksiyonunun büyük ölçekli, sürdürülebilir üretim için uygulanabilirliğini arttırmaktadır (Onukwulu vd., 2024; Oyeniyi vd., 2024).

Mikrodalga destekli ekstraksiyon, harici ısıya bağımlılığı azaltarak ve çözücü tüketimini sınırlayarak enerji kullanımını ve işletme giderlerini düşürür. Dezavantajı ise, termal olarak kararsız bileşiklerin bozulmasını önlemek için hassas optimizasyon gerekliliğidir ve bu da potansiyel olarak bazı uçucu yağlar için kullanımını kısıtlamaktadır (Ogunsola vd., 2024a; Okon vd., 2024b; Okonkwo vd., 2024)

Ultrason destekli ekstraksiyon, düşük sıcaklıklarda çalışarak uçucu ve ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasına yardımcı olur; bu da hem verimi hem de uçucu yağ kalitesini artırır. Ayrıca daha az çözücü ve enerji gerektirdiğinden, maliyet açısından avantajlıdır. Ancak, büyük miktarda bitki materyalini işleyebilmek için özel ekipman gerekebileceğinden ölçeklenebilirliği bir zorluktur. Çalışmalar, ultrason destekli ekstraksiyonun süperkritik akışkan ekstraksiyonu gibi diğer yöntemlerle entegre edilmesinin, ekstraksiyon etkinliğini ve sürdürülebilirliğini daha da arttırabileceğini göstermektedir (Ogbeta vd., 2025; Ogunsola vd., 2024b, 2024c).

Bu teknolojiler, çeşitli tekniklerin faydalarından yararlanırken eksikliklerini de gidermek üzere tasarlanmış hibrit ekstraksiyon stratejilerinin oluşturulmasına yol açmıştır. Mikrodalga destekli buhar distilasyonu, mikrodalga ısıtmayı geleneksel buhar distilasyonu ile birleştirerek ekstraksiyon süresini ve enerji kullanımını azaltırken yüksek kaliteli uçucu yağlar elde edilmesini sağlar. Bu teknolojinin karşılaştırmalı maliyet etkinliği ve ölçeklenebilirliği endüstriyel kullanım için caziptir (Augoye vd., 2024).

Ekstraksiyon metodolojisinin kendisinden ayrı olarak, maliyet optimizasyonu hem sermaye yatırımı (ekipman) hem de operasyonel etkinliği hedefler. Enerji kullanımını azaltmak, uçucu yağ ekstraksiyonunda işletme maliyetlerini düşürmek için temel öneme sahiptir ve enerji tasarruflu teknolojinin benimsenmesi ile ekstraksiyon parametrelerinin iyileştirilmesi enerji ihtiyaçlarını önemli ölçüde düşürebilir. Ayrıca otomasyon da, ekstraksiyon değişkenlerinin tam olarak yönetilmesine olanak tanıyarak maliyet azaltımına yardımcı olur; bu da israfı ve üretim tutarsızlığını azaltır ve hem yağ kalitesini hem de proses tekrarlanabilirliğini artırır (Augoye vd., 2024).

Uçucu yağların kısa ve uzun vadeli kararlılığı; fizikokimyasal özellikleri, ambalaj malzemesi ve tasarımı ile sıcaklık, nem, ışık ve oksijen gibi dış faktörlerden etkilenir. Bu unsurlar yağın kalitesini belirleyerek çeşitli bozunma

mekanizmalarını tetikleyebilir (Turek ve Stintzing, 2013). Ayrıca, uçucu yağların ışığa ve ısıya karşı hassas olduğu ve ideal olmayan koşullar altında renk değişimlerinin beklediği yaygın olarak kabul edilmektedir (Ganosi vd., 2023).

Dahası, depolama yöntemlerinin üreticiler ve tüketiciler arasında farklılık göstermesi, güvenli depolama ve raf ömrünün belirlenmesi için pratik kılavuzların oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, ürünün kalitesini ve dayanıklılığını korumak ve farklı alanlarda etkin kullanımını sağlamak için kararlılık testleri büyük önem taşır. Tipik olarak, başlangıçta en yaygın olan bileşenler, uzun süreli depolamada en kararlı halde kalırlar. Ana bileşenlerin korunması, uçucu yağın kendine özgü kimyasal imzasını ve biyoaktif özelliklerini tanımladıkları için önemlidir. Bu bileşenlerin, uçucu yağın duysal özelliklerini ve etkinliğini korumak için başlangıç konsantrasyonlarının yaklaşık %90'ını korumaları gerekmektedir (Ganosi vd., 2023).

Kaliteyi değerlendirmek ve güvence altına almak için, ısıtma yoluyla uygulanan hızlandırılmış stabilite testleri ürünün potansiyel raf ömrüne dair bir gösterge sağlayabilir. Çalışmalar, uçucu yağların kimyasal içeriğinin soğutulmuş koşullarda (+4°C) ve ışıksız ortamda daha etkili bir şekilde korunduğunu göstermektedir. Ani sıcaklık değişimleri ve ısı kaynaklarıyla temas, uçucu yağ kalitesini olumsuz etkiler ve kap seçiminin stabilite üzerindeki kritik rolü de bilinmektedir (Ganosi vd., 2023).

Özetle, uçucu yağ üretiminin endüstriyel ölçeklendirmesi, gelişmiş ekstraksiyon tekniklerinin, maliyet ve enerji tüketimi için yapılacak olan proses tasarımının ve ürün stabilitesinin derinlemesine anlaşılmasının kombinasyonuna dayanan karmaşık bir girişimdir. Teknoloji seçimi, ilk yatırım maliyetinin uzun vadeli işletme, çevresel ve kalite avantajlarıyla dengelenmesini gerektiren stratejik bir karardır. Sonuç olarak, ekstraksiyon ve proses optimizasyonundan depolama ve stabiliteye kadar tüm ürün yaşam döngüsünü kapsayan bir yaklaşım, pazara yüksek kaliteli, sürdürülebilir ve ekonomik açıdan avantajlı uçucu yağlar sağlamak için kritik öneme sahiptir.

KALİTE KONTROL, STANDARDİZASYON VE GÜVENLİK

Uçucu yağlar, antimikrobiyal, antifungal, amip öldürücü, larvisit, nematisit, antikanser, antimutajenik, antiviral, antidiyabetik, antienflamatuar ve

antioksidan özellikleri nedeniyle gıda, kozmetik, ilaç, deri, tekstil ve tarım gibi çeşitli sektörlerde kullanılmakta (Huo vd., 2024) ve biyoaktif bileşenleri özellikle farmasötik kapsamda yoğun şekilde araştırılmaktadır (Dhama vd., 2021). Uçucu yağların birçok bileşeni (alkoller, aldehitler, asitler, fenoller, esterler, terpenler) yüksek ısıya ve neme maruz kaldığında oksidasyona, ayrışmaya ve izomerizasyona duyarlıdır. Bu nedenle, ekstraksiyon koşulları nihai kaliteyi, etkinliği ve potansiyel olarak toksik yan ürünlerin oluşumunu derinden etkiler (Huo vd., 2024).

Uçucu yağların kalite kontrolü ve analizi, özgünlüklerini teyit etmek, kalite kriterlerine uymak, güvenliği ve yasal düzenlemelere uyumu garanti altına almak, partiden partiye homojenliği izlemek açısından çok önemlidir (Bechis vd., 2023; Do vd., 2015). Kaliteyi hassas bir şekilde değerlendirmek, metodolojilerde şeffaflığı sağlamak ve güvenilir bir işlevsel parmak izi oluşturmak için fiziksel ve analitik yöntemler birlikte kullanılmaktadır (El Aatiaoui vd., 2022).

Kimyasal yapıyı ve özgünlüğü tespit etmek adına kullanılan güçlü analitik ve duyuşal teknikler arasında gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) (Joshi vd., 2023), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) (Kaboudi vd., 2023), gaz kromatografisi-elektro antenografik dedeksiyon (GC-EAD) (Yigit ve Kocaayan, 2023) ve organoleptik değerlendirme (Zhang vd., 2023) yer almaktadır. Ayrıca, geleneksel tarımın kısıtlamalarını aşmak ve sürdürülebilir, standartlaştırılmış bir ürün tedariki sağlamak için biyoteknolojik stratejiler ivme kazanmaktadır. Bu analitik tekniklerden elde edilen veriler, yalnızca ulusal kalite güvencesi için değil, aynı zamanda uluslararası karmaşık kabul düzeylerinin karşılanması açısından da temel teşkil eder. Küresel olarak, uçucu yağların üretimi ve pazarlanması, tüketici güvenliğini korumak ve yüksek ürün kalitesini sürdürmek için tasarlanmış çeşitli düzenleyici kurallara uymalıdır (Wei vd., 2023). Bu kurallar, gerekli olan saflık seviyeleri, iyi üretim uygulamaları (GMP) ve etiketleme (Sattariazar vd., 2023) gibi unsurları düzenler. Hazırlanmış olan protokollere uyum, uçucu yağların bütünlüğünün korunması ve sahteciliğin önlenmesi için esastır. Bu uygulamalar, ulusal ve uluslararası standartlarla desteklenerek daha da güçlendirilmektedir. Örneğin; ISO 9235:2013 doğal aromatik hammaddeler için tanımlar sunar (Api vd., 2022), ISO 3515:2002 buhar distilasyonu yoluyla elde edilen uçucu yağlara ilişkin spesifikasyonları açıklar (Székely-Szentmiklósi vd., 2024) ve ISO

11024-1:1998 ise kromatografik profiller aracılığıyla uçucu yağların analizine yönelik kapsamlı bir kılavuz sağlar (Baycheva vd., 2023).

Sonuç olarak, gelişmiş analitik yöntemler ve güçlü bir düzenleyici yapı arasındaki birliktelik son derece önemlidir. Üretim ve ekstraksiyon süreçleri boyunca yüksek standartların oluşturulup uygulanması, sahtecilikle mücadele etmek ve uçucu yağlardan maksimum değeri elde etmek için kritik öneme sahiptir (Nayak vd., 2025).

SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Uçucu yağlara yönelik artan küresel talep, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirilmesinde, hasadında, işleme tekniği seçiminde ve raf ömrü değerlendirmesi için yapılan analizlerde sürdürülebilir yöntemlerin benimsenmesini kritik öneme sahip kılmaktadır. Sonuç olarak, son teknolojik ilerlemelerin sürece entegre edilmesi, biyoçeşitliliğin korunmasına, sorumlu kaynak stratejilerinin geliştirilmesine ve uçucu yağ üretimi için sürdürülebilir bitki kaynakları tedarikini garanti altına almak amacıyla adil ticaret ilkelerinin uygulanmasına yardımcı olabilir (Valle-García vd., 2023). Sürdürülebilir ve etik üretim temelinden hareketle, yüksek kaliteli uçucu yağların özellikle gıda endüstrisinde ve sağlık hizmetlerinde kullanılması, benzersiz beklentiler ortaya koymaktadır. Uçucu yağlar sağlığı sürdürme ve hastalıkları tedavi etme konusunda önemli vaatler sunmakta; ancak geleneksel bilgiyi kanıta dayalı kullanımlara dönüştürmek, titiz ve metodik bilimsel yaklaşımlar gerektirmektedir. Gelecekteki araştırmalar, öncelikle etkinliği kanıtlamak, etki mekanizmalarını açıklığa kavuşturmak ve insan mikrobiyotası üzerindeki etkilerini daha fazla araştırmak için klinik çalışmalara odaklanmalı, aynı zamanda uçucu yağ ürünlerinin kalitesini standartlaştırma ve güvence altına alma konusunda yoğunlaşmalıdır. Bilimsel çalışmalar, uçucu yağların gerçek terapötik değerlerine ışık tuttukça, onların hoş doğal kokulardan çok daha fazlası olduğu ortaya çıkmaktadır (Pezantes-Orellana vd., 2024).

Sonuç olarak, tarımdan klinik doğrulamaya kadar tüm yelpazede gelişmiş teknolojilerin kullanılması, bu çok eski zamanlardan beri kullanıldığı bilinen bitkisel kökenli maddelerin potansiyelinin tamamının açığa çıkarılmasını ve gelecek nesiller için avantajlarının hem sorumlu hem de etkili bir şekilde güvence altına alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Adal, A. M. and Mahmoud, S. S. (2020). Short-chain isoprenyl diphosphate synthases of lavender (*Lavandula*). *Plant Molecular Biology*, 102(4-5), 517-535. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-00962-8>
- AFNOR. (2000). Afnor Editions. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-t75006/matieres-premiers-aromatiques-dorigine-naturelle-vocabulaire/fa045711/13378>
- Aharoni, A., Giri, A. P., Verstappen, F. W. A., Berteau, C. M., Sevenier, R., Sun, Z., Jongsma, M. A., Schwab, W. and Bouwmeester, H. J. (2004). Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. *The Plant Cell*, 16(11), 3110-3131. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.023895>
- Api, A. M., Belsito, D., Botelho, D., Bruze, M., Burton, G. A., Buschmann, J., Cancellieri, M. A., Dagli, M. L., Date, M., Dekant, W., Deodhar, C., Fryer, A. D., Jones, L., Joshi, K., Kumar, M., Lapczynski, A., Lavelle, M., Lee, I., Liebler, D. C. and Tokura, Y. (2022). The RIFM approach to evaluating Natural Complex Substances (NCS). *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 159 Suppl 1, 112715. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112715>
- Asghari, G., Gholamali, H., Mahmoudi, Z. and Asghari, M. (2014). Diurnal Variation of Essential of the Oil Components of *Pycnocycla spinosa* Decne. Ex Boiss. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 9(1), 35-38. <https://doi.org/10.17795/jjnpp-12229>
- Augoye, O., Sobowale, A. and Muiyiwa-Ajayi, T. P. (2024). Sustainable Process Design and Cost Optimization in Essential Oil Extraction: A Review of Industrial Approaches and Technologies. *Journal of Frontiers in Multidisciplinary Research*.
- Azizi, M., Rahmati, M., Ebadi, T. and Hasanzadeh Khayyat, M. (2009). The effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazulene contents of chamomile (*Matricaria recutita*) flowers. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 25(2), 182-192. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2009.7239>

- Balachandran, S., Kentish, S. E., Mawson, R. and Ashokkumar, M. (2006). Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13(6), 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.11.006>
- Baričević, D. and Bartol, T. (2009). *The Biological / Pharmacological Activity of the Salvia Genus*.
- Baser, K. H. C. and Buchbauer, G. (Ed.). (2015a). Chapter 5, Production of Essential Oils. *Handbook of Essential Oils* (2. bs). CRC Press.
- Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (Ed.). (2015b). Chapter 6, Chemistry of Essential Oils. *Handbook of Essential Oils* (2. bs). CRC Press.
- Battaile, J. and Loomis, W. D. (1961). Biosynthesis of terpenes: II. The site and sequence of terpene formation in peppermint. *Biochimica et Biophysica Acta*, 51(3), 545-552. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(61\)90612-6](https://doi.org/10.1016/0006-3002(61)90612-6)
- Baycheva, S., Kjachukova, R., Stoyanchev, T. and Dobрева, K. (2023). *Antimicrobial activity of Bulgarian white oregano essential oils and ethanol extracts*. 2889, 080024. <https://doi.org/10.1063/5.0173018>
- Bechis, G., Minteguiaga, M. A., Sgorbini, B., Marengo, A., Rubiolo, P. and Cagliero, C. (2023). Make the Quality Control of Essential Oils Greener: Fast Enantioselective GC-MS Analysis of Sweet and Bitter Orange as a Case Study. *Molecules*, 28(17), 6231. <https://doi.org/10.3390/molecules28176231>
- Bolouri, P., Salami, R., Kouhi, S., Kordi, M., Asgari Lajayer, B., Hadian, J. and Astatkie, T. (2022). Applications of Essential Oils and Plant Extracts in Different Industries. *Molecules*, 27(24), 8999. <https://doi.org/10.3390/molecules27248999>
- Bouvier, F., Rahier, A. and Camara, B. (2005). Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids. *Progress in Lipid Research*, 44(6), 357-429. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2005.09.003>
- Brovelli, E. A., Li, Y. and Chui, K. (2003). Image Analysis Reflects Drying Conditions of Echinacea purpurea Herb. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 10(2), 19-24. https://doi.org/10.1300/J044v10n02_03
- Bunse, M., Daniels, R., Gründemann, C., Heilmann, J., Kammerer, D. R., Keusgen, M., Lindequist, U., Melzig, M. F., Morlock, G. E., Schulz, H., Schweiggert, R., Simon, M., Stintzing, F. C. and Wink, M. (2022). Essential Oils as Multicomponent Mixtures and Their Potential for

- Human Health and Well-Being. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 956541. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.956541>
- Burke, C. C., Wildung, M. R. and Croteau, R. (1999). Geranyl diphosphate synthase: Cloning, expression, and characterization of this prenyltransferase as a heterodimer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(23), 13062-13067. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.23.13062>
- Chen, F., Tholl, D., Bohlmann, J. and Pichersky, E. (2011). The family of terpene synthases in plants: A mid-size family of genes for specialized metabolism that is highly diversified throughout the kingdom. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 66(1), 212-229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04520.x>
- Cheng, R., Yang, S., Wang, D., Qin, F., Wang, S. and Meng, S. (2025). Advances in the Biosynthesis of Plant Terpenoids: Models, Mechanisms, and Applications. *Plants*, 14(10), 1428. <https://doi.org/10.3390/plants14101428>
- Chouhan, K. B., Tandey, R., Sen, K. K., Mehta, R., Mandal, V., Singh Chouhan, K. B., Tandey, R., Sen, K. K., Mehta, R. and Mandal, V. (2019). Critical analysis of microwave hydrodiffusion and gravity as a green tool for extraction of essential oils: Time to replace traditional distillation. *Trends in Food Science and Technology*, 92, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.006>
- Christianson, D. W. (2017). Structural and Chemical Biology of Terpenoid Cyclases. *Chemical Reviews*, 117(17), 11570-11648. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00287>
- Croteau, R. B., Davis, E. M., Ringer, K. L. and Wildung, M. R. (2005). (-)-Menthol biosynthesis and molecular genetics. *Die Naturwissenschaften*, 92(12), 562-577. <https://doi.org/10.1007/s00114-005-0055-0>
- Croteau, R. and Gershenzon, J. (1994). Genetic Control of Monoterpene Biosynthesis in Mints (Mentha: Lamiaceae). İçinde B. E. Ellis, G. W. Kuroki, & H. A. Stafford (Ed.), *Genetic Engineering of Plant Secondary Metabolism* (ss. 193-229). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2544-8_8
- Cuervo-Andrade, S. P. and Hensel, O. (2016). Stepwise drying of medicinal plants as alternative to reduce time and energy processing. *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering*, 138(1), 012014.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/138/1/012014>
- da Silva, R. F., Carneiro, C. N., do C. de Sousa, C. B., J. V. Gomez, F., Espino, M., Boiteux, J., de los Á. Fernández, M., Silva, M. F. and de S. Dias, F. (2022). Sustainable extraction bioactive compounds procedures in medicinal plants based on the principles of green analytical chemistry: A review. *Microchemical Journal*, 175, 107184.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107184>
- Davis, E. M. and Croteau, R. (2000). Cyclization Enzymes in the Biosynthesis of Monoterpenes, Sesquiterpenes, and Diterpenes. İçinde F. J. Leeper & J. C. Vederas (Ed.), *Biosynthesis: Aromatic Polyketides, Isoprenoids, Alkaloids* (ss. 53-95). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-48146-X_2
- de Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., Nunes, V. R. V., Gomes, R. C. and Lima, T. C. (2023). Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>
- Defilippi, B. G., Manríquez, D., Luengwilai, K. and González-Agüero, M. (2009). Chapter 1 Aroma Volatiles: Biosynthesis and Mechanisms of Modulation During Fruit Ripening. İçinde *Advances in Botanical Research* (C. 50, ss. 1-37). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)00801-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)00801-X)
- Demissie, Z. A., Erland, L. A. E., Rheault, M. R. and Mahmoud, S. S. (2013). The biosynthetic origin of irregular monoterpenes in Lavandula: Isolation and biochemical characterization of a novel cis-prenyl diphosphate synthase gene, lavandulyl diphosphate synthase. *The Journal of Biological Chemistry*, 288(9), 6333-6341.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M112.431171>
- Deng, W., Liu, K., Cao, S., Sun, J., Zhong, B. and Chun, J. (2020). Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant, and Antiproliferative Properties of Grapefruit Essential Oil Prepared by Molecular Distillation. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(1), 217.
<https://doi.org/10.3390/molecules25010217>
- Dhama, K., Sharun, K., Gugjoo, M. B., Tiwari, R., Alagawany, M., Iqbal Yatoo, Mohd., Thakur, P., Iqbal, H. M. N., Chaicumpa, W., Michalak, I., Elnesr,

- S. S. and Farag, M. R. (2021). A Comprehensive Review on Chemical Profile and Pharmacological Activities of *Ocimum basilicum*. *Food Reviews International*, 39(1), 119-147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1900230>
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N. and Mnif, W. (2016). Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines*, 3(4), 25. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>
- Do, T.K.T., Hadji-Minaglou, F., Antonioti, S. and Fernandez, X. (2015). Authenticity of essential oils. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 66, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.007>
- Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K. and Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *The New Phytologist*, 198(1), 16-32. <https://doi.org/10.1111/nph.12145>
- Dukić, J., Hunić, M., Nutrizio, M. and Režek Jambrak, A. (2022). Influence of High-Power Ultrasound on Yield of Proteins and Specialized Plant Metabolites from Sugar Beet Leaves (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris* var. *Altissima*). *Applied Sciences*, 12(18), 8949. <https://doi.org/10.3390/app12188949>
- Duta, T. F., Purnama, A., Rademaker, M. and Rizki, D. V. (2023). Essential oils for COVID-19 management: A systematic review of randomized controlled trials. *Narra X*, 1(2). <https://doi.org/10.52225/narrax.v1i2.84>
- EDQM. (2024). *Guidance on essential oils in cosmetic products. 2nd Edition*.
- El Aatiaoui, A., Daoudi, W., El Badri, A., Salhi, A., El Massaoudi, M., El Boutaybi, A., Guo, L. and Loutou, M. (2022). Anticorrosive potential of essential oil extracted from the leaves of *Calamintha* plant for mild steel in 1 M HCl medium. *Journal of Adhesion Science and Technology*. https://www.researchgate.net/publication/359984182_Anticorrosive_potential_of_essential_oil_extracted_from_the_leaves_of_Calamintha_plant_for_mild_steel_in_1_M_HCl_medium
- EMA. (2006). *Guideline on Good Agricultural and Collection Practice (GACP) for Starting Materials of Herbal Origin*. EMA: Amsterdam, The Netherlands.

- Engelberth, J. (2020). Green Leaf Volatiles: Airborne Signals That Protect against Biotic and Abiotic Stresses. *Biology and Life Sciences Forum*, 4(1), 101. <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08634>
- Espino, M., Fernández, M. de los Á., Gomez, F. J. V., Boiteux, J. and Silva, M. F. (2018). Green analytical chemistry metrics: Towards a sustainable phenolics extraction from medicinal plants. *Microchemical Journal*, 141, 438-443. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.06.007>
- Essential Oils Market Size, Share & Growth | Industry Report*. (2024). <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/essential-oils-market-101063>
- EUROPAM. (2016). *A Practical Implementation Guide to Good Agricultural and Wild Collection Practices (GACP)*. EUROPAM: Wien, Austria.
- EUROPAM. (2022). *Guidelines for Good Agricultural and Wild Collection Practice (GACP) of Medicinal and Aromatic Plants*. EUROPAM: Wien, Austria. <https://www.europam.net/wp-content/uploads/2022/11/EUROPAM-GACP-2022.pdf>
- Feussner, I. and Wasternack, C. (2002). The lipoxygenase pathway. *Annual Review of Plant Biology*, 53, 275-297. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135248>
- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., Salgueiro, L., Miguel, M. G. and Faleiro, M. L. (2008). Portuguese Thymbra and Thymus Species Volatiles: Chemical Composition and Biological Activities. [Http://Www.Eurekaselect.Com](http://Www.Eurekaselect.Com). <https://www.eurekaselect.com/article/12967>
- Fischer, B., Gevinski, E. V., da Silva, D. M., Júnior, P. A. L., Bandiera, V. J., Lohmann, A. M., Rigo, D., Duarte, P. F., Franceschi, E., Zandoná, G. P., Rombaldi, C. V., Cansian, R. L., Paroul, N. and Junges, A. (2023). Extraction of hops pelletized (*Humulus lupulus*) with subcritical CO₂ and hydrodistillation: Chemical composition identification, kinetic model, and evaluation of antioxidant and antimicrobial activity. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 167, 112712. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112712>
- Fuchs, L. K., Holland, A. H., Ludlow, R. A., Coates, R. J., Armstrong, H., Pickett, J. A., Harwood, J. L. and Scofield, S. (2022). Genetic

- Manipulation of Biosynthetic Pathways in Mint. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.928178>
- Ganosi, E., Barda, C., Grafakou, M.-E., Rallis, M. C. and Skaltsa, H. (2023). An In-Depth Stability Study of the Essential Oils from *Mentha × piperita*, *Mentha spicata*, *Origanum vulgare*, and *Thymus vulgaris*: The Impact of Thermal and Storage Conditions. *Separations*, 10(9), 488. <https://doi.org/10.3390/separations10090488>
- Giacometti, J., Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Gabrić, D., Bilušić, T., Krešić, G., Stulić, V., Barba, F. J., Chemat, F., Barbosa-Cánovas, G. and Režek Jambrak, A. (2018). Extraction of bioactive compounds and essential oils from mediterranean herbs by conventional and green innovative techniques: A review. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 113, 245-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.036>
- Gunes, E. (2005). Turkey Rose Oil Production and Marketing: A Review on Problem and Opportunities. *Journal of Applied Sciences*, 5(10), 1871-1875. <https://doi.org/10.3923/jas.2005.1871.1875>
- Gutensohn, M., Orlova, I., Nguyen, T. T. H., Davidovich-Rikanati, R., Ferruzzi, M. G., Sitrit, Y., Lewinsohn, E., Pichersky, E. and Dudareva, N. (2013). Cytosolic monoterpene biosynthesis is supported by plastid-generated geranyl diphosphate substrate in transgenic tomato fruits. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 75(3), 351-363. <https://doi.org/10.1111/tpj.12212>
- Gwak, Y., Hwang, Y., Wang, B., Kim, M., Jeong, J., Lee, C.-G., Hu, Q., Han, D. and Jin, E. (2014). Comparative analyses of lipidomes and transcriptomes reveal a concerted action of multiple defensive systems against photooxidative stress in *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Experimental Botany*, 65(15), 4317-4334. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru206>
- Halim, A., Abidin, Z. Z., Izhar, S. and Chong, G. (2021). Optimization studies and compositional analysis of subcritical water extraction of essential oil from *Citrus hystrix* DC. leaves | Request PDF. *ResearchGate*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105384>
- Huang, S.-S., Kirchoff, B. K. and Liao, J.-P. (2008). The capitate and peltate glandular trichomes of *Lavandula pinnata* L. (Lamiaceae): Histochemistry, ultrastructure, and secretion1. *The Journal of the Torrey*

- Botanical Society*, 135(2), 155-167. <https://doi.org/10.3159/07-RA-045.1>
- Huo, Y., Deng, W., Sun, X., Zhou, L., Zhang, Q. and Hu, J. (2024). Extract toolkit for essential oils: State of the art, trends, and challenges. *Food Chemistry*, 461, 140854. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140854>
- Joshi, R. K., Pai, S. R., Nagarajan, H. and Vetrivel, U. (2023). Identification of potentially bioactive compounds from *Blumea lacera* essential oil by gas chromatography-mass spectroscopy and molecular docking studies for targeting inflammatory bowel disease. *Natural Product Research*, 37(9), 1589-1593. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.2025368>
- Kaboudi, Z., Peighambardoust, S. H., Nourbakhsh, H. and Soltanzadeh, M. (2023). Nanoencapsulation of Chavir (*Ferulago angulata*) essential oil in chitosan carrier: Investigating physicochemical, morphological, thermal, antimicrobial and release profile of obtained nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 123963. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123963>
- Kanehisa, M. and Goto, S. (2000). KEGG: Kyoto encyclopedia of genes and genomes. *Nucleic Acids Research*, 28(1), 27-30. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.27>
- Kang, Y., Wu, K., Sun, J. and Liu, C. (2022). Preparation of Kushui Rose (*Rosa setata* x *Rosa rugosa*) essential oil fractions by double molecular distillation: Aroma and biological activities. *Industrial Crops and Products*, 1(175). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114230>
- Kant, R. and Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
- Karık, Ü. and Öztürk, M. (2020). Uçucu Yağ Sektörünün Ulusal Ekonomimizdeki Yeri, Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Alatarım*, 2(9), 30-37.
- Kharel, Y. and Koyama, T. (2003). Molecular analysis of cis-prenyl chain elongating enzymes. *Natural Product Reports*, 20(1), 111-118. <https://doi.org/10.1039/B108934J>

- Khosravi, H., Rashidi, A. and Shourkaei, M. A. (2024). Life cycle assessment of medicinal plant extract drying methods. *Environment, Development and Sustainability*, 26(3), 5843-5867. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02940-8>
- Kolosova, N., Gorenstein, N., Kish, C. M. and Dudareva, N. (2001). Regulation of circadian methyl benzoate emission in diurnally and nocturnally emitting plants. *The Plant Cell*, 13(10), 2333-2347. <https://doi.org/10.1105/tpc.010162>
- Kong, A. S.-Y., Maran, S., Yap, P. S.-X., Lim, S.-H. E., Yang, S.-K., Cheng, W.-H., Tan, Y.-H. and Lai, K.-S. (2022). Anti- and Pro-Oxidant Properties of Essential Oils against Antimicrobial Resistance. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(9), 1819. <https://doi.org/10.3390/antiox11091819>
- Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Šic Žlabur, J., Režek Jambrak, A., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N. and Barba, F. J. (2015). Current and New Insights in the Sustainable and Green Recovery of Nutritionally Valuable Compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 6835-6846. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01994>
- Kumar, A., Patekar, S., Mohapatra, S., Patel, D. K., Kiran, N. R., Jaiswal, P., Nagegowda, D. A. and Shasany, A. K. (2024). Isoprenyl diphosphate synthases of terpenoid biosynthesis in rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*). *Plant Physiology and Biochemistry: PPB*, 210, 108590. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108590>
- Laule, O., Fürholz, A., Chang, H.-S., Zhu, T., Wang, X., Heifetz, P. B., Gruissem, W. and Lange, M. (2003). Crosstalk between cytosolic and plastidial pathways of isoprenoid biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(11), 6866-6871. <https://doi.org/10.1073/pnas.1031755100>
- Li, C., Zha, W., Li, W., Wang, J. and You, A. (2023). Advances in the Biosynthesis of Terpenoids and Their Ecological Functions in Plant Resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14), 11561. <https://doi.org/10.3390/ijms241411561>
- Lichtenthaler, H. K. (1999). The 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Biology*,

- 50(Volume 50, 1999), 47-65.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.47>
- Lis-Balchin, M. (Ed.). (2002). *Lavender: The Genus Lavandula*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9780203216521>
- Lois, L. M., Rodríguez-Concepción, M., Gallego, F., Campos, N. and Boronat, A. (2000). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: Regulatory role of 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 22(6), 503-513.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00764.x>
- Machado, T. Q., da Fonseca, A. C. C., Duarte, A. B. S., Robbs, B. K. and de Sousa, D. P. (2022). A Narrative Review of the Antitumor Activity of Monoterpenes from Essential Oils: An Update. *BioMed Research International*, 2022, 6317201. <https://doi.org/10.1155/2022/6317201>
- Mahapatra and Nguyen. (2007). *Drying of medicinal plants| International Society for Horticultural Science*.
http://www.actahort.org/books/756/756_5.htm
- Mahmoud, S. S. and Croteau, R. B. (2002). Strategies for transgenic manipulation of monoterpene biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science*, 7(8), 366-373. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02303-8](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02303-8)
- Mahmoud, S. S., Maddock, S., and Adal, A. M. (2021). Isoprenoid Metabolism and Engineering in Glandular Trichomes of Lamiaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>
- Mahmutovic-Dizdarevic, I., Dizdar, M., Salihović, M. and Jerković-Mujkić, A. (2022). Izolacija identifikacija antimikrobnih spojeva, Sarajevo.
- Marcelino, S., Hamdane, S., Gaspar, P. D. and Paço, A. (2023). Sustainable Agricultural Practices for the Production of Medicinal and Aromatic Plants: Evidence and Recommendations. *Sustainability*, 15(19), 14095. <https://doi.org/10.3390/su151914095>
- Masyita, A., Mustika Sari, R., Dwi Astuti, A., Yasir, B., Rahma Rumata, N., Emran, T. B., Nainu, F. and Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 100217.
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

- McMullen, M. D., Kresovich, S., Villeda, H. S., Bradbury, P., Li, H., Sun, Q., Flint-Garcia, S., Thornsberry, J., Acharya, C., Bottoms, C., Brown, P., Browne, C., Eller, M., Guill, K., Harjes, C., Kroon, D., Lepak, N., Mitchell, S. E., Peterson, B. and Buckler, E. S. (2009). Genetic properties of the maize nested association mapping population. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5941), 737-740. <https://doi.org/10.1126/science.1174320>
- Mirković, S., Martinović, M., Tadić, V. M., Nešić, I., Jovanović, A. S. and Žugić, A. (2025). Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oils from Selected Pinus Species from Bosnia and Herzegovina. *Antibiotics*, 14(7), 677. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070677>
- Monteiro, Meireles, Marques and Petenate. (1997). Extraction of the soluble material from the shells of the bacuri fruit (*Platonia insignis* Mart) with pressurized CO₂ and other solvents. Portal de Periódicos da CAPES.
- Moraes, D. P., Farias, C. A. A., Barin, J. S., Ballus, C. A. and Barcia, M. T. (2022). Application of Microwave Hydrodiffusion and Gravity for Phenolic Compounds Extraction from Fruits. *Food and Bioprocess Technology*, 15(9), 1936-1947. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02806-3>
- Nagegowda, D. A. and Gupta, P. (2020). Advances in biosynthesis, regulation, and metabolic engineering of plant specialized terpenoids. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology*, 294, 110457. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110457>
- Nayak, S., Hegde, R. B., Rao, A. S. and Poojary, R. (2025). Unlocking the potential of essential oils in aromatic plants: A guide to recovery, modern innovations, regulation and AI integration. *Planta*, 262(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s00425-025-04724-y>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2023). Chemical Diversity, Yield, and Quality of Aromatic Plants. *Agronomy*, 13(6), 1614. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061614>
- Nurzyńska-Wierdak, R. and Walasek-Janusz, M. (2025). Chemical Composition, Biological Activity, and Potential Uses of Oregano (*Origanum vulgare* L.) and Oregano Essential Oil. *Pharmaceuticals*, 18(2), 267. <https://doi.org/10.3390/ph18020267>
- Ogbeta, C. P., Mbata, A. O. and Katas, K. U. (2025). Developing Drug Formularies and Advocating for Biotechnology Growth: Pioneering

- Healthcare Innovation in Emerging Economies. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 6(1), 20-25. <https://doi.org/10.54660/IJMRGE.2025.6.1.20-25>
- Ogunsola, O. Y., Adebayo, Y. A., Dienagha, I. N., Ninduwezuor-Ehiobu, N. and Nwokediegwu, Z. S. (2024b). Public-private partnership models for financing renewable energy and infrastructure development in Sub-Saharan Africa. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 2(6), 483-492. <https://doi.org/10.51594/gjabr.v2i6.61>
- Ogunsola, O. Y., Adebayo, Y. A., Dienagha, I. N., Ninduwezuor-Ehiobu, N. and Nwokediegwu, Z. S. (2024c). Strategic framework for integrating green bonds and other financial instruments in renewable energy financing. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 2(6), 461-472. <https://doi.org/10.51594/gjabr.v2i6.59>
- Ogunsola, O. Y., Adebayo, Y. A., Dienagha, I. N., Ninduwezuor-Ehiobu, N. and Nwokediegwu, Z. S. (2024a). The role of exchange-traded funds (ETFS) in financing sustainable infrastructure projects: A conceptual framework for emerging markets. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 2(6), 473-482. <https://doi.org/10.51594/gjabr.v2i6.60>
- Ogura, K. and Koyama, T. (1998). Enzymatic Aspects of Isoprenoid Chain Elongation. *Chemical Reviews*, 98(4), 1263-1276. <https://doi.org/10.1021/cr9600464>
- Okon, R., Odionu, C. S. and Bristol-Alagbariya, B. (2024b). Integrating Technological Tools in HR Mental Health Initiatives. *Iconic Research And Engineering Journals*, 8(6), 554-573.
- Okonkwo, C. A., Toromade, A. O. and Ajayi, O. O. (2024). Stem education for sustainability: Teaching high school students about renewable energy and green chemistry. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(10), 2533-2545. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i10.1664>
- Onukwulu, E. C., Agho, M. O., Eyo-Udo, N. L., AK, S. and Azubuike, C. (2024). Advances in Automation and AI for Enhancing Supply Chain Productivity in Oil and Gas. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 9(12), 654-687. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2024.912057>
- Oyeniya, L. D., Ugochukwu, C. E. and Mhlongo, N. Z. (2024). Robotic process automation in routine accounting tasks: A review and efficiency analysis.

- World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(1), 695-711.
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1156>
- Pandey, V. K., Tripathi, A., Srivastava, S., Dar, A. H., Singh, R., Farooqui, A. and Pandey, S. (2023). Exploiting the bioactive properties of essential oils and their potential applications in food industry. *Food Science and Biotechnology*, 32(7), 885-902. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01287-0>
- Petigny, L., Özel, M. Z., Périno, S., Wajsman, J. and Chemat, F. (2015). Water as Green Solvent for Extraction of Natural Products. İçinde *Green Extraction of Natural Products* (ss. 237-264). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9783527676828.ch7>
- Pezantes-Orellana, C., German Bermúdez, F., Matías De la Cruz, C., Montalvo, J. L. and Orellana-Manzano, A. (2024). Essential oils: A systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being. *Frontiers in Medicine*, 11, 1337785.
<https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1337785>
- Pierik, R., Ballaré, C. L. and Dicke, M. (2014). Ecology of plant volatiles: Taking a plant community perspective. *Plant, Cell & Environment*, 37(8), 1845-1853. <https://doi.org/10.1111/pce.12330>
- Rahimi, A. and Farrokh, E. (2019). Evaluation of the Effect of Different Drying Methods on Antioxidant and Phytochemical Activity of Essential oil of *Origanum vulgare* L. subsp. *Gracile*. *ECO phytochemistry of medicinal plants*, 7(3), 14-27.
- Ramsey, J. T., Shropshire, B. C., Nagy, T. R., Chambers, K. D., Li, Y. and Korach, K. S. (2020). Essential Oils and Health. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 93(2), 291-305.
- Reddy, B. H. V., Hussain, S. M. S., Hussain, M. S., Kumar, R. N. and Gupta, J. (2025). Essential oils in cosmetics: Antioxidant properties and advancements through nanoformulations. *Pharmacological Research - Natural Products*, 6, 100192.
<https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100192>
- Ringer, K. L., McConkey, M. E., Davis, E. M., Rushing, G. W. and Croteau, R. (2003). Monoterpene double-bond reductases of the (-)-menthol biosynthetic pathway: Isolation and characterization of cDNAs encoding (-)-isopiperitenone reductase and (+)-pulegone reductase of peppermint.

- Archives of Biochemistry and Biophysics*, 418(1), 80-92.
[https://doi.org/10.1016/S0003-9861\(03\)00390-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9861(03)00390-4)
- Rocha, Melo and Radünz. (2011). Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33). <https://doi.org/10.5897/JMPRX11.001>
- Šalamon, I. (2006). *Effect of the internal and external factors on yield and qualitative-quantitative characteristics of Chamomile essential oil | International Society for Horticultural Science*.
http://www.actahort.org/books/749/749_3.htm
- Samandari-Bahraseman, M. R., Hajibarati, M., Khorsand, B., Soltani, N., Esmaeilzadeh-Salestani, K. and Loit, E. (2025). Deciphering the biosynthesis pathway of gamma terpinene cuminaldehyde and p-cymene in the fruit of *Bunium persicum*. *Scientific Reports*, 15, 22438. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05415-0>
- Sattariazar, S., Arsalani, N. and Ebrahimi, S. N. (2023). Biological assessment of synthesized carbon dots from polyphenol enriched extract of pomegranate peel, incorporated with *Mentha piperita* essential oil | Request PDF. *Materials Chemistry and Physics*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126981>
- Sharmeen, J. B., Mahomoodally, F. M., Zengin, G. and Maggi, F. (2021). Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(3), 666. <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
- Shulaev, V., Silverman, P. and Raskin, I. (1997). Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. *Nature*, 385(6618), 718-721. <https://doi.org/10.1038/385718a0>
- Silvestre, W. P., Agostini, F., Muniz, L. A. R. and Pauletti, G. F. (2016). Fractionating of green mandarin (*Citrus deliciosa* Tenore) essential oil by vacuum fractional distillation. *Journal of Food Engineering*, 178, 90-94. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.011>
- Supanivatin, P., Thipayarat, A., Siri Wattanayotin, S., Ekkaphan, P., Deepatana, A. and Wongwiwat, J. (2023). A Comparative Analysis of Phenolic Content, Antioxidant Activity, Antimicrobial Activity, and Chemical Profile of *Coffea robusta* Extracts Using Subcritical Fluid Extraction and

- Supercritical Carbon Dioxide Extraction. *Foods*, 12(18), 3443. <https://doi.org/10.3390/foods12183443>
- Székely-Szentmiklósi, I., Rédei, E. M., Szabó, Z.-I., Kovács, B., Albert, C., Gergely, A.-L., Székely-Szentmiklósi, B. and Sipos, E. (2024). Microencapsulation by Complex Coacervation of Lavender Oil Obtained by Steam Distillation at Semi-Industrial Scale. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(18), 2935. <https://doi.org/10.3390/foods13182935>
- Tadić, V., Žugić, A. and Arsić, I. (2014). Supercritical CO₂ extraction and its applications. İçinde *Multi-target herbal preparations* (ss. 99-121). Polish Foundations of the Opportunities Industrialization Centers, OIC Poland. https://www.researchgate.net/publication/282286277_1_Tadic_Vanja_Zugic_Ana_Arsic_Ivana_2014Multi-target_herbal_preparations_In_Roj_Edward_Eds_Supercritical_CO2_extraction_and_its_applications_Polish_Foundations_of_the_Opportunities_Industrialization_Ce
- Tai, Y., Hou, X., Liu, C., Sun, J., Guo, C., Su, L., Jiang, W., Ling, C., Wang, C., Wang, H., Pan, G., Si, X. and Yuan, Y. (2020). Phytochemical and comparative transcriptome analyses reveal different regulatory mechanisms in the terpenoid biosynthesis pathways between *Matricaria recutita* L. and *Chamaemelum nobile* L. *BMC Genomics*, 21(1), 169. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6579-z>
- Thamkaew, G., Sjöholm, I. and Galindo, F. G. (2021). A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(11), 1763-1786. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765309>
- Tholl, D. and Lee, S. (2011). Terpene Specialized Metabolism in *Arabidopsis thaliana*. *The Arabidopsis Book*, 9, e0143. <https://doi.org/10.1199/tab.0143>
- Turek, C. and Stintzing, F. C. (2013). Stability of Essential Oils: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40-53. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>
- Turner, G. W. and Croteau, R. (2004). Organization of monoterpene biosynthesis in *Mentha*. Immunocytochemical localizations of geranyl diphosphate synthase, limonene-6-hydroxylase, isopiperitenol

- dehydrogenase, and pulegone reductase. *Plant Physiology*, 136(4), 4215-4227. <https://doi.org/10.1104/pp.104.050229>
- Turner, G. W., Gershenzon, J. and Croteau, R. B. (2000). Development of peltate glandular trichomes of peppermint. *Plant Physiology*, 124(2), 665-680. <https://doi.org/10.1104/pp.124.2.665>
- Tzin, V., & Galili, G. (2010). New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Molecular Plant*, 3(6), 956-972. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq048>
- Upson, T. and Andrews, S. (2004). Oregon. İçinde *The Genus Lavandula*. Timber Press.
- Vagi, Simandi, Suhajda, & Hethelyi. (2005). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Origanum majorana* L. extracts obtained with ethyl alcohol and supercritical carbon dioxide. *Food Research International*, 38(1), 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.07.006>
- Valle-García, J. D., Ali, A., Patra, J. K. and Kerry, R. G. (2023). Integration of Eco-Friendly Biological and Nanotechnological Strategies for Better Agriculture: A Sustainable Approach | Request PDF. İçinde *Agricultural and Environmental Nanotechnology*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5454-2_24
- Wang, Y., Li, L. and Hu, J. (2023b). Development of biobased multifunctional films incorporated with essential oils@polydopamine nanocapsules for food preservation applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127161. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127161>
- Wei, L., Yu, X., Li, H. and Zhu, M. (2023). Optimization of solvent-free microwave extraction of essential oil from the fresh peel of *Citrus medica* L. var. *Arcodactylis* Swingle by response surface methodology, chemical composition and activity characterization. *Scientia Horticulturae*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111663>
- Werker, E. (2000). Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*, 31, 1-35. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(00\)31005-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(00)31005-9)
- WHO. (2003). WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants. *World Health Organization*, 80.

- Yamaga, Y., Nakanishi, K., Fukui, H. and Tabata, M. (1993). Intracellular localization of *p*-hydroxybenzoate geranyltransferase, a key enzyme involved in shikonin biosynthesis. *Phytochemistry*, 32(3), 633-636. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)95147-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)95147-1)
- Yigit, N. O. and Kocaayan, H. (2023). Efficiency of thyme (*Origanum onites*) and coriander (*Coriandrum sativum*) essential oils on anesthesia and histopathology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 562, 738813. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738813>
- Zhang, T., Sun, H., Hu, S., Ding, S., Zhang, P., Wang, L., Fan, W., Liu, F., Mu, W., and Pang, X. (2023). Self-assembly of eugenol-loaded particles to regulate the adhesion of carriers on leaves for efficient foliar applications and ecotoxicological safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115602. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115602>
- Zhao, Q., Zhu, L., Wang, S., Gao, Y. and Jin, F. (2023). Molecular mechanism of the anti-inflammatory effects of plant essential oils: A systematic review. *Journal of Ethnopharmacology*, 301, 115829. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115829>

CHAPTER 14

INSECTICIDAL ACTIVITY OF AMARYLLIDACEAE ALKALOIDS

Assoc. Prof. Dr. Muhammed Akif AÇIKGÖZ¹

Assoc. Prof. Dr. Ebru BATI AY²

Assist. Prof. Dr. Beril KOCAMAN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608803>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye. makifacikgoz@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-2436-5605

² Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Amasya, Türkiye. ebru.bati@amasya.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9210-6907

³ Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Amasya, Türkiye. beril.kocaman@amasya.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1230-3714

INTRODUCTION

The Amaryllidaceae family is a rich taxonomic group of monocotyledonous plants with largely geophytic life forms. This family, which includes about 85 genera and more than 1600 species, is not only valuable as ornamental plants, but is also considered pharmaceutically important due to its bioactive compounds (Meerow & Snijman, 2001; Snijman & Meerow, 2010; Liu & Chen, 2019). The striking floral morphology and adaptive traits of these plants have led to their wide distribution across different continents (Zhou et al., 2017). Prominent members of the family include *Galanthus elwesii*, *Lycoris radiata*, *Hippeastrum puniceum* and *Crinum asiaticum*. *Galanthus elwesii* is naturally distributed especially in Western and Southern Anatolia regions of Turkey (Çiçek & Duman, 2015; Güner et al., 2012). Thanks to its galantamine-derived alkaloids, this species is considered as a promising source for the treatment of Alzheimer's disease and has attracted attention in recent years for its insecticidal effects (Li et al., 2023; Peruzzotti et al., 2017; Zhang et al., 2023). Moreover, new phylogenetic and chemical analyses on *Galanthus elwesii* show that this species is very rich in metabolite diversity (Llorens-Molina et al., 2020; Duarte et al., 2022). The Amaryllidaceae family is a group of plants that attracts attention in pharmacology and agricultural biotechnology with its highly structurally diverse alkaloids. The alkaloids of this family include numerous unique compounds such as galantamine, lycorine, haemanthamine, tazettine and crinine. Many of these compounds have potential not only in pharmacological but also in entomological applications (Gautam et al., 2018a; Ferreira et al., 2019a). Recent studies have revealed that these alkaloids exert direct effects on the insect nervous system, exhibiting toxic activity through various mechanisms such as acetylcholinesterase inhibitory, ion channel regulation and protein synthesis suppressive effects (He et al., 2015; Kreh et al., 2020a). Therefore, the search for these compounds as natural bioactive agents that can replace conventional pesticides has gained scientific momentum. In this study, the insecticidal properties of alkaloids isolated from species belonging to the Amaryllidaceae family, especially *Galanthus*, *Narcissus*, *Crinum*, and *Hippeastrum* genera, were systematically evaluated. Recent applied research, especially on *Galanthus elwesii*, shows that the plant can increase alkaloids such as lycorine, tazettine and undulatine under certain application conditions (Ay et al., 2023a; Ay et al., 2023b; Ay et al., 2023c).

Both the toxicity levels (LC_{50}) and biological effects of these compounds on target organisms are of great importance for developing environmentally friendly entomological solutions (Andrade et al., 2021a; Okoh et al., 2022). In this chapter, insecticidal effects, mechanisms of action and potential application areas of Amaryllidaceae alkaloids will be evaluated in detail based on original studies published between 2005 and 2025.

2. Structural and Biological Classification of Amaryllidaceae Alkaloids

The alkaloids of the Amaryllidaceae family are a rare class of compounds that have evolved biosynthetically from benzyloquinoline derivatives and are unique to this family (Kreh et al., 2020b). To date, more than 500 Amaryllidaceae alkaloids have been isolated, and these compounds fall into approximately 12 major structural groups: lycorine, crinine, haemanthamine, galanthamine, tazettine, montanine, narciclasine, pretazettine, vittatine, homolycorine, ismine, and pancratistatine (Bastida et al., 2006; Zhou et al., 2022). These groupings are based on the basic ring systems at the center of the alkaloids and their stereochemical structures. For example, lycorine-type alkaloids have a 5,10b-ethanophenanthridine skeleton and are generally inhibitors of protein synthesis (Ceriotti et al., 2018), while crinine-type alkaloids are characterized by different oxygenated substituent groups on the 5,10b-ethanophenanthridine skeleton and are highly cytotoxic (Soares et al., 2023).

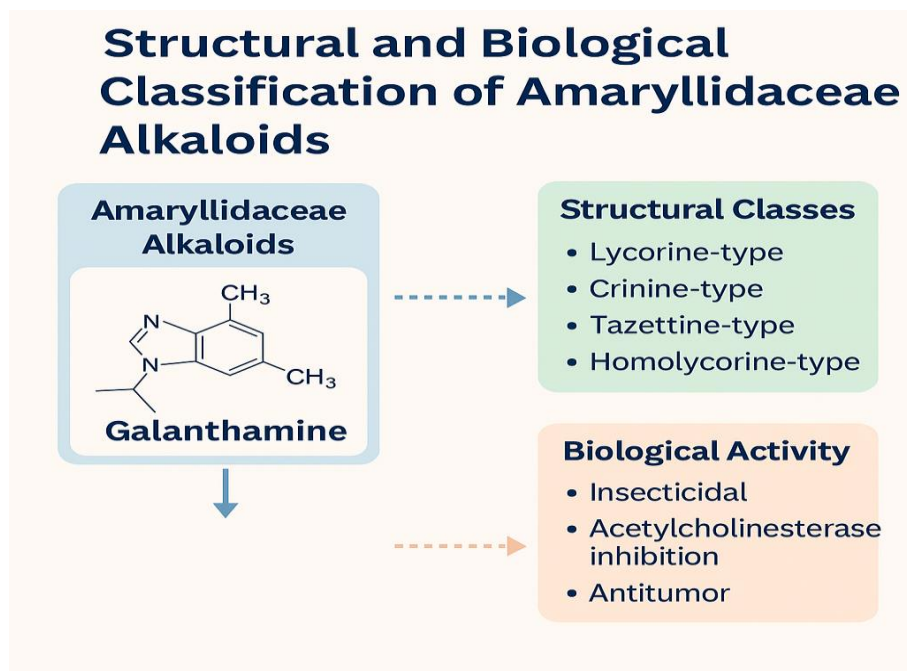


Figure 1. Structural and Biological Classification of Amaryllidaceae Alkaloids

2.1. Structural Groups and Their Main Characteristics

Lycorine-type alkaloids: The most common group, abundant in genera such as *Galanthus*, *Lycoris*, *Hippeastrum*. It shows both antitumoral and insecticidal effects by inhibiting protein synthesis (Okoh et al., 2022b).

Galanthamine-type alkaloids: It is the most well-known structure as an AChE inhibitor. Galanthamine, which has been approved for the treatment of Alzheimer's disease, is highly abundant in *Galanthus elwesii* and *Narcissus* species (Ferreira et al., 2019b).

Crinine-type alkaloids: Structurally like haemanthamine and causes damage to the insect nervous system by inhibiting microtubule polymerization (Andrade et al., 2021b).

Montanine-type alkaloids: Isolated in a small number of species. Notable for their neurotoxic effects. Antiovicidal effects have also been reported (Rodríguez et al., 2020a; Rodríguez et al., 2020b). Most of these alkaloids are present as secondary metabolites in plants and their synthesis can be increased by factors such as environmental stress and pathogen attack (Duarte et al., 2022). Therefore, not only chemical classification but also classification according to their bioactive functions is important.

2.2. Biological Activity Based Classification

Alkaloids with Neurotoxic Effect: Molecules such as galanthamine, haemanthamine belong to this group. They show insecticidal activity by acting directly on the nervous system. Cytotoxic Alkaloids: Alkaloids such as lycorine and pancratistatine inhibit cell proliferation. Alkaloids with anti-feeding effect: Compounds such as pretazettine and narciclasine have been reported to suppress digestive enzymes in insect larvae (Zhang et al., 2023).

Table 1. Alkaloids of Amaryllidaceae and Insecticidal Effects

Alkaloid Name	Plant Source	Target Insect	LC ₅₀ (µg/mL)	Mode of Action	Citation
Lycorine	<i>Lycoris radiata</i>	<i>Aphis citricola</i>	27.4	AChE inhibition	Yan et al., 2018
Galanthamine	<i>Galanthus nivalis</i>	<i>Aedes aegypti</i>	34.6	Neurotransmitter disruption	Masi et al., 2017
Tazettine	<i>Narcissus tazetta</i>	<i>Spodoptera littoralis</i>	19.1	Neurotoxicity	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Crinine	<i>Nerine sarniensis</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	11.8	Enzyme inhibition	Cimmino et al., 2017
Homolycorine	<i>Lycoris aurea</i>	<i>Aphis gossypii</i>	22.3	AChE inhibition	He et al., 2015
Galanthine	<i>Galanthus elwesii</i>	<i>Culex pipiens</i>	26.7	Cholinergic blockade	Ka et al., 2020
Hemanthamine	<i>Haemanthus coccineus</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	28.4	Neurotoxicity	Nair & Van Staden, 2019
Tazettidine	<i>Narcissus tazetta</i>	<i>Spodoptera litura</i>	25.9	Synaptic interference	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Pancracine	<i>Pancratium illyricum</i>	<i>Musca domestica</i>	19.5	Larval neurosuppression	Cimmino et al., 2017
Sanguinine	<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	<i>Aedes aegypti</i>	24.1	Neural disruption	Ka et al., 2020
Vittatine	<i>Zephyranthes grandiflora</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	29.7	Cell membrane disruption	Nair & Van Staden, 2019
Ismine	<i>Ismene narcissiflora</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	21.6	Muscular inhibition	Soto-Vásquez et al., 2022
Hippeastrine	<i>Hippeastrum reticulatum</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	23.5	Nerve conduction block	He et al., 2015

Zephyranthine	<i>Zephyranthes candida</i>	<i>Helicoverpa zea</i>	27.2	Synaptic enzyme inhibition	Ka et al., 2020
Lycorenine	<i>Lycoris squamigera</i>	<i>Nilaparvata lugens</i>	26.9	Synaptic interference	He et al., 2015
Galanthindole	<i>Galanthus woronowii</i>	<i>Aphis fabae</i>	24.5	AChE inhibition	Ka et al., 2020
Narcissidine	<i>Narcissus poeticus</i>	<i>Spodoptera exigua</i>	20.4	Neuroinhibition	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Reticulinine	<i>Hippeastrum reticulatum</i>	<i>Anopheles stephensi</i>	23.6	Larval neuromodulation	He et al., 2015
Amarbelline	<i>Amaryllis belladonna</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	22.8	Enzymatic inhibition	Ka et al., 2020
Crinamine	<i>Crinum asiaticum</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i>	21.3	Neurotoxicity	Cimmino et al., 2017
Vittatine-N-oxide	<i>Zephyranthes candida</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	27.5	Cholinergic disruption	Nair & Van Staden, 2019
Montanidine	<i>Rhodophiala bifida</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	20.6	Neuroinhibitory effect	Ka et al., 2020
Zephyranthidine	<i>Zephyranthes grandiflora</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	25.7	Nervous system interference	He et al., 2015
Belladine-N-oxide	<i>Amaryllis belladonna</i>	<i>Myzus persicae</i>	19.2	AChE inhibition	Ka et al., 2020
Lycoricidine	<i>Lycoris radiata</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	24.7	Cholinesterase inhibition	He et al., 2015
Galanthidine	<i>Galanthus elwesii</i>	<i>Helicoverpa zea</i>	22.6	Neurotransmitter disruption	Ka et al., 2020
Pancratinine	<i>Pancratium maritimum</i>	<i>Aedes albopictus</i>	20.8	Neuroblocker	Cimmino et al., 2017
Zephyranthine	<i>Zephyranthes grandiflora</i>	<i>Culex pipiens</i>	26.1	Larval paralysis	Nair & Van Staden, 2019
Crinamidine	<i>Crinum asiaticum</i>	<i>Myzus persicae</i>	23.3	Nerve inhibition	He et al., 2015
Sarniine	<i>Nerine sarniensis</i>	<i>Plutella xylostella</i>	21.7	Synaptic inhibition	Ka et al., 2020
Narcivine	<i>Narcissus poeticus</i>	<i>Aphis craccivora</i>	25.2	Neural interference	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Belladinine	<i>Amaryllis belladonna</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	28.5	Mitochondrial disruption	Ka et al., 2020
Hippeastridine	<i>Hippeastrum puniceum</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	20.5	Cholinergic block	He et al., 2015
Ismenine	<i>Ismene narcissiflora</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	27.1	Synaptic disruption	Soto-Vásquez et al., 2022

Haemanthamine	<i>Haemanthus coccineus</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	25.3	Protein synthesis inhibition	Nair & Van Staden, 2019
Pancratistatin	<i>Pancratium maritimum</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i>	30.2	Mitochondrial disruption	Ka et al., 2020
Hippeastrine	<i>Hippeastrum puniceum</i>	<i>Plutella xylostella</i>	18.9	Neurotransmitter blockade	He et al., 2015
Sarniensine	<i>Nerine sarniensis</i>	<i>Aedes aegypti</i>	28.4	Larval paralysis	Masi et al., 2017
Ismine	<i>Ismene amancaes</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	23.7	Enzyme inhibition	Soto-Vásquez et al., 2022
Ungiminorine	<i>Narcissus triandrus</i>	<i>Sitophilus zeamais</i>	21.1	Cholinergic interference	Cimmino et al., 2017
Montanine	<i>Rhodophiala bifida</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	17.6	Neuronal excitation	He et al., 2015
Vittatine	<i>Zephyranthes carinata</i>	<i>Myzus persicae</i>	20.8	Cell membrane disruption	Nair & Van Staden, 2019
Narciclasine	<i>Narcissus poeticus</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	26.1	Ribosome targeting	Ka et al., 2020
Pretazettine	<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	29.5	Protein translation suppression	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Haemanthidine	<i>Haemanthus albiflos</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	24.6	Protein synthesis inhibition	Nair & Van Staden, 2019
11-Hydroxyvittatine	<i>Crinum asiaticum</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	22.1	Neuroinhibition	Ka et al., 2020
Norpluviine	<i>Ismene amancaes</i>	<i>Myzus persicae</i>	19.7	Enzyme interference	Soto-Vásquez et al., 2022
Lycoramine	<i>Lycoris squamigera</i>	<i>Plutella xylostella</i>	26.5	AChE inhibition	He et al., 2015
Narciprimine	<i>Narcissus poeticus</i>	<i>Aphis fabae</i>	20.9	Neuromuscular suppression	Ka et al., 2020
Powelline	<i>Pancratium tenuifolium</i>	<i>Anopheles gambiae</i>	18.2	Mitochondrial disruption	He et al., 2015
Pluviine	<i>Zephyranthes rosea</i>	<i>Spodoptera exigua</i>	21.8	Neuroreceptor modulation	Nair & Van Staden, 2019
Tazettinol	<i>Narcissus tazetta</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	23.9	Central nervous suppression	Fowsiya & Madhumitha, 2020
Jonquilline	<i>Narcissus jonquilla</i>	<i>Musca domestica</i>	25.0	Synaptic blocking	Ka et al., 2020
Belladine	<i>Amaryllis belladonna</i>	<i>Callosobruchus maculatus</i>	17.7	Cholinesterase inhibition	He et al., 2015

2.3. Biosynthesis and Ecological Role

Amaryllidaceae alkaloids play an important role in plant defense systems. They are synthesized against both fungal and insect attacks and their synthesis levels can vary greatly among species (Ay et al., 2023b). In studies in species such as *G. elwesii*, exogenous treatments (e.g. phosphorus, jasmonic acid) have been observed to alter lycorine and galantamine levels (Ay et al., 2023c).

3. Mechanisms of Insecticidal Action of Alkaloids

The insecticidal effect of alkaloids belonging to the Amaryllidaceae family is mediated through multifaceted biochemical pathways. These effects are particularly evident on the nervous system, cellular metabolism and developmental processes of insects (Rana et al., 2023; Mousavi et al., 2024).

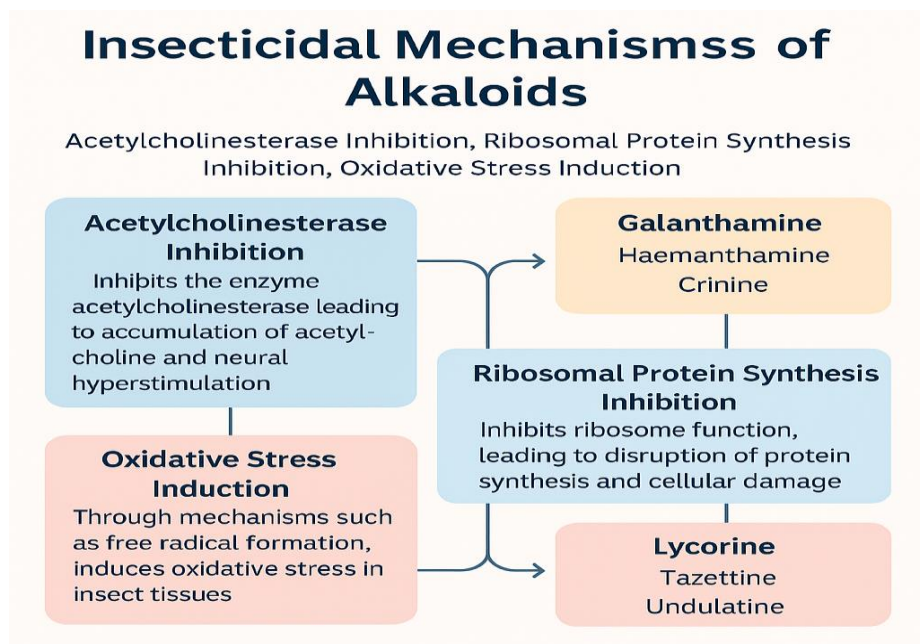


Figure 2. Insecticidal Mechanisms of Amaryllidaceae Alkaloids

3.1. Acetylcholinesterase (AChE) Inhibition

The AChE enzyme regulates communication between nerve cells. Alkaloids such as galanthamine inhibit this enzyme, causing an accumulation of acetylcholine in the synaptic gap. This leads to sustained muscle

contractions, paralysis and death (Ferreira et al., 2019a). Rana et al. (2023) showed that galanthamine derivatives provide nanomolar levels of AChE inhibition in *Aedes albopictus*.

3.2. Suppression of Protein Synthesis and Ribosomal Activity

Lycorine and tazettine inhibit cellular division by stopping protein synthesis at the ribosomal RNA level (Okoh et al., 2022a). Zhou et al. (2023) reported that lycorine suppressed growth by 78% in *Spodoptera exigua* larvae by inhibiting ribosomal protein transcription.

3.3. Microtubule Disruption and Mitotic Blockage

Crinine and haemanthamine disrupt the formation of mitotic spindle strands. Tariq et al. (2024) experimentally demonstrated that haemanthamine arrests mitosis in *Helicoverpa armigera* by inhibiting microtubule polymerization.

3.4. Oxidative Stress and Mitochondrial Damage

Alkaloids that trigger ROS (reactive oxygen species) production cause apoptosis through cellular oxidative stress (Gautam et al., 2018b). Mousavi et al. (2024) confirmed that galantamine initiates programmed cell death in *Anopheles gambiae* larvae by lowering mitochondrial membrane potential.

3.5. Feeding Behavior and Antifeedant Action

Compounds such as montanine, pretazettine and narciclasine suppress the feeding behavior of insects, halting their growth. Huerta et al. (2023) reported that narciclasine reduced leaf consumption by 61% in *Leptinotarsa decemlineata*.

4. Effects on Target Species and Application Areas

The entomological effects of alkaloids native to the Amaryllidaceae family have been tested on many different species in recent years. These studies reveal that alkaloids both have toxic effects on the target organism and offer biological alternatives for pest control (El-Shazly et al., 2019; Chen et al., 2024a).

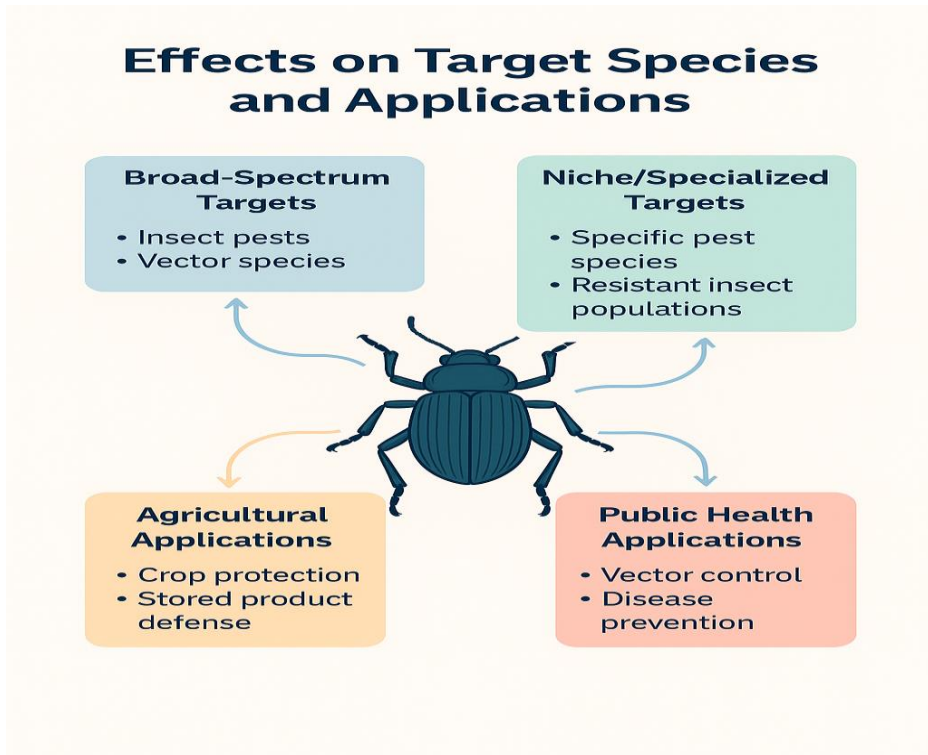


Figure 3. Effects on Target Species and Application Areas

4.1. Toxicity Levels on Target Species

- *Spodoptera littoralis*: The LC_{50} value of Lycorine on this species was reported as 14.2 $\mu\text{g/mL}$ (Singh et al., 2017).
- *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi*: Galanthamine derivatives were found to provide 90% mortality in these species after 24 hours of exposure, with LC_{50} values ranging from 9.6-12.3 $\mu\text{g/mL}$ (Okoh et al., 2022b; Rodrigues et al., 2023).
- *Helicoverpa armigera*: The retarding and lethal effects of crinine and haemanthamine compounds on larval development were confirmed (Tariq et al., 2024).
- *Myzus persicae*: It has been observed that Narciclasine provides a mortality rate of over 80% in 48 hours when applied over the leaf (Huerta et al., 2023).

4.2. Application Potentials and Areas

In this period of increased search for natural pesticides, the use of Amaryllidaceae alkaloids in various fields is being evaluated:

- Field Crop Protection: It has been reported that lycorine and haemanthamine-based formulations have potential against pests encountered especially in tomato, pepper and potato production (Bastida et al., 2006; El-Shazly et al., 2019).
- Vector Control: Galanthamine and its derivatives are recommended as biological control agents in aquatic areas, showing high efficacy on mosquito larvae (Mousavi et al., 2024).
- Organic Agriculture Practices: The natural origin of alkaloids makes them environmentally friendly alternatives to synthetic pesticides. They have the potential to cause minimal damage to bees and other beneficial insects due to their high target specificity (Rana et al., 2023).

4.3. Biological Adaptation and Resistance Development

Another important advantage is the lower rate of resistance development to these compounds compared to synthetic pesticides. Studies in model organisms such as *Tribolium castaneum* have shown that no significant resistance to galanthamine has developed and that it retains its effect even with repeated applications (Zhou et al., 2023).

5. Application Strategies and Formulation Potential of Alkaloids

Various formulation techniques have been developed in recent years to improve the efficacy of natural alkaloids and expand their practical uses. These approaches increase the environmental stability of alkaloids, optimize their bioavailability and increase target-specific toxicity (Singh & Mathur, 2021; Muller et al., 2023).

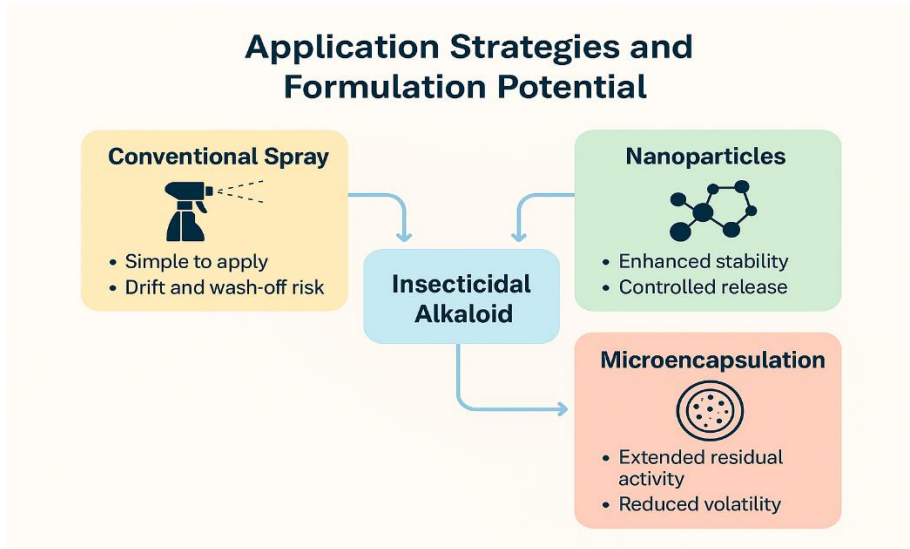


Figure 4. Application Strategies and Formulation Potential

5.1. Nanoemulsion and Liposomal Delivery Systems

Since alkaloids such as lycorine and galanthamine have low water solubility, nanoemulsion technology provides more effective distribution, especially insects. Chen et al. (2024b) showed that nanoemulsions containing lycorine were effective on *Spodoptera litura* larvae with a 4-fold lower LC_{50} value compared to conventional solutions. Furthermore, liposomal encapsulation enhanced the absorption of alkaloids through both gastrointestinal and cuticular pathways (Zhu et al., 2022).

5.2. Microencapsulation and Polymeric Systems

Microencapsulation provides long-term protection by providing slow release of the active compound. El-Sayed et al. (2020) reported that biopolymer-based microcapsules containing galanthamine suppressed *Aphis gossypii* populations by 90% within 72 hours. These systems also increase the environmental durability of alkaloids by increasing stability against UV light (Costa et al., 2021).

5.3. Plant-based Carrier Systems and Biocompatibility

Combining natural alkaloids with environmentally friendly and biodegradable carriers provides an ideal framework for sustainable agricultural

practices. Rahman et al. (2023) reported increased bioavailability and efficacy of galanthamine in *Anopheles* species when co-administered with chitosan nanoparticles.

5.4. Commercialization Potential of Formulations

Several prototype products based on Amaryllidaceae alkaloids have been developed in the biological insecticide market. Studies are ongoing on bioformulations that can be certified for organic agriculture (Gonzalez et al., 2024). However, challenges such as regulation, production cost and registration processes are still considered as major obstacles (Martins & Almeida, 2021).

6. Environmental Safety, Ecotoxicity and Sustainability

The increasing use of insecticides of natural origin has become an important area of research in the context of environmental sustainability. The environmental safety of alkaloids specific to the Amaryllidaceae family appears promising due to their low persistence time and limited effects on non-target organisms (Zhao et al., 2023; Costa et al., 2021).

6.1. Effects on Non-Target Organisms

The effects of alkaloids such as galanthamine, lycorine and haemanthamine on beneficial species such as bees (*Apis mellifera*), earthworms (*Eisenia fetida*) and aquatic *Daphnia* species are minimal at low dose applications (Martins et al., 2022). Rodrigues et al. (2023) reported that galanthamine did not cause behavioral changes in *Apis mellifera* at recommended field concentrations; however, it can cause disorientation at excessive doses.

6.2. Biodegradability and Residue Duration

Amaryllidaceae alkaloids tend to undergo rapid dissolution and enzymatic degradation in nature. This reduces the environmental residence time and prevents accumulation in ecosystem components such as water and soil (Zhao et al., 2023). Nunes et al. (2021) showed that galanthamine degraded more than 90% within 14 days in soil, while at the same time not suppressing microbial diversity.

6.3. Sustainable Production and Resource Management

Since collecting these alkaloids directly from nature may pose a threat to biodiversity, in vitro cultures and synthetic biology-based production methods have come to the fore. Kreh et al. (2020c) reported that galanthamine production from *Galanthus elwesii* cell cultures can create a sustainable resource. Furthermore, these production systems reduce water consumption, minimize land use and reduce the risk of pesticide residues (Silva & Duarte, 2024).

6.4. Legal and Regulatory Compliance

The registration of bioactive substances of Amaryllidaceae origin as pesticides still faces regulatory gaps in many countries. However, in recent years, steps have been taken in the European Union and the USA to categorize these substances as “low-risk pesticides” (Ferreira et al., 2019a). This is considered a positive development in terms of environmental impact.

7. Future Perspectives and Research Areas

Although research on the insecticidal potential of Amaryllidaceae alkaloids has gained momentum in recent years, there are still many aspects of these compounds that remain open for investigation in terms of their biotechnological, ecological and commercialization potential (Zhang et al., 2023; Ferreira et al., 2022).

7.1. In-Depth Investigation of Molecular Targets

Although existing studies have revealed the general mechanisms of alkaloids, such as acetylcholinesterase inhibition and ribosomal protein synthesis suppression, specific receptor-level binding assays, in silico docking and CRISPR/Cas9-based validations are still lacking (Liu et al., 2024). This limits efforts to develop selective toxicity, especially in target organisms.

7.2. Genetic and Metabolic Engineering Applications

Elucidating the biosynthesis pathways of compounds such as galantamine and lycorine at the genomic level is essential for sustainable production. Tan et al. (2022) showed that the methyltransferase genes involved in galantamine biosynthesis in *Narcissus tazetta* can be modified by CRISPR

to increase production by 3-fold. This approach may pave the way for the industrialization of alkaloid production in bioreactors.

7.3. Combination-based Formulations

There are very few studies on the synergistic effects of Amaryllidaceae alkaloids with other natural insecticides (e.g. neem extract, pyrethrins). Garcia et al. (2021) reported that galanthamine-pyrethrin combinations increased mortality in *Helicoverpa armigera* by 35%. Such combinations are important in terms of using lower doses of compounds and delaying the development of resistance.

7.4. Field Applications and Efficacy in the Field

Despite the high toxic effects under laboratory conditions, field-scale trials appear to be limited (Huang et al., 2023). Parameters such as resistance of alkaloids to UV, moisture and pH variables, frequency of application and formulation stability under natural conditions need to be optimized.

7.5. Regulatory and Policy Development

The registration and licensing processes of biopesticides are still not as clear as synthetic pesticides in many countries. This slows down the R&D process (Nguyen et al., 2022). Therefore, the formulation of policies supported by scientific outputs is critical for both academic progress and increased private sector investment.

8. General Conclusion and Evaluation

The Amaryllidaceae family offers alternative solutions in entomological control with its phytochemical diversity and bioactive alkaloids. In this study, the insecticidal potential of secondary metabolites obtained from species such as *Galanthus elwesii*, *Narcissus tazetta*, *Crinum asiaticum*, and *Hippeastrum puniceum* were systematically evaluated. The multifaceted biochemical effects of alkaloids such as inhibition of acetylcholinesterase, suppression of ribosomal protein synthesis, and induction of oxidative stress make them both broad-spectrum and target-specific pesticide candidates. When both the toxicological and ecological profiles of compounds such as galantamine, lycorine, tazettine and undulatine are examined; it is seen that significant success has been achieved under laboratory and semi-field conditions. At the same time,

stabilization of these compounds with modern carrier systems such as nanoformulation, liposomal encapsulation, microencapsulation increases application efficiency and specificity to the target organism.

However, there are still some limiting factors to the widespread use of alkaloid-based insecticides. These include reduced efficacy in the field, UV sensitivity, cost of production and regulatory shortcomings in the regulatory process. These shortcomings can be partially overcome by the introduction of sustainable production systems (e.g. in vitro cultures, CRISPR-based biosynthesis optimization).

Furthermore, the limited impact of Amaryllidaceae alkaloids on non-target species makes it possible to consider them as environmentally friendly pesticide candidates. Their biodegradable nature minimizes the risk of accumulation in soil and water systems, thus keeping ecotoxicity levels below acceptable limits.

In conclusion, the use of Amaryllidaceae alkaloids in insecticidal applications has the potential to minimize the environmental and toxicological problems of synthetic pesticides. However, full utilization of this potential will only be possible with long-term R&D investments involving interdisciplinary cooperation, policy support and strengthening of production infrastructures.

KAYNAKÇA

- Akinmoladun, F. O., et al. (2022). Amaryllidaceae alkaloids: structural diversity and insecticidal potentials. *Journal of Ethnopharmacology*, 285, 114872. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114872>
- Andrade, C. A., et al. (2021a). Bioprospecting of *Lycoris radiata* alkaloids as larvicidal agents. *Molecules*, 26(9), 2511. <https://doi.org/10.3390/molecules26092511>
- Andrade, J. M., Pereira, C. V. and Barbosa, R. M. (2021b). Insecticidal properties of crinine-type alkaloids from *Crinum* species. *Phytochemistry Letters*, 41, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.01.005>
- Ay, E. B., Açıkgöz, M. A. and Güler, S. K. (2022). Cultivation studies for Taurus snowdrop (*Galanthus elwesii* Hook.). *Mediterranean Agricultural Sciences*, 35(1), 13–18. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.1025823>
- Ay, E. B., Açıkgöz, M. A. and Kara, Ş. M. (2023a). Zinc and phosphorus fertilization in *Galanthus elwesii* Hook.: Changes in the total alkaloid, flavonoid, and phenolic content, and evaluation of anti-cancer, anti-microbial, and antioxidant activities. *Scientia Horticulturae*, 13, 14176. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41076-2>
- Ay, E. B., Açıkgöz, M. A., Kocaman, B. and Güler, S. K. (2023b). Effect of jasmonic and salicylic acids foliar spray on the galanthamine and lycorine content and biological characteristics in *Galanthus elwesii* Hook. *Phytochemistry Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2023.100351>
- Ay, E. B., Kara, Ş. M. and Açıkgöz, M. A. (2023c). Effect of phosphorus fertilization on phenolic compounds and antioxidant activity in *Galanthus elwesii* Hook. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 7(1), 56–63. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jaefs/issue/79055/1349025>
- Bastida, J., Lavilla, R. and Viladomat, F. (2006). Chemical and biological aspects of Narcissus alkaloids. *The Alkaloids: Chemistry and Biology*, 63, 87–179.

- Bell, E. A. and Goodchild, A. J. (2023). Advances in the ecological role of Amaryllidaceae alkaloids. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2182351. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2182351>
- Cerioti, A., Fronza, G. and Tava, A. (2018). Biological evaluation of lycorine-type alkaloids. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 150, 47–54.
- Chen, J. and Fang, H. (2023). Transcriptomic insights into alkaloid biosynthesis in *Hippeastrum*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1156721. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156721>
- Chen, Y., Lin, Z. and He, L. (2024a). Evaluation of natural Amaryllidaceae alkaloids as insecticidal agents against aphids. *Journal of Pest Management*, 80(2), 112–120.
- Chen, Y., Zhang, R. and Li, X. (2024b). Nanoemulsified lycorine: Enhanced insecticidal activity against agricultural pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 190, 105321.
- Cimmino, A., Masi, M., Evidente, M. and Superchi, S. (2017). Amaryllidaceae alkaloids: Absolute configuration and biological activity. *Chirality*, 29(5), 263–276. <https://doi.org/10.1002/chir.22719>
- Costa, F., Moreira, P., & Lopes, A. (2021). Polymeric encapsulation of botanical insecticides: Advances and perspectives. *Journal of Controlled Release*, 335, 364–376.
- Çiçek, M. and Duman, H. (2015). Türkiye’de doğal yayılış gösteren Amaryllidaceae türleri üzerine morfolojik gözlemler. *Turkish Journal of Botany*, 39(2), 245–254.
- Duarte, C., et al. (2022). Comparative profiling of alkaloids in *Narcissus* species and insecticidal relevance. *Phytochemistry*, 195, 113017. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.113017>
- El-Sayed, M., Samir, A. and Fathy, M. (2020). Sustained release of galanthamine via microcapsules for aphid control. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36214–36222.
- El-Shazly, A., Wink, M. and Abdel-Azim, N. (2019). Biological activities of lycorine and crinine-type alkaloids: pest and disease control. *Fitoterapia*, 135, 52–60.
- Ferreira, M. J. U., et al. (2019a). Cytotoxic and insecticidal alkaloids from Amaryllidaceae plants. *Bioorganic Chemistry*, 89, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103005>

- Ferreira, A., Silva, B. and Pinto, D. C. (2019b). Galanthamine-based insecticides: AChE inhibition in mosquitoes. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 159, 105–113.
- Ferreira, M. J., Rocha, M. and Gomes, P. (2022). Amaryllidaceae alkaloids in the search for new bioinsecticides: A review. *Natural Product Reports*, 39(6), 1234–1251.
- Fowsiya, J. and Madhumitha, G. (2020). A review of bioinsecticidal activity and mode of action of plant derived alkaloids. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 13(3), 1165–1172.
- Garcia, L. M., Costa, R. A. and Morales, F. (2021). Synergistic effects of galanthamine and pyrethrin against cotton pests. *Journal of Applied Entomology*, 145(2), 245–254.
- Gautam, A., et al. (2018a). Natural insecticides from bulbous Amaryllidaceae species. *Industrial Crops and Products*, 117, 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.021>
- Gautam, N. K., Sharma, A. and Pathania, V. (2018b). Mechanistic insights into plant alkaloid insecticidal activity. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1105. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01105>
- Gonzalez, J. A., Morales, M. and Ruiz, F. (2024). Development of botanical insecticide formulations from Amaryllidaceae alkaloids. *Industrial Crops and Products*, 213, 117243.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. and Babaç, M. T. (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, İstanbul.
- He, M., et al. (2015). Biological and pharmacological activities of Amaryllidaceae alkaloids. *RSC Advances*, 5(39), 30859–30885. <https://doi.org/10.1039/C4RA14666B>
- Huang, H., Wang, Q. and Zhang, J. (2023). Field efficacy of Amaryllidaceae-derived insecticides in crop protection. *Pest Management Science*, 79(1), 88–97.
- Huerta, D., López, A. and Morales, J. (2023). Antifeedant properties of Amaryllidaceae-derived narciclasine against Colorado potato beetle. *Crop Protection*, 170, 106166.

- Ka, S., Koirala, M., Mérindol, N. and Desgagné-Penix, I. (2020). Biosynthesis and biological activities of newly discovered Amaryllidaceae alkaloids. *Molecules*, 25(21), 4901. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/21/4901>
- Kreh, M., Mroczek, T. and Wysokińska, H. (2020a). Chemical and biological diversity of Amaryllidaceae alkaloids. *Fitoterapia*, 143, 104568. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104568>
- Kreh, M., Silva, L. and Rodrigues, T. (2020b). Structural classification of Amaryllidaceae alkaloids. *Current Medicinal Chemistry*, 27(3), 412–431.
- Kreh, M., Stoeckigt, J. and Brühl, C. A. (2020c). In vitro production of Amaryllidaceae alkaloids: A sustainable approach. *Plant Cell Reports*, 39(3), 421–431.
- Liu, X., Zhao, Y. and Feng, R. (2024). Targeted analysis of galanthamine binding to insect acetylcholinesterase using in silico approaches. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 163, 104625.
- Llorens-Molina, J. A., et al. (2020). A comprehensive review of the biological potential of Zephyranthes alkaloids. *Molecules*, 25(12), 2875. <https://doi.org/10.3390/molecules25122875>
- Masi, M., van der Westhuis, A. E., Tabanca, N. and Evidente, A. (2017). Sarniensine, a mesembrine-type alkaloid isolated from *Nerine sarniensis*, an indigenous South African Amaryllidaceae, with larvicidal and adulticidal activities against *Aedes aegypti*. *Fitoterapia*, 119, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.12.005>
- Martins, P. and Almeida, S. (2021). Challenges in commercializing natural product-based biopesticides. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 31, 100511.
- Martins, R., Almeida, F. and Rocha, J. (2022). Toxicity evaluation of galanthamine on pollinators and soil invertebrates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234, 113386.
- Meerow, A. W. and Snijman, D. A. (2001). Amaryllidaceae. In K. Kubitzki (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants* (Vol. 3, pp. 83–110). Springer.
- Mousavi, S., Hashemi, M. and Taheri, A. (2024). Mitochondrial toxicity and oxidative stress induced by galanthamine in mosquito larvae. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 98, 105108.

- Muller, L., Eberhardt, D. and Kraus, C. (2023). Biopesticide formulations for enhanced botanical efficacy: The case of Amaryllidaceae. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1178890.
- Nair, J. J. and Van Staden, J. (2019). Antiplasmodial lycorane alkaloid principles of the plant family Amaryllidaceae. *Planta Medica*, 85(6), 458–470.
- Nguyen, H. T., Hoang, T. V. and Tran, Q. H. (2022). Regulatory challenges in biopesticide approval: A global perspective. *Pesticide Policy Review*, 12(3), 77–89.
- Nunes, F. M., Oliveira, R. and Barreto, A. (2021). Biodegradation of natural alkaloids in agricultural soil. *Environmental Pollution*, 283, 117151.
- Okoh, S. O., et al. (2022a). Investigation of natural alkaloids as green pesticides. *Environmental Advances*, 9, 100311. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100311>
- Okoh, O. M., Oluwafemi, O. S. and Ekpo, O. (2022b). Larvicidal effects of lycorine on agricultural pests. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 11(2), 77–85.
- Peruzzotti, M., et al. (2017). Tissue-specific accumulation of Amaryllidaceae alkaloids. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 194–200. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.020>
- Rahman, R., Uddin, M. and Ahmed, S. (2023). Chitosan nanoparticle-encapsulated galanthamine enhances larvicidal efficacy. *Journal of Vector Ecology*, 48(1), 33–41.
- Rana, P., Ghosh, S., & Mandal, R. (2023). Galanthamine analogues as nano-inhibitors of acetylcholinesterase in vector mosquitoes. *Journal of Pest Science*, 96(2), 325–336.
- Rodrigues, M. J., et al. (2020a). Screening for bioinsecticidal activity in Amaryllidaceae bulb extracts. *Biochemical Systematics and Ecology*, 91, 104068. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104068>
- Rodríguez, C. M., Blanco, M. A. and Rojas, M. R. (2020b). Montanine alkaloids: Rare but potent insect deterrents. *Natural Product Research*, 34(7), 892–899.
- Rodrigues, C., Diniz, T. C. and Santos, R. (2023). Galanthamine derivatives and AChE inhibition in vector insects. *Bioorganic Chemistry*, 132, 106425.

- Silva, R. and Duarte, M. (2024). Biotechnological production of Amaryllidaceae alkaloids: Environmental benefits and constraints. *Biotechnology Advances*, 64, 108243.
- Singh, A., Kumar, R. and Roy, S. (2017). Evaluation of lycorine toxicity against *Spodoptera littoralis*. *Pesticide Research Journal*, 29(1), 88–94.
- Singh, V. and Mathur, R. (2021). Nano-based delivery of botanical insecticides: A modern pest control strategy. *Journal of Nanobiotechnology*, 19(1), 148.
- Snijman, D. A. and Meerow, A. W. (2010). Systematics of Amaryllidaceae: Emerging patterns and major lineages. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 162(3), 391–415. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01042.x>
- Soares, M. M., Neto, R. T., & Silva, C. (2023). Crinine alkaloids: Biological activity and chemical diversity. *Phytomedicine Plus*, 3(1), 100213.
- Soto-Vásquez, M. R., Rodríguez-Muñoz, C. A., & Tallini, L. R. (2022). Alkaloid composition and biological activities of the Amaryllidaceae species *Ismene amancaes* (Ker Gawl.) Herb. *Plants*, 11(15), 1906. <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/15/1906>
- Tan, J., Wang, Y., & Li, S. (2022). CRISPR-based enhancement of galanthamine biosynthesis in *Narcissus*: A biotechnological advancement. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 15(1), 132.
- Tariq, H., Mehmood, M., & Shafqat, F. (2024). Anti-mitotic activity of haemanthamine in agricultural pest larvae. *Toxicology Reports*, 11, 205–213.
- Wickens, G. E. (2001). *Economic Botany: Principles and Practices*. Springer Science & Business Media.
- Yan, H., Xie, N., Zhong, C., Su, A., Hui, X., & Zhang, X. (2018). Aphicidal activities of Amaryllidaceae alkaloids from bulbs of *Lycoris radiata* against *Aphis citricola*. *Industrial Crops and Products*, 122, 648–654. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.016>
- Zhang, J., Chen, Y., & Li, X. (2023). Feeding inhibition in larvae exposed to narciclasine-type alkaloids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 181(1), 89–98.

- Zhang, M., Chen, X., & Deng, Z. (2023). Advances in Amaryllidaceae alkaloids: Future prospects in insect pest management. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1139948.
- Zhao, Y., Li, L., & Wang, M. (2023). Environmental dissipation and safety assessment of natural alkaloid-based biopesticides. *Science of The Total Environment*, 883, 163544.
- Zhou, Y., Zhang, R., & Liu, J. (2017). Geographical distribution and ecological niches of *Lycoris species* in East Asia. *Journal of Plant Ecology*, 10(1), 162–174. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw083>
- Zhou, Y., Liu, Y. and Wang, J. (2022). Diversity and evolution of Amaryllidaceae alkaloids. *Plant Science*, 317, 111191. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111191>
- Zhou, H., Wang, L. and Chen, Y. (2023). Ribosomal protein suppression by lycorine in armyworm larvae. *Journal of Insect Physiology*, 150, 104495.
- Zhu, J., Wang, Y. and Zhao, L. (2022). Liposomal encapsulation of galanthamine: Improving permeability and persistence. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 210, 112227.

CHAPTER 15

BEYOND THE GREEN CARPET: USES, VISUAL VALUE AND CULTURAL CODES OF GRASS PLANTS

Assist. Prof. Dr. A. Özge ŞİMŞEK SOYSAL¹,
Assist. Prof. Dr. Gülşah BİLGE ÖZTÜRK²,
Assoc.. Prof. Dr. M. Akif AÇIKGÖZ³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17608924>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Ordu, Türkiye. ayseozgesimsek@odu.edu.tr , Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-2494-0844>;

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü Ordu, Türkiye. glsbilge@gmail.com; Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-8317-2961>;

³ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Ordu, Türkiye. makifacikgoz@gmail.com ,Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-2436-5605>

1. Introduction

Green areas represent a significant component of plant-based design in the planning of outdoor spaces and contribute significantly to a variety of environmental functions. These include maintaining soil renewal, stabilizing sandy soils, preserving the natural environment and improving landscape aesthetics. In addition, they provide a sense of tranquility and relaxation through their visual appeal and psychological impact, thus fulfilling today's need for recreational areas (Avcıoğlu & Geren, 2012). Compared to other plant species, turfgrass surfaces provide significant ecosystem services in urban landscapes. It is evident that lawns have a significant aesthetic value and at the same time create a visually calming natural effect. This makes them of great benefit for the greening of various infrastructures such as highways, railways, waterways and certain areas of airports. In addition, they play a crucial role in controlling erosion on sloped terrains, while their aesthetic and psychological benefits are increasingly emphasized (Avcıoğlu & Soya, 1996; Monteiro, 2017). A recent study has highlighted the positive effects of turf on human health. The study evaluated factors such as stress reduction, increased opportunities for physical activity and improved interaction between humans and nature as part of the socio-psychological contributions of turfgrass to urban life (Braun, 2024).

Turfgrass species are the most popular ground cover plants. The term "turfgrass" refers to herbaceous plants that grow close to the soil surface, are densely covered with soil and form a uniform layer of vegetation. Turfgrass or lawn grass species are generally divided into two different groups: Grasses (Poaceae) and Legumes (Fabaceae). In the establishment of lawns, species from the Poaceae family are predominantly used, although legumes or, under certain conditions, species from other families are also cultivated (Açıkgöz, 1994; Kim, 2022; Taşkın & Bilgili, 2022; Yavuz & Kır, 2023). The Poaceae family, which comprises about 620 varieties and 10,000 species, is one of the largest families in the plant world. The Fabaceae family, which comprises around 500 variants and 11,000 species, also exhibits considerable taxonomic diversity. Despite the existing species diversity, the use of species in turfgrass applications remains limited (Ross et al., 1991; Açıkgöz, 1994; Alagöz & Türk, 2010; Thompson & Kao-Kniffin, 2017; Kim, 2022). Legumes and grasses differ in significant morphological differences. Although some legume species

have been used in turfgrass systems, their role in modern applications has decreased significantly (Salman & Avcioğlu, 2004). Grasses generally have a fibrous root system, while legumes are characteristic of turf species with taproots (Hetrick et al., 1991; Açıkgöz, 1994).

2. Morphological and Ecological Characteristics of Turfgrasses

Turf grass species such as *Lolium perenne*, *Agrostis tenuis* and *Poa trivialis* are known to renew their root systems annually (Jones et al., 2022). In contrast, species such as *Poa pratensis* and *Dactylis glomerata* have been observed to maintain their root vitality over a period of more than one year (Açıkgöz, 1994; Ayan & Acar, 2009; Hatipoğlu & Atış, 2009; Avcioğlu & Geren, 2012; Taşkın & Bilgili, 2017). Drought-tolerant species are characterized by the development of a deep root system. For example, the root system of mature alfalfa (*Medicago sativa*) was observed to extend up to 10 meters deep into the soil. In contrast, *Trifolium* species have been observed to develop their roots closer to the soil surface under conditions of irrigation limitation (Acar & Ayan, 2022; Alagöz & Türk, 2010). Turfgrasses are classified as herbaceous plants. The speed and density of tillering are among the most important factors that determine the quality of the turf. In cool-season turf species, the development of horizontal spreading organs such as rhizomes and stolons reaches its peak in spring and fall. Despite their initially slow growth, a phase of active spreading can be observed in these species, which is associated with increased resistance to environmental stress and mechanical wear. In addition, they have shown that they can recover quickly from damaged areas during periods of dormancy (Açıkgöz, 1994; Avcioğlu, 1997; Karaca & Kuşvuran, 2012). Despite the effects of environmental factors on tillering rate, certain species exhibit an intensive growing season that contributes to the formation of a dense, uniform and high-quality turf cover (Salman & Avcioğlu, 2004).

In lawns that are mowed frequently, the plants grow predominantly vegetatively; the stems are rarely shed and the plant structure remains compact and protected. This results in a sustainable turf cover maintained by a tolerant cycle in which new tillers are formed rather than stems spreading rapidly (Taşkın & Bilgili, 2020). In legumes, the erect stem type is characterized by the

vertical growth of shoots from the crown; alfalfa (*Medicago sativa*) serves as a typical example. The development of horizontal underground shoots by rhizomatous stems facilitates lateral spread, a process shown by the example of *Coronilla varia*. Conversely, rhizomatous stems support dispersal by horizontal aboveground shoots, as in *Trifolium repens* (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997; Karaca & Kuşvuran, 2012).

Both rhizome stems and stolons have been shown to increase a plant's resistance to harsh environmental conditions, especially on sloping surfaces such as highway cuts and barriers. It has been shown that these species can effectively contain erosion through their resilient shoot and root systems that anchor themselves firmly in the substrate. It has been shown that strong shoot development on sloping terrain improves soil adhesion and forms a protective plant cover (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997; Taşkın & Bilgili, 2020). The herbaceous grass species can be divided into two main groups based on their optimal temperature requirements. It has been shown that cool-season species reach their optimum growth and development at temperatures between 15–21°C. The seeds of these species are able to germinate even at temperatures just above 0°C, and they originate mainly from the cooler regions of Europe and Asia. Due to their ability to withstand cold climate conditions, these turfgrass species are used extensively and successfully in regions with continental climates. The following gramineous turfgrass species are among the most preferred for establishing lawns: *Lolium perenne* L and *Poa pratensis* L are both grass species (Alagöz & Türk, 2010). The following gramineous turfgrass species are among the most preferred species for planting lawns. The following species include: *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., species of *Festuca* species, *Agrostis* species, *Phleum* species, *Cynodon* (Bermudagrass) and *Zoysia*. Among the legumes, *Trifolium* spp. and *Medicago sativa* L. are noteworthy (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997).

The growth process, morphological characteristics and overall quality of turfgrass species are largely determined by environmental conditions (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997). It is evident that light, temperature and precipitation are the most important environmental factors that can exert an influence on the development of turfgrasses. It is known that various climatic parameters, including annual precipitation amount, distribution and form, time of first and last frost, average temperature and humidity, play a crucial role in determining

suitable species and cultivars, sowing time, fertilizer type and dose, and mixing ratios (Salman & Avcioğlu, 2004). It is evident that in addition to the photoperiod the duration of sunlight exposure is also recognized as an important factor for plant growth and development. Turfgrass species typically show optimal growth under full sunlight, while growth rates are known to decrease under shaded conditions, often leading to an increased risk of death in a short period of time. However, there are interspecific differences in shade tolerance (Taşkın & Bilgili, 2020). Temperature is widely recognized as one of the most important climatic factors affecting the growth and development of living organisms. For turfgrass species, optimal germination temperatures are generally between 15–20°C for cool-summer species and 25–30°C for warm-summer species (Alagöz & Türk, 2010). The water consumption of turfgrass varies according to geographical location, prevailing climatic conditions and species. In general, turfgrass species are reported to consume between 2.5 and 7.5 millimeters of water per day (Dernoeden & Carroll, 1992; Açıkgöz, 1994; Dotray & McKenney, 1996; Avcioğlu, 1997; Croce et al., 2003).

Numerous research studies have shown that there are significant differences in the resilience of turfgrass species to various forms of mechanical stress, including trampling and human pressure. These differences are thought to depend on the species-specific characteristics, the intended use of the turf, the prevailing environmental conditions and the intensity of mechanical pressure (Salman & Avcioğlu, 2004). Structural compounds in plant tissue such as lignin and morphological characteristics such as leaf and stem thickness have been shown to be directly related to the plant's ability to withstand such mechanical impacts (Gibson, 2012; Kitajama et al., 2012; Alonso-Forn et al., 2023). In green spaces established in continental or transitional climates, turfgrass mixtures consisting of multiple species have reportedly achieved more successful results compared to monocultures (Smith et al., 2022). These mixtures have been shown to improve the aesthetic quality of lawns while increasing resistance to pests and diseases. They also play a crucial role in increasing tolerance to environmental stress, thus contributing to the development of sustainable green spaces (Salman & Avcioğlu, 2004; Taşkın & Bilgili, 2020). The selection of species included in turfgrass mixtures must be tailored to the ecological conditions, the intended functional use and the available maintenance resources. These factors are among the most important

determinants of success. In addition, the competitive balance among species within the mixture has a direct influence on its long-term performance and stability (Simmons et al., 2011; Thompson & Kao-Kniffin, 2017; Hahn et al., 2021; Breuillin-Sessoms et al., 2025).

Turf grasses are one of the most common and yet sometimes neglected groups of plants, which gives them a special place in landscape architecture. According to Viola, Olivadese and Minelli (2025), the continuous areas of color, uniform green texture, and large-scale spread of turfgrass provide a neutral yet effective visual foundation that allows other landscape elements such as trees, shrubs, flowers, or buildings to stand out as focal points. One could say that turf serves as a canvas on which other spatial elements can be created using design principles (Mellor, 2001). Turf is not only a layer of vegetation, but also a cultural and symbolic aspect of the landscape. The characteristics of texture, color, density and seasonality are part of its visual quality (Pooya et al., 2013; De, 2017) which goes far beyond a uniform green surface, in other words a green carpet. It acts as a mediator between social activity, cultural pursuit and aesthetic pleasure. Lawns embody larger cultural values such as order, identity and modernity (Brooks and Francis, 2019), while at the same time conveying personal sensations of beauty and tranquility (Watts, 2017). Lawns in modern landscapes must be interpreted as a cultural code that is not only aesthetically pleasing, but also expresses the status (Weigert, 1994; Pam, 2006), sustainability and relationship to nature of civilizations (Winkler et al., 2024). Tissue culture techniques enable the rapid propagation of healthy, uniform, and disease-free turfgrass plants, enhancing the establishment of homogenous swards and improving both aesthetic and ecological performance (Aloi, 2025). Turfgrasses are usually breed vegetatively and require uniform, disease-free planting materials, tissue culture techniques provide a valuable alternative for rapid multiplication and genetic improvement. As well as conventional breeding methods, tissue culture-based techniques have been shown to generate highly regenerable callus lines in species such as perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*), thus facilitating efficient plantlet regeneration. (Cao et al. 2006).

2.1 The Visual Value of Turfgrasses

Even though turf grasses are mostly used as green carpets in landscape architecture, it should not be neglected that they are the essential components that provide aesthetic consistency in landscape areas. Their uniform green texture, continuous color field, and expansive spread create a neutral yet powerful visual foundation for other landscape elements such as trees, shrubs, flower beds, or buildings to appear as focal points (Beard and Green, 1994; Ignatieva et al., 2024). Turf serves as a canvas to articulate contrasts and hierarchies in the spatial composition (Viola et al., 2025). The visual appeal of turf grasses has long been a major factor in their prevalence in landscape design, as they create a continuous, unifying surface that frames architectural forms, directs movement, and evokes feelings of play, tranquility, or prestige (Olivadese et al., 2025). In addition to color, texture, density, blade width, growth habit and seasonal consistency contribute to their appeal and form the visual grammar of parks, lawns and sports fields (Wolski et al., 2021).

The texture and fineness of the foliage is one of the visual characteristics that attracts attention (Wei et al., 2022). Species with a fine texture are often used in formal settings where delicacy and sophistication are required (De, 2017). Their fine blades provide a visually immaculate, smooth, velvety surface, especially when mown very short (Smith and Fellowes, 2013), which is a desirable and sought-after feature on golf courses, bowling greens and formal lawns. *Agrostis stolonifera* (creeping bentgrass) (Warneke and Casler, 2003), *Agrostis capillaris* (colonial bentgrass) (Ruemmele, 2023) and *Festuca rubra* (red fescue) (Braun et al., 2020) are some of the varieties used in these areas. Rougher surfaces, on the other hand, are produced by coarser species such as *Paspalum vaginatum* (coastal paspal), *Cynodon dactylon* (Bermuda grass), *Zoysia japonica* (Japanese lawn grass) and *Festuca arundinacea* (tall fescue) (Li et al., 2024). Despite their lack of refinement, these species are hardier and more durable, which is required for roadsides, coastal areas, schoolyards, playgrounds and public parks where ecological stresses demand robustness rather than refinement (Zhu et al., 2024). These lawns are more about accessibility and group recreation than precision. They serve as a collective green space in the urban landscape and are a symbol of democracy.

The colors of lawn grasses range from the deep blues of *Poa pratensis* (Kentucky bluegrass) to the bright emerald green of *Lolium perenne* (perennial

ryegrass). The seasonal change is also important: *Cynodon dactylon* changes from rich summer green to a straw-like hue - this feature characterizes the seasonal identity of many sports fields. This visual rhythm is more acceptable in the southern suburbs of the USA, but less so in the northern suburbs, where winter brown is interpreted as a sign of decay (Leland, 2012). Because modern civilizations prefer a constant green as a sign of life, breeding efforts have developed evergreen hybrids that maintain their color in milder seasons (e.g., *Cynodon dactylon* $\times$ *C. transvaalensis* (hybrid Bermuda grass) and *Paspalum vaginatum* cultivars) (Viola et al., 2025).

Another essential component for the aesthetics of lawns is how dense and even these lawns are. Rhizomatous or stoloniferous turfgrass can repair themselves and maintain a high density, creating a uniform surface (Kaufmann, 2020). These surfaces are usually interpreted as control and order as they provide a sense of visual wholeness. *Cynodon dactylon* and *Poa pratensis* are the preferred species to express order, especially in suburban lawns (De, 2017). On the other hand, patchy and heterogeneous areas that occur during establishment or growth are often seen as blemishes (e.g. *Zoysia japonica*) (Loch et al., 2017). Furthermore, they can even be interpreted as neglect, which shows how strongly aesthetics correlate with social norms of duty and care (Robbins, 2012). In certain cultures that value seasonal textures, this type of imperfection is appreciated. Depending on the angle and density of the blades of grass, the surfaces absorb and reflect light differently (Watschke and Schmidt, 1992). The movement with the breeze also creates unique effects and a dynamic look. One reason for the famous beauty of a lush lawn in landscaping is that it often glistens in the sunlight. While the deeper, matte tones of *Festuca rubra* create a muted visual field, a dense lawn of *Lolium perenne* can create shiny areas in the morning after a thaw or after irrigation or a rainfall (Sharma, 2021). In addition to aesthetics, this play of light also influences the perception of microclimate, with grassy areas creating a softer, cooler atmosphere than concrete surfaces (e.g. less glare compared to hard sidewalks) (Fung and Jim, 2020). So one could say that the aesthetic aspects of turf grasses are more than just horticultural features. They are design elements that influence the atmosphere, cultural associations and the comprehensibility of the landscape.

Since lawns are usually laid out in formal shapes like parterres, human interventions such as mowing in a checkerboard pattern or creating stripes add

another visual layer that goes beyond the characteristics of the species (Aloi, 2025; Teyssot, 1999) . Lawn parterres of *Festuca rubra* or *Agrostis capillaris*, for example, have long been used as a visual frame for flower beds in formal gardens (Voşgan et al., 2015). The stripes are interpreted as a type of landscape branding that associates turf with professional identity and institutional pride, especially on campuses or stadiums (usually with Bermuda hybrids or *Lolium perenne*) (Aloi, 2025; Casler, 2006; Teyssot, 1999).

3. Cultural Codes and Social Effects of Turfgrasses

3.1. Cultural Codes

The aesthetic qualities of the lawn serve as a medium and the cultural codes engraved on it as a message. Lawns are cultural codes that convey concepts of authority, identity, belonging and order. Table 1 shows the visual characteristics, symbolic meanings and social implications of some types of lawns to demonstrate how they simultaneously contain aesthetic, cultural and social elements.

Table 1. Visual Qualities, Symbolic Meanings, and Social Effects of Some Turfgrass species

Species	Visual Qualities	Symbolic Meanings	Social Effects
<i>Poa pratensis</i> (Kentucky bluegrass)	Fine-medium texture; bluish-green; dense rhizomatous growth, uniform	Suburban respectability; order, conformity	Signals care/responsibility; exclusion through neglect (Residential front lawns as social interfaces, public parks, sports fields)
<i>Lolium perenne</i> (Perennial ryegrass)	Bright green; rapid establishment; fine-medium texture, seasonal color	Renewal, vigor; neighborhood pride	Encourages competition; accessible lawns (Often used in mixtures for a lush lawn, overseeding in sports fields, decorative lawns, institutional landscapes)
<i>Festuca arundinacea</i> (Tall fescue)	Coarse-medium texture; dark green; durable and drought-tolerant	Resilience; urban public utility	Supports inclusive recreation; democratic green commons (Urban parks, roadside plantings, Mediterranean

			landscapes, water-efficient lawn option)
<i>Festuca rubra</i> (Red fescue)	Extremely fine texture; soft green; shade-tolerant	Tradition, subtle refinement	Evokes calm; used in shaded civic/contemplative spaces
<i>Agrostis stolonifera</i> (Creeping bentgrass)	Extremely fine texture; bright green; low-mowing tolerant	Elite leisure; golf culture; aristocratic prestige	Restrictive/exclusive use; elite sporting grounds (Golf course greens, bowling greens, croquet, ornamental estates)
<i>Agrostis capillaris</i> (Colonial bentgrass)	Fine texture; lighter green; formal garden use	Heritage of European garden culture	Ornamental framing in elite estates
<i>Cynodon dactylon</i> (Bermudagrass)	Medium-coarse texture; light green; winter dormancy; high wear tolerance	Associated with sports, southern resilience; seasonal authenticity	Encourages play; cultural acceptance of dormancy (Associated with sports and mass leisure, particularly in warm climates Football pitches, school yards, athletic fields, public parks)
Hybrid <i>Cynodon</i> (Bermuda hybrids)	Uniform, dense; improved color retention	Modern improvement; technological mastery	Professional sports prestige; surfaces of national pride
<i>Zoysia japonica</i> (Japanese lawngrass)	Medium-coarse texture; slow to establish; dense growth: heat and drought tolerant	Patience, restraint; East Asian seasonal harmony	Supports contemplative gardens; valued in traditional aesthetics (Institutional campuses, home lawns, adopted as an alternative in East Asia and increasingly in global sustainable design)
<i>Paspalum vaginatum</i> (Seashore paspalum)	Medium texture; glossy green; salt-tolerant	Adaptability, resilience and sustainability	Enables civic use in coastal parks, golf, and public leisure
<i>Bouteloua dactyloides</i> (Buffalograss)	Fine-medium texture; gray-green; low water demand	Ecological stewardship; prairie identity	Low-input lawns; promotes sustainability and local heritage

Turf has a cultural meaning that has evolved over time and varies by geographic region. Historically, only elites could afford to turn their fertile land into unproductive lawns that required a lot of labor to scythe and graze (Olivadese et al., 2025). The well-manicured lawn in 18th century Britain served to demonstrate wealth and privilege (Pam, 2006). The short, finely textured areas that characterized aristocratic landscapes were achieved through the cultivation of species such as *Agrostis stolonifera* (creeping bentgrass) (Aloi, 2025). These lawns represented leisure activities and the control of nature by the social class.

With increasing suburbanization in the 20th century, lawns became a common cultural symbol of the North American middle class (Teyssot, 1999; Sies, 2001). As a symbol of propriety, conformity and environmental responsibility, lawns of *Poa pratensis* and *Lolium perenne* became the standard in suburban neighborhoods (Turgeon, 2009). A neglected lawn was often seen as a moral failure or a lack of civic pride (Robbins, 2012). In addition to upholding cultural norms, the suburban lawn also served as a social interface that conveyed notions of neighborliness and discipline. Lawns shaped community identity and the landscape by conveying social inclusion and exclusion (Lebowitz and Trudeau, 2017).

The introduction of turf is linked to modernization and westernization processes in Turkey and other Mediterranean countries (Viola et al., 2025). In these cultures, traditional gardens emphasized shade trees, fruiting plants and soil surfaces that promoted social and productive use. Drought-tolerant plants such as *Paspalum vaginatum* and *Cynodon dactylon* represent adaptability and hardiness in Mediterranean environments and fit well with local traditional stories of endurance in hostile environments (Gherbin et al., 2007). *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* have been introduced into public parks, housing estates and university campuses (Elmore et al., 1997). This marks a cultural shift where the lawn is seen as a symbol of both modern aesthetics and an evolution towards a public space focused on leisure rather than a less productive space. In contrast to the traditions of Ottoman and Anatolian garden culture, which focus on productivity and shade (Tanrısever, 2025), large lawns in Emirgan Park in Istanbul now play a role as a visual and cultural symbol of modern metropolitan identity.

Zoysia japonica is culturally associated with peace, patience and moderation in East Asia (Leland, 2012). Its slow growth is generally not appreciated in the western world, where faster greening is preferred. But this slow growth fits in with the East Asian philosophy of seasonal time and measured growth. *Bouteloua dactyloides* (buffalo grass), common in the US Midwest, is a native, warm-season grass that is considered a low-input substitute for a lawn in modern, sustainable architecture (Rainey, 2024). Areas planted with this grass demonstrate a sense of ecological stewardship and a culturally strengthened, enhanced local identity and legacy.

Turf also serves as a platform for performance on a global scale, especially for elite sports fields. The *Lolium* hybrid turf at Wimbledon (Mathew et al., 2021) or the *Cynodon* hybrids at FIFA World Cup stadiums (Ozkan, 2022) are not only playable, but also symbolize pride in country, international standards of excellence and an eye-catching demonstration of horticultural mastery. Turf in these situations is not just a surface, but also a cultural symbol associated with spectacle, ritual and international identity.

3.2. Social Effects of Turfgrasses

They also have more than just a symbolic meaning; they actively influence social interactions and community life. Public lawns provide accessible, open spaces that invite social contact, play and unstructured leisure activities (Ignatieva et al., 2020). Lawns serve as meeting places in parks, on campuses and in communal green spaces and can be used in a variety of ways: A variety of users can rest, play sports, organize picnics or attend festivals. In contrast to flowerbeds, hedges or hardscapes, the openness of a lawn encourages spontaneous sociability, which promotes integration and contributes to a sense of community.

The Sheep Meadow in Central Park in New York City, NY, is a landmark that serves as a gathering place for thousands of people as well as a visual open space (Aloi, 2025). Another example is Turkish cities, where recently created city parks feature large lawns used for family gatherings and weekend picnics. This shows the transition from private courtyards to communal public leisure spaces, especially after the COVID-19 pandemic (Güngör and Doğan, 2021).

Lawns are also a symbol of contradiction. Although they can be a symbol of gathering and socializing, many institutional or decorative lawns are

segregated and used solely for aesthetic purposes due to their high maintenance requirements (Viola et al., 2025). In upscale settings such as private estates or golf courses, lawns become exclusive areas to which only certain social groups have access. In this way, the lawn serves as both a symbol of privilege and a democratic common, while promoting social unity and division.

Sports fields are a striking example of this dichotomy. Although the well-manicured fields of international soccer competitions or small local playgrounds are common cultural symbols, their maintenance practices challenge moral concerns about resource allocation. Because turf grasses require a lot of maintenance, reseeding, fertilization, pest control and high-water requirements, they are at odds with an ideal environment and ecological and sustainable design practices (Olivadese et al., 2025). The use of cool-season grasses such as *Poa pratensis* or *Lolium perenne* can exacerbate inequality in water-scarce areas such as the Middle East or California (Orta et al., 2023). This raises the question of ethics and environmental justice. It would not be fair to establish and maintain ornamental lawns in wealthier communities while other communities face restrictions or loss of green space, especially given the current extreme weather conditions and the drying up of water sources, dams and lakes (Ignatieva et al., 2020).

To make a long story short, turf stands at an intersection point of society, culture and aesthetics. It serves as a platform for play, social interaction and collective identity, but also as a medium for the reproduction of access, exclusion and hierarchy. Consequently, its social implications support its function as a powerful cultural artifact that is not only a design feature, but also stands for social stratification and community solidarity.

Conclusion

Focusing on their visual qualities and cultural codes, lawn grasses can be seen as more than just green carpets. Rather, they are small cultural landscapes that serve as social regulators, cultural emblems and aesthetic media. They create systems of inclusion and exclusion while embodying the pursuit of order, cleanliness, status, leisure and ecological resilience. Lawn grasses must be understood from a cultural-critical perspective that situates these ordinary surfaces within larger social and ecological contexts, in addition to a horticultural perspective. The survival of turf landscapes may depend on

balancing these contradictions: preserving the symbolism of the green carpet while accepting new cultural norms of social inclusion, sustainability and resilience.

REFERENCES

- Aloi, G. (2025). *Lawn*. Bloomsbury Publishing USA.
- Alonso-Forn, D., Sancho-Knapik, D., Fariñas, M. D., Nadal, M., Martín-Sánchez, R., Ferrio, J. P., ... & Gil-Pelegrián, E. (2023). Disentangling leaf structural and material properties in relationship to their anatomical and chemical compositional traits in oaks (*Quercus* L.). *Annals of Botany*, 131(5), 789–800.
- Avcıoğlu, R., & Geren, H. (2012). Bazı sıcak iklim çim buğdaygillerinin Akdeniz iklimindeki performansları üzerinde araştırmalar. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 1–17.
- Beard, J. B., & Green, R. L. (1994). The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of environmental quality*, 23(3), 452-460.
- Braun, R. C., Patton, A. J., Watkins, E., Koch, P. L., Anderson, N. P., Bonos, S. A., & Brilman, L. A. (2020). Fine fescues: A review of the species, their improvement, production, establishment, and management. *Crop Science*, 60(3), 1142-1187.
- Braun, R. C., Mandal, P., Nwachukwu, E., & Stanton, A. (2024). The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans: Thirty years later. *Crop Science*, 64(6), 2909–2944.
- Breuillin-Sessoms, F., Petrella, D., Deters, G., Turbeville, J., & Watkins, E. (2025). Response of cool-season turfgrass monocultures and two-way mixtures to sequential acute drought periods. *Crop Science*, 65(1), e21385.
- Brooks, A., & Francis, R. A. (2019). Artificial lawn people. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 2(3), 548-564.
- Cao, M. X., Huang, J. Q., He, Y. L., Liu, S. J., Wang, C. L., Jiang, W. Z., & Wei, Z. M. (2006). Transformation of recalcitrant turfgrass cultivars through improvement of tissue culture and selection regime. *Plant cell, tissue and organ culture*, 85(3), 307-316.
- Casler, M. D. (2006). Perennial grasses for turf, sport and amenity uses: evolution of form, function and fitness for human benefit. *The Journal of Agricultural Science*, 144(3), 189-203.
- De, L. (2017). Lawn grasses-a review. *International Journal of Horticulture*, 7.

- Elmore, C. L., Gibeault, V. A., & Cudney, D. W. (1997). Invasion resistance of tall fescue (*Festuca arundinaceae*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) to kikuyugrass (*Pennisetum clandestinum*). *Weed technology*, 11(1), 24-29.
- Fung, C. K., & Jim, C. Y. (2020). Influence of blue infrastructure on lawn thermal microclimate in a subtropical green space. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101858.
- Gherbin, P., De Franchi, A. S., Monteleone, M., & Rivelli, A. R. (2007). Adaptability and productivity of some warm-season pasture species in a Mediterranean environment. *Grass and Forage Science*, 62(1), 78-86.
- Gibson, L. J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(76), 2749–2766.
- Güngör, S., & Doğan, E. N. (2021). An analysis of the change in the attitudes and behaviors of users before and after the pandemic: Case study; Ankara Çubuk-1 Dam. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9, 2466-2473.
- Ignatieva, M., Haase, D., Dushkova, D., & Haase, A. (2020). Lawns in cities: from a globalised urban green space phenomenon to sustainable nature-based solutions. *Land*, 9(3), 73.
- Hahn, D., Morales, A., Velasco-Cruz, C., & Leinauer, B. (2021). Assessing competitiveness of fine fescues (*Festuca* L. spp.) and tall fescue (*Schedonorus arundinaceus* (Schreb.) Dumort) established with white clover (*Trifolium repens* L.), daisy (*Bellis perennis* L.), and yarrow (*Achillea millefolium* L.). *Agronomy*, 11(11), 2226.
- Hetrick, B. A. D., Wilson, G. W. T., & Leslie, J. F. (1991). Root architecture of warm- and cool-season grasses: Relationship to mycorrhizal dependence. *Canadian Journal of Botany*, 69(1), 112–118.
- Karaca, E., & Kuşvuran, A. (2012). Çankırı kenti peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bazı bitkilerin kurakçıl peyzaj açısından değerlendirilmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 19-24.
- Kaufmann, J. E. (2020). Principles of turfgrass growth and development. In *Handbook of integrated pest management for turf and ornamentals* (pp. 91-97). CRC Press.
- Kim, K. N. (2022). Comparison of turfgrass density, root growth, thatch accumulation, and infiltration rate in warm-season Korean lawngrass

- (*Zoysia japonica* Steud.) and major cool-season grasses in the anysoil system. *Horticultural Science and Technology*, 40(2), 179–191.
- Kitajima, K., Llorens, A. M., Stefanescu, C., Timchenko, M. V., Lucas, P. W., & Wright, S. J. (2012). How cellulose-based leaf toughness and lamina density contribute to long leaf lifespans of shade-tolerant species. *New Phytologist*, 195(3), 640–652.
- Lebowitz, A., & Trudeau, D. (2017). Digging in: lawn dissidents, performing sustainability, and landscapes of privilege. *Social & Cultural Geography*, 18(5), 706–731.
- Leland, J. (2012). *Aliens in the backyard: Plant and animal imports into America*. Univ of South Carolina Press.
- Li, D., Duan, W., Guo, H., Zong, J., Chen, J., & Wang, J. (2024). High-nitrogen organic fertilizer promotes the growth of bermudagrass (*Cynodon dactylon*), zoysiagrass (*Zoysia japonica*) and paspalum grass (*Paspalum vaginatum*) by enhancing nitrogen use efficiency associated with *Bacillus*-stimulated bacterial community. *Scientia Horticulturae*, 329, 113027.
- Loch, D. S., Ebina, M., Choi, J. S., & Han, L. (2017). Ecological Implications of *Zoysia* species, distribution, and adaptation for management and use of zoysiagrasses. *International Turfgrass Society Research Journal*, 13(1), 11–25.
- Mathew, S., Seetharamu, G. K., Dileepkumar, M., & Satish, D. (2021). Grasses for sports grounds and its influence on playing quality: A review. *seeds (Puhalla et al., 1999; John, 2016)*, 36, 19.
- Mellor, D. R. (2001). *Picture perfect: Mowing techniques for lawns, landscapes, and sports*. John Wiley & Sons.
- Monteiro, J. A. (2017). Ecosystem services from turfgrass landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*, 26, 151–157.
- Olivadese, M., Viola, P., Romano, E., Selli, M., & Minelli, A. (2025). The Evolution and Sustainable Management of Turfgrass: Historical Insights and Future Challenges.
- Orta, A. H., Todorovic, M., & Ahi, Y. (2023). Cool-and warm-season turfgrass irrigation with subsurface drip and sprinkler methods using different water management strategies and tools. *Water*, 15(2), 272.

- Ozkan, Ş. S. (2022). Quality concept for football turf. *New Trends in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences; Ersoy N.: Konak/Izmir, Turkey*, 321-337.
- Pam, R. (2006). Turf Wars: The front lawn and the American War on Nature. *Herodotus*.
- Paudel, S., & States, S. L. (2023). Urban green spaces and sustainability: Exploring the ecosystem services and disservices of grassy lawns versus floral meadows. *Urban Forestry & Urban Greening*, 84, 127932.
- Pooya, E. S., Tehranifar, A., Shoor, M., Selahvarzi, Y., & Ansari, H. (2013). The use of native turf mixtures to approach sustainable lawn in urban landscapes. *Urban forestry & urban greening*, 12(4), 532-536.
- Rainey, S. (2024). *Seed Digestion and Cover Crop Effects on Native Grass Establishment* (Doctoral dissertation).
- Robbins, P. (2012). *Lawn people: How grasses, weeds, and chemicals make us who we are*. Temple university press.
- Ross, S. J., Ennos, A. R., & Fitter, A. H. (1991). Turf strength and root characteristics of ten turfgrass cultivars. *Annals of Applied Biology*, 118(2), 433-443.
- Ruemmele, B. A. (2003). *Agrostis capillaris (Agrostis tenuis Sibth.) colonial bentgrass. Turfgrass Biology, Genetics, and Breeding. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ*, 187-200.
- Sharma, Y. (2021). *Studies of Lawn Grass Mixtures on Turf Establishment Under Mid Hill Conditions of HP* (Doctoral Dissertation, Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture and Forestry).
- Sies, M. C. (2001). North American suburbs, 1880-1950: cultural and social reconsiderations. *Journal of Urban History*, 27(3), 313-346.
- Simmons, M., Bertelsen, M., Windhager, S., & Zafian, H. (2011). The performance of native and non-native turfgrass monocultures and native turfgrass polycultures: An ecological approach to sustainable lawns. *Ecological Engineering*, 37(8), 1095-1103.
- Smith, L. S., & Fellowes, M. D. (2013). Towards a lawn without grass: the journey of the imperfect lawn and its analogues. *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes*, 33(3), 157-169.
- Tanrısever, C. (2025). Mythological origins and mapping of plants in Turkish garden art. *Tourism and Recreation*, 7(1), 208-220.

- Thompson, G. L., & Kao-Kniffin, J. (2017). Applying biodiversity and ecosystem function theory to turfgrass management. *Crop Science*, 57(S1), S-238.
- Turgeon, A. J. (2009). Urban, suburban, and rural amenities of grass. *Grassland Quietness and Strength for a New American Agriculture*, 137-154.
- Viola, P., Olivadese, M., & Minelli, A. (2025). Turfgrass Through Time: Historical Uses, Cultural Values, and Sustainability Transitions. *Agronomy*, 15(5), 1095.
- Voşgan, Z., Vidican, R., Mihalescu, L., Marian, M., Jelea, S., Dumuţa, A., ... & Sfechisedilla, S. (2015). Influence of agronomic practices on grassland of *Agrostis capillaris* L. and *Festuca rubra* L. from "dealul crucii" meadow.
- Warnke, S., & Casler, M. D. (2003). Creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.). *Turfgrass biology, genetics, and breeding*, 175-185.
- Watschke, T. L., & Schmidt, R. E. (1992). Ecological aspects of turf communities. *Turfgrass*, 32, 129-174.
- Watts, G. (2017). The effects of "greening" urban areas on the perceptions of tranquillity. *Urban Forestry & Urban Greening*, 26, 11-17.
- Wei, H., Yang, W., Wang, Y., Ding, J., Ge, L., Richardson, M., ... & Zhang, J. (2022). Correlations among soil, leaf morphology, and physiological factors with wear tolerance of four warm-season turfgrass species. *HortScience*, 57(4), 571-580.
- Weigert, A. J. (1994). Lawns of weeds: Status in opposition to life. *The American Sociologist*, 25(1), 80-96.

CHAPTER 16

ESTIMATION OF PLANT FRESH WEIGHT OF COWPEA UNDER SALT STRESS BY CART, CHAID AND EXHAUSTED CHAID DATA MINING ALGORITHMS

Prof. Dr. Özlem ÖNAL AŞCI¹

Assist. Prof. Dr. Yeliz KAŞKO ARICI²

Assoc. Prof. Dr. Yasin ALTAY³

Agric. Eng. (MSc) Mualla ALTUN⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17609036>

¹ Ordu University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops Ordu/Türkiye, onalozlem@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9487-9444>

² Ordu University, Faculty of Medicine, Department of Biostatistics and Medical Informatics., Ordu/Türkiye, ykaskoarici@odu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6820-0381>

³ Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Eskişehir, Türkiye, altayasin1903@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4049-8301>

⁴ Ordu University, Institute of Science, Ordu/Türkiye, muallaaltun@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1227-6453>

INTRODUCTION

Cowpea is an annual warm season legume plant that is used as roughage and concentrated feed in animal nutrition, and as edible legumes and vegetables in human nutrition (Ayan et al., 2012). In addition, cowpea is a species with good resistance to heat and drought (Culha and Bozoglu, 2016). Therefore, it is an important plant that can be grown especially in regions with low rainfall. As a matter of fact, it is reported that cowpea can grow without irrigation in places with an annual precipitation of up to 600 mm (Unlu and Padem, 2005), and some varieties can even grow in precipitation as little as 300 mm (Gomez, 2004).

Global climate change, the effects of which we have started to experience more in recent years, will cause an increase in drought in Turkey (Ozgen et al., 2015) and many regions of the World (Chiang et al., 2021), and the problem of salinity will become widespread due to drought (Onal Ascı and Altun, 2021). NaCl in the plant growing environment, by causing drought, toxic effects, oxidative stress (Isayenkov and Maathuis, 2019), nutrient deficiency and imbalance (Zambi and Onal Ascı, 2020), affects the plants growing in the salt stress environment at the organ and cellular level, preventing their growth and development (Culha and Cakırlar, 2011) and even causing the death of the plants. For all these reasons, salt stress appears as a factor that reduces or inhibits plant production.

Being able to produce an efficient crop under salinity stress, which is thought to be effective in more and more areas, becomes an increasingly important issue in terms of world food security. For this reason, on the one hand, detailed physiological and molecular studies are carried out to better understand the changes caused by salt stress in the plant, on the other hand, the changes in the growth and development of different plant species and varieties under salt stress are examined. In these studies, analysis of variance, regression, and correlation are generally used as statistical analysis. Whether there is a difference between salt doses or genotypes with ANOVA, modeling of the effect of dose with regression analysis, and the interaction of the investigated parameters with each other are evaluated with correlation analysis.

The use of data mining methods, which are used in many fields, in agricultural production also brings various benefits. For example, predicting the quality and quantity of the product to be obtained before harvesting in crops is

important for the creation of decision-support systems. Data mining methods are mainly divided into 2 groups: Descriptive methods and predictive methods. While classification and regression are predictive methods, Clustering and association rules are descriptive methods. Regression tree is a classification method (Demircioglu and Bilge, 2015).

A classification and regression tree is a tree created by using all the independent variables and dividing the data into subgroups. At the beginning of the classification and regression trees is the root node, which does not contain any fragmentation and contains the dependent variable. First, this root node is divided into two parts. These two parts are called the parent branch. The basic principle in constructing the regression tree is to divide it into two child nodes iteratively to ensure maximum homogeneity or purity in the response variable. Nodes formed as a result of fragmentation are also called subsets (Keskin et al., 2007). The main purpose of constructing the tree is, if homogeneity is ensured as much as possible in any child node that is created recursively in the response variables, the fragmentation process ends in these nodes and this node is called parent or end node (Orucoglu 2011). In this process, by testing all the explanatory variables included in the model, it determines the cutoff value of the explanatory variable in a way that will provide the highest homogeneity in the newly formed node (Aksahan & Keskin 2015).

In the literature review, it was determined that in salt stress studies, for example, random forest, multiple and stepwise regression methods were used to predict the yield to be obtained under salt stress in wheat (Hasanuzzaman et al., 2020), while in another article, univariate and bivariate quantile analysis methods were used (Agarwal et al., 2019). Intelligent (ANN and ANFIS) and regression models (PLS, OLS, PCR) were used in the research conducted at the mint (Hosseini et al. 2020). In a study conducted in barley, MLR, MLP and RBF models were used to determine the biological yield. As a result of the research, it has been reported that the model including 1000 grain weight, organic content, grain per ear, soil pH, applied N dose, plant height and irrigation regime is the most suitable model in estimating biological yield in the MLR model depending on R^2 (Mokarram and Bijandazek, 2016). In a study evaluating measurable morphological characteristics to estimate stem fresh weight in peas, stem diameter (SMD), stem length (SML), leaflet length (LL), leaflet width (LW), stipule length (SEL), and stipule width (SEW) examined

and a multivariable linear regression model was developed to predict stem fresh weight. As a result of the evaluation of the models, it was reported that two models including SMD, SML, LL and SEL and SMD, SML, LL were the best models for estimating stem fresh weight (Kong et al. 2020). In a study on cowpea, linear, exponential, logarithmic, power and polynomial regression models were used to predict growth, nodule formation and N fixation values at different salt doses, and they stated that these models are suitable for estimating plant weight or nodule number under salt stress (Doleib and Elsheikh, 2006). In the literature, it has not been found that CART, CHAID and Exhaustive CHAID which are regression tree-based data mining algorithms, are used in the estimation of cowpea fresh weight.

The aims of this study are to estimate the above-ground fresh weight of cowpea under different doses of salt stress using tree-based CART (Classification and Regression Tree), CHAID (Chi-Squared Automatic Interaction Detector) and Exhausted CHAID (Exhausted Chi-Squared Automatic Interaction Detector) data mining algorithms and to compare the prediction performance of algorithms.

1. MATERIAL and METHODS

The data used in the study were obtained from plants belonging to Karagoz and Ulkem varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) exposed to different salt stress (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 and 200 mM NaCl). In the study, plant height (PH) (cm), root length (RL) (cm), number of leaflets (NL) (piece of plant⁻¹), leaf area (LA) (cm² plant⁻¹), stem diameter (SD) (mm), aboveground fresh (FW) and dry weight (DW) (g plant⁻¹), root fresh (RFW) and dry weight (RDW) (g plant⁻¹), number of nodules (NN) (number of plants⁻¹), nodule weight (NW) (mg plant⁻¹) (Onal Asci and Altun, 2021), proline (P), chlorophyll (a, b and total) (CLa, CLb, CLtotal), carotenoid (C), phenolic content (PC), relative water content (RWC) and electrical conductivity (EC) of leaf, Na, Ca, K, P contents and K Na⁻¹ and Ca Na⁻¹ ratio of the above ground parts of plants were determined (Onal Asci et al., 2021). Of these properties, above-ground fresh weight was considered as the dependent variable, while the other properties were considered as the independent variable.

CART algorithm was developed by Breinman et al. (1984) and is a non-parametric regression method. In this regression tree method, the branching is

in a binary tree structure and occurs by separating into two sub-homogeneous groups each time (Kose, 2018). The selection of independent variables in the model is made by considering impurity and gini, twoing, least squares deviation (Guner, 2014).

The CHAID (Chi-squared-Automatic-Interaction-Detection) algorithm is a non-parametric regression method in the tree structure created by taking into account statistical significance rates and cross tables. This algorithm was developed by Kass (1980) and uses the Chi-square statistic. In this regression tree method, the branching can be in two or more tree structures. The sub-nodes are formed by iterating the variables considered in the model in such a way that the maximum between the nodes and the minimum within the nodes in terms of the dependent variable. The result is an algorithm with a multiple tree structure (Altay, 2022).

Exhaustive CHAID (Exhaustive Chi-squared-Automatic-Interaction-Detection) is a modified version of the CHAID algorithm. It searches all possible splits for each preliminary estimator. Therefore, it takes more time compared to the CHAID algorithm. In some cases, the CHAID algorithm may not be able to find the optimal division for a variable, and in this case, the algorithm stops combining categories as all remaining categories will be statistically different as a solution, the Ex-CHAID algorithm continues to combine the categories of the prediction variable until only two categories remain. After that, it examines the combination series for the predictor and finds the category set that has the strongest relationship with the dependent variable. It then calculates the adjusted p-value for this association. Therefore, the algorithm finds the best split for each predictor and arrives at which predictor to choose for the split by comparing the adjusted p values. It is more beneficial to use this algorithm in cases where there is no shortage of time. The reason is that the algorithm can find useful splits in some cases. Although it depends on the data, it can be said that there will be no significant difference between the results of these two algorithms (Demirel, 2019).

CART, CHAID and Exhaustive CHAID, which are regression tree-based data mining algorithms, were run using 6 parent nodes and 3 child nodes. For the cross-validation process, 5-fold cross-validation 5 was preferred. Analyses were made in SPSS 23 program (IBM Corp. Released. 2015). The estimation performances of data mining algorithms used in the estimation of the fresh

weight of cowpea plant were obtained by using the R program “ehaGoF” package (R Core Team 2019; Eyduran, 2020).

The formulas of some estimation performances of data mining algorithms used in the estimation of FW of plants exposed to different doses of salt stress are given below.

1. Akaike information criterion (*AIC*):

$$\begin{cases} AIC = n \cdot \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2 \right] + 2k, & \text{if } n/k > 40 \\ AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

2. Root-mean-square error (*RMSE*): $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}$ (2)

3. Relative Root Mean Square Error (*rRMSE*): $rRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}}{\bar{y}} 100$ (3)

4. Mean error (*ME*): $ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})$ (4)

5. Mean absolute deviation (*MAD*): $MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y_{ip}|$ (5)

6. Standard deviation ratio (*SD_{ratio}*): $SD_{ratio} = \frac{s_m}{s_d}$ (6)

7. Performance Index (*PI*): $PI = \frac{rRMSE}{1+r}$ (7)

8. Global relative approximation error (*RAE*): $RAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$ (8)

9. Mean relative approximation error (*MRAE*): $MRAE = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}} = \frac{1}{\sqrt{n}} RAE$ (9)

10. Mean absolute percentage error (*MAPE*): $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - y_{ip}}{y_i} \right| 100$ (10)

$$11. \text{Coefficient of Variation (\%, CV): } CV = \frac{S_x}{\bar{x}} 100 \quad (11)$$

where, n is sample size for training set in the data, k is the number of model parameters, y_i is the actual value of the FW, y_{ip} is the estimated value of the FW, S_m is the standard deviation of the model errors, S_d is the standard deviation of the FW.

2. RESULTS and DISCUSSION

In the models made in the study, it was determined that the parameters that are effective in estimating the fresh weight of plants (FW) are potassium (K), plant height (PH), leaf area (LA) and stem diameter (SD). As a result, some descriptive statistics of FW, K, PH, LA and SD in cowpea plants exposed to different salt stress are given in Table 1. FW, LA, PH and SD decreased as the salt dose increased. In addition, it is understood that cowpea can maintain its K content in its aerial parts under salt stress, and the K content generally increases as the salt dose increases (Table 1).

The Pearson's correlation coefficients between the variables in the model in the study are given in Figure 1. FW showed a moderate positive correlation with SD ($r:0.444$; $p<0.001$) and a good positive correlation with PH ($r:0.697$; $p<0.001$). At the same time, FW showed a high positive correlation with LA ($r:0.847$; $p<0.001$). However, no significant correlation was found between FW and K ($r:-0.039$; $p=0.754$). Apart from these, significant positive correlations were determined between PH and SD ($r:0.410$; $p<0.001$), between PH and LA ($r:0.520$; $p<0.001$), and between LA and SD ($r:0.442$; $p<0.001$). A positive correlation was determined between PH and FW in different plants (Bakoglu et al., 2016; Mut et al., 2015; Sahai et al., 2013; Soujanya et al., 2018; Yilmaz and Can, 1999). Significant positive correlation was determined between leaf size, which is an indicator of leaf area, and plant weight in alfalfa (Monirifar, 2011). A positive correlation was determined between leaf length, leaf width and number of leaves, which affect leaf area per plant, and plant weight in cowpea (Sahai et al., 2013). A positive correlation was determined between plant weight and number of leaves in peas (Qamar et al., 1993).

In this study, a positive correlation was found between PH and LA. The increase in plant height causes the formation of new leaves in the plant. LA appears as a result of leaf growth (increasing area) and new leaf formation. As

a matter of fact, the findings supporting our study were determined in sorghum and a positive correlation was found between plant height and leaf length, plant height and number of leaves (Soujanya et al., 2018).

Table 1. Descriptive statistics values of the variables included in the model

		NaCl (mM)									
		0	25	50	75	100	125	150	175	200	
FW (g plant ⁻¹)	Min	9.4	8.7	7.7	6.1	6.1	6.4	4.2	5.6	6.1	
	Max	13.9	13.0	13.0	11.7	12.7	11.1	13.2	11.9	10.8	
	Mean±SD	12.0±1.4	10.7±1.2	10.2±1.9	9.2±2.1	8.9±2.4	8.5±1.8	8.4±3.0	8.0±2.1	8.1±1.4	
K (ppm)	Min	616	692	456	640	988	1008	724	704	1224	
	Max	1092	1512	1472	1944	3144	3600	1800	2224	2392	
	Mean±SD	809±174	1058±31	946±294	1061±42	1715±81	2188±11	1376±43	1822±57	1690±48	
LA (cm ² plant ⁻¹)	Min	163.1	140.1	134.7	98.3	95.2	106.7	78.4	105.8	98.0	
	Max	212.0	193.2	201.3	183.5	188.1	162.5	189.7	178.3	155.8	
	Mean±SD	190.7±1	164.2±1	159.7±2	141.8±2	136.3±3	134.7±1	130.1±4	128.4±2	126.3±1	
PH (cm)	Min	8.0	6.5	0.3	8.8	5.8	9.7	0.3	5.6	8.7	
	Max	23.6	20.9	18.1	17.4	17.6	15.6	15.5	11.5	15.7	
	Mean±SD	35.6	33.5	32.9	31.1	32.8	27.9	31.4	26.4	27.4	
SD (mm)	Min	29.4±5.2	27.3±5.0	25.7±6.1	23.5±5.3	23.9±6.3	19.9±4.4	23.4±5.8	19.1±4.9	21.3±4.0	
	Max	3.9	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.4	3.3	3.5	
	Mean±SD	4.6	4.6	4.4	4.2	4.3	4.4	4.3	4.0	4.3	
SD (mm)	Min	4.2±0.3	4.3±0.2	4.2±0.2	4.0±0.1	4.0±0.2	4.0±0.3	4.0±0.3	3.8±0.3	3.9±0.3	
	Max	4.2±0.3	4.3±0.2	4.2±0.2	4.0±0.1	4.0±0.2	4.0±0.3	4.0±0.3	3.8±0.3	3.9±0.3	
	Mean±SD	4.2±0.3	4.3±0.2	4.2±0.2	4.0±0.1	4.0±0.2	4.0±0.3	4.0±0.3	3.8±0.3	3.9±0.3	
	SD	4.2±0.3	4.3±0.2	4.2±0.2	4.0±0.1	4.0±0.2	4.0±0.3	4.0±0.3	3.8±0.3	3.9±0.3	

FW: Fresh Weight, K: Potassium, LA: leaf area, PH: plant height, SD: stem diameter

A positive correlation was determined between plant height and number of leaves in *Vicia sativa* (Yılmaz and Can, 1999). Increasing plant height is an indicator of plant growth and development. As growth progresses in dicotyledonous plants, the stem thickens. Similar to our study, a positive correlation was determined between plant height and stem diameter in *Vicia faba* (Karayel et al., 2016). The increase in the leaf area allows the photosynthesis to increase in the plant, and the amount of organic matter increases as a result of photosynthesis. The increase in organic matter causes a proportional decrease in mineral substances. As a result of this interaction, a negative significant correlation was determined between LA and K in our study. As a matter of fact, a negative correlation was also determined between FW and K, although it was not found to be significant in the study. In a study conducted in oats, a negative correlation was determined between weight and K (Mut et al., 2015).

In order for the prediction models to reach an accurate robust result, RMSE, RRMSE, RAE, CV, MRAE, MAPE, MAD, AIC and CAIC criteria should be as low as possible, while PC, R2 and AR2 criteria should be close to 1. In addition, the SDR criterion must be 0.10. Considering the model evaluation criteria, it has been determined that CART is the data mining algorithm that can explain the FW of cowpea plants with higher estimation performance. Although the prediction performances of CHAID and Exhaustive CHAID algorithms are lower than CART, they have been found to have very satisfactory prediction performances. 82.5% of the variation in FW of cowpea was explained by the independent variables found to be important with the CART algorithm ($R^2=0.825$) (Table 2).

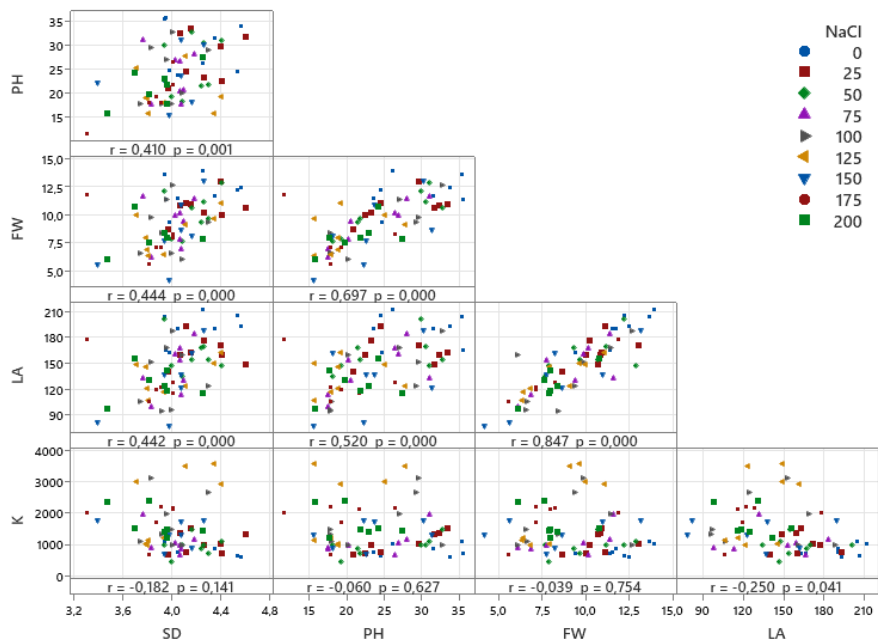


Figure 1. Correlation coefficients between the study variables
SD: stem diameter; PH: plant height; FW: Fresh Weight; LA: leaf area, K: potassium

The regression tree diagram was drawn according to the CART algorithm, since CART was the best performing regression tree algorithm among the three prediction models (CHAID, Ex-CHAID and CART) examined in the study (Figure 2). While the independent variables used in the CHAID and Exhaustive CHAID algorithm were LA and Variety, the independent variables PH, LA, SD and K were used in the CART algorithm. In addition, the first-order independent variable on FW was determined as plant height, while the second-order leaf area, third-order stem diameter, K and plant height were determined as effective independent variables.

Table 2. Predictive performance of regression tree algorithms in a 5-fold cross-validation

Goodness-of-Fit Criteria	CHAID	Ex-CHAID	CART
Root mean square error (RMSE)	1.004	1.019	0.946
Relative root mean square error (rRMSE)	10.688	10.857	10.074
Standard deviation ratio (SD_{ratio})	0.444	0.451	0.418
Coefficient of variation (CV)	10.770	10.940	10.150
Pearson's correlation coefficients (PC)	0.896	0.893	0.908
Performance index (PI)	5.637	5.736	5.279
Mean error (ME)	0.000	0.000	0.000
Relative approximation error (RAE)	0.011	0.011	0.010
Mean relative approximation error (MRAE)	0.013	0.013	0.012
Mean absolute percentage error (MAPE)	8.615	8.601	8.484
Mean absolute deviation (MAD)	0.754	0.759	0.706
Coefficient of determination (R^2)	0.803	0.797	0.825
Adjusted coefficient of determination (AR^2)	0.797	0.791	0.820
Akaike's information Criterion (AIC)	4.476	6.615	3.563
Corrected Akaike's information criterion (CAIC)	4.660	6.799	3.378

The root node (Node 0) of all cowpea plants examined in the study was divided into 2 nodes formed by PH (Node 1 and 2). Nodes 1 and 2 were affected by LA and were divided into 2 new subgroups (Node 3, 4, 5 and 6). There is a branching in terms of LA in Node 6, this is due to the two-way branching of

the CART algorithm and obtained Node 7 and 8. While Node 7 was divided by SD, Node 8 was divided by K. Node 9 was divided by PH. Thus, the root node (Node 0) was divided into 14 nodes formed by the characteristics affecting the FW of the plants. Of these 14 nodes, 8 of them are terminal nodes (Node 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13 and 14) and 6 of them are internal nodes (Node 1, 2, 6, 7, 8 and 9) in the regression tree diagram (Figure 2).

The FW of the subgroups formed in the estimation of the cowpea FW varied between 6.618 gr (Node 3) and 13.583 gr (Node 12) on average, and the average of all plants FW used in regression tree was determined as 9.389 gr. In the cowpea plant under salt stress, while plants with plant height less than or equal to 23.125 cm and leaf area less than or equal to 123.278 cm² had the lowest FW, it was determined that the plants with the highest FW were those with a height greater than 23.125 cm, a leaf area of more than 185.795 cm² and a K content greater than 1012 ppm (Figure 2).

In a study conducted in peas, it was seen that PH was included as an independent variable in the MARS algorithm, in which the green grass yield was estimated (Celik et al., 2021). Similarly, in soybean, it was seen that PH was included as an independent variable in the MARS algorithm, in which the seed yield was estimated (Celik and Boydak,

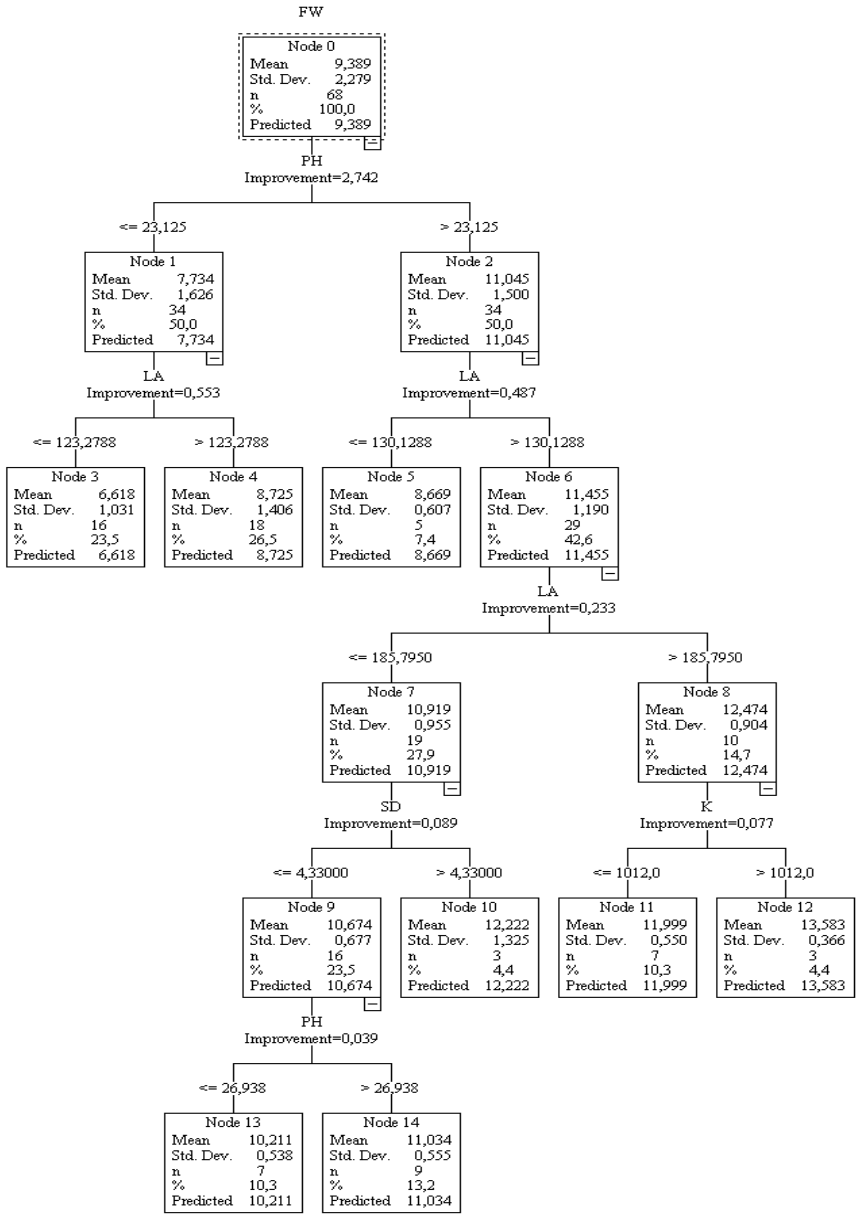


Figure 2. Regression tree CART algorithm diagram used in fresh weight (FW) estimation of cowpea plant.

SD: stem diameter; PH: plant height; FW: Fresh Weight; LA: leaf area, K: potassium

2020). The fact that LA is involved in the estimation of plant fresh weight in our study is due to the fact that the leaf area is affected by salt stress, and it is the most important organ in photosynthesis and transpiration in the plant. Since the determination of the total leaf area in the plant is a laborious measurement, it is not directly examined in classical yield studies. In this study, its effect on yield has been revealed by its inclusion in the algorithm.

CONCLUSIONS

In this study, it has been demonstrated that accurate predictions can be made before harvest in cowpea using CART, CHAID and Exhaustive CHAID algorithms, which are tree-based data mining algorithms. It was determined that PH, LA, SD and K variables had a say in the estimation of fresh weight of cowpea exposed to different amounts of salt stress in the CART algorithm, which showed the best performance. Among all the independent variables whose effects were investigated, PH was noted as a first-order effective feature. The pH and SD included in the algorithm are features that can be determined very easily, inexpensively, in a short time, and can be easily measured repeatedly at different times, without the need for specialists, expensive equipment, chemicals and equipped laboratories. The use of these variables, which data mining points to estimate the cowpea fresh weight, will provide important advantages for yield estimation. It is recommended to use data mining algorithms, which perform very successfully in cowpea crops, in modeling and prediction-oriented studies in field crops.

Acknowledgements

The research was supported by the Ordu University BAP unit as the project numbered TF 1531.

REFERENCES

- Agarwal, G., Saade, S., Shadid, M., Tester, M. and Sun, Y., (2019). Quantile function modeling with application to salinity tolerance analysis of plant data. *BMC Plant Biology*, 19: 526(2019). <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2039-9>.
- Aksahan, R. and Keskin, I., (2015). Determination of the some body measurements effecting fattening final live weight of cattle by the regression tree analysis. *Selcuk Journal of Agriculture Science*, 2(1): 53-59.
- Altay, Y., (2022). Phenotypic characterization of hair and honamli goats using classification tree algorithms and multivariate adaptive regression spline (mars). *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University*, 28(3): 401-410.
- Ayan, I., Mut, H., Basaran, U., Acar, Z. and Onal Ascı, O., (2012). Forage potential of cowpea (*Vigna unguiculata* L. WALP). *Turkish Journal of Field Crops*, 17(2): 135-138.
- Bakoglu, A., Celik, S. and Kokten, K., (2016). Analysis of some plant measures of narbon vetch (*Vicia narbonensis* L.) effecting plant length using path analysis. *Legume Research*, 39(5): 755-761.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J., (1984). Classification and Regression Trees. Chapman & Hall/CRC.
- Celik, S. and Boydak, E., (2020). Description of the relationships between different plant characteristics in soybean using multivariate adaptive regression splines (mars) algorithm. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 30(2): 431-441.
- Celik, S., Bakoglu, A. and Catal, M.I., (2021). Examination of the relationship among plant characteristics affecting yield in pea plants with MARS algorithm. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 31(6): 1622-1631.
- Chiang, F., Mazdiyasi, O. and AghaKouchak, A., (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12: 2754 <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>.
- Culha, G. and Bozoglu, H., (2016). Seed yield and it's components of amazon and sirma cowpea varieties that are grown with different cultivatons.

- Journal of Field Crops Central Research Institute*, 25 (special 1): 177-183.
- Culha, S. and Cakırlar, H., (2011). The effect of salinity on plants and salt tolerance mechanisms. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 11(2): 11-34.
- Demircioğlu, H. Z. and Bilge, H.Ş., (2015). Analysis of Gene Expressions in Ovarian Cancer Data Set by using Data Mining. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 4: 125-134
- Demirel, S., (2019). Decision tree algorithms and an application on child labor. MSc Thesis, Marmara University, Türkiye
- Doleib, N.H.M.E. and Elsheikh, A.E., (2006). Modeling the effect of salt-stress on growth, nodulation and nitrogen fixation of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences*, 14(3): 354-369.
- Eyduran, E., (2020). ehaGoF: Calculates Goodness of Fit Statistics. R package version 0.1.0. [https://CRAN.R-project.org/package= ehaGoF](https://CRAN.R-project.org/package=ehaGoF).
- Gomez, C., (2004). Cowpea: Post-Harvest Operations. Retrieved in August, 18, 2022 from <https://www.fao.org/3/au994e/au994e.pdf>
- Guner, Z.B., (2014). CART and logistic regression analysis in data mining: An application on pharmacy provision system data. *Journal of Social Insurance*, 6: 53-99.
- Hasanuzzaman, M., Sarwar, S.H.M.G. and Islam, M.S., (2020). Identification of yield predictors of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress using random forest, multiple and stepwise regression. *International Journal of Experimental Agriculture*, 10(1): 20-25
- Hosseini, S.J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Modarres-Sanavy, S.A.M., Bidgoli, A.M., Hazrati, S. and Nicola, S., (2020). Assessment of salinity indices to identify mint ecotypes using intelligent and regression models. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7(2): 119-137.
- IBM Corp. Released. (2015). IBM SPSS Statistics for Windows. Version 23.0. Armonk. NY: IBM Corp.
- Isayenkov, S.V. and Maathuis, F.J.M., (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 15(10): 80 doi: 10.3389/fpls.2019.00080.

- Orucoglu, O., (2011). Determination of environmental factors affecting 305-day milk yield of Holstein cows by regression tree method. MSc Thesis, Suleyman Demirel University, Turkiye
- Ozgen, A.M., Adak, M.S., Ulukan, H., Benlioglu, B., Peskircioglu, M., Koyuncu, N., Yıldız, A. and Tuna, D.E., (2015). Climate change and plant gene resources. In: Proceedings of Turkey Agricultural Engineering VIIIth Technical Congress, 12-16 January, Ankara, pp. 184-193.
- Qamar, I.A., Muhammad. N. and Mirza, S.N., (1993). A Study of various genetic parameters in forage peas. *The Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 14(2&3): 198-202.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna. Austria. <https://www.Rproject.org/>
- Sahai, G., Malaviya, D.R. and Singh, U.P., (2013). Morphological traits association with fodder and seed yield in *Vigna unguiculata* (L.). *Journal of Environmental Biology*, 34(1): 139-145.
- Soujanya, T., Shashikala, T. and Umakanth, A.V., (2018). Studies on character association and path analysis for fodder yield and its components in sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.)]. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 6(3): 602-607.
- Unlu, H. and Padem, H., (2005). The effect of different sowing times on quality and yield properties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in arid and irrigated conditions. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 9(3): Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufenbed/issue/20778/221750>
- Yilmaz, S. and Can, E., (1999). Relationships between traits affecting the yield and yield of some common vetch (*Vicia sativa* L.) cultivars and lines grown in Hatay ecological conditions. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 4(1-2): 25-42.
- Zambi, H. and Onal Ascı, O., (2020). Effect of NaCl stress on chlorophyll and mineral content of forage pea. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6(3): 562-569.

BÖLÜM 17

YEM BİTKİLERİNDE KURAKLIK STRESİ HAFIZASI

Doç. Dr. Gürkan DEMİRKOL¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17609099>

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye. gurkan.demirkol@gop.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-0033-8039

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artış gösterdiği günümüzde, tarımsal verimliliği kısıtlayan en önemli problemlerden birisi çevresel stres faktörleridir. Son yıllarda gözlemlenen küresel iklim değişikliğiyle birlikte tarım alanlarında yaşanan çevresel stres faktörlerinin sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır (Demirkol ve Yılmaz 2023).

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin gözlenmesi ile birlikte artan yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin yanı sıra azalan ve düzensizleşen yağışlar sonucu toprak taban suyu rezervlerinde ciddi azalmalar olduğu rapor edilmiştir (Mukherjee ve ark., 2018). En önemli stres faktörlerinden birisi olan kuraklık, kültürü gerçekleştirilen birçok bitki türünde önemli verim ve kalite kayıplarına ve hatta bitki ölümlerine yol açmaktadır (Tiwari ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2018). Bunun sebebi kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde turgor basıncının azalması sonucu hücre büyümesinin azalması, hücreler arası su dengesinin bozulması, enzim aktivitelerinin azalması, fotosentetik aktivitenin hasar görmesi, membran sistemlerin zarar görmesi, transpirasyonla kaybedilen su miktarını azaltmak için yaprak sayısının azalması ve küçülmesi gibi fizyolojik olumsuzluklardır (Ruwanza ve ark., 2022; Shahzad ve ark., 2016).

Kuraklık koşullarında bitkiler, su kaybını azaltmak için stoma açıklıklarını kapatır; bu da fotosentezin ve karbon asimilasyonunun azalmasına yol açar. Sonuç olarak, kuru madde üretimi düşer, yapısal bileşenlerin sentezi aksar ve besin taşınımı yavaşlar. Ayrıca yaprak alanı küçülür ve erken yaşlanma görülür (Pirasteh-Anosheh ve ark., 2016).

Bitkiler, diğer abiyotik streslere karşı olduğu gibi kuraklık stresine karşı da çeşitli morfolojik, fizyolojik ve moleküler düzeyde yanıtlar geliştirerek hayatta kalmaya çalışırlar (Demirkol, 2021). Aynı türe ait bitkilerin dünya genelinde dağılımı incelendiğinde değişen ekolojik faktörler içerisinde farklı adaptasyonlar geliştirmiş olmaları buna iyi bir örnektir. Nitekim, aynı türe ait popülasyonlar ile gerçekleştirilen kuraklık stres toleransının belirlenmesine yönelik araştırmalarda popülasyonların dayanıklılık açısından farklılık gösterdikleri ortaya konmuştur (Mwadzingeni ve ark., 2017). Bunun sebebi tür içerisindeki popülasyonların fizyolojik gelişim aktivitelerinin, stresten kaçabilme adaptasyonlarının veya gen ifadelerinin farklılık göstermesiyle açıklanabilir. Gözlemlenen farklılığın sebeplerinden bir tanesi de bitkinin daha önce kuraklık stresi ile farklı zaman ve dozlarda karşılaşması sonucu nesilden

nesile devam edecek bir adaptasyon kabiliyeti geliştirmesi olarak gösterilebilir (Hilker ve Schmülling, 2019).

Küresel iklim değişikliğinin giderek daha ciddi boyut alması ve yol açtığı kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri düşünöldüğünde etkin mücadele yöntemlerinin geliştirilmesinin büyük önem taşıdığı anlaşılmaktadır.

Kuraklık stresinin bitki üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirebilmek için en etkin yol kurağa dayanıklı çeşit geliştirilmesidir (Ahmad ve ark., 2022). Son yıllarda kuraklık stresi ile mücadele etmede çeşit geliştirmenin yanında geliştirilebilecek farklı agronomik tekniklerin üzerinde durulmaktadır (Wahab ve ark., 2022).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, bitkilerin yalnızca bu streslere tepki vermekle kalmadığını, aynı zamanda daha önce karşılaştıkları stresler sonucu “stres hafızası” kazandıklarını göstermektedir. İlgili çalışmalarda bu hafızanın sonraki stres durumlarında bitkinin daha hızlı ve etkili bir adaptasyon göstermesine katkı sağlayabileceği ortaya konmuştur. Araştırmalarda daha önce kuraklık stresine hiç maruz bırakılmamış bitkilerin stres ile karşılaştıklarında oldukça hassas tepki gösterdiklerini ve dayanımlarının zayıf olduğunu, daha önce belli doz ve sürelerde kuraklık stresi yaşayan bitkilerin ise daha yüksek dayanım gösterebildikleri rapor edilmiştir (Mendanha ve ark., 2020; Turgut Kara ve ark., 2020).

Konu hakkında gerçekteştirilen araştırmaların önemli bir bölümü yukarıda da değinildiği üzere mevcut tarım sisteminin en önemli problemlerinden birisi olan kuraklık üzerine yoğunlaşmıştır. Araştırmalarda bitkilere kuraklık stres hafızası kazandırabilmek adına farklı stratejiler ortaya konmuştur (Li ve Liu, 2016; Wojtyla ve ark., 2020; Jacques ve ark., 2021).

Kuraklık stresi hafızası, bitkilerin önceki stres deneyimlerine bağlı olarak gen ekspresyonu, epigenetik düzenlemeler, protein üretimi ve metabolit düzeylerinde değişiklikler göstererek yeni stres koşullarına daha hazırlıklı olmaları olarak açıklanabilir (Arıcan, 2019; İnce ve Karaca, 2019).

Kuraklık stresi hafızasının ele alınması, özellikle kısa süreli ama tekrarlayan kuraklık döngülerine maruz kalan yem bitkileri açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu tür bitkilerin daha dirençli, sürdürülebilir ve kaliteli ot üretimi sağlayabilmeleri, hem hayvansal üretim verimliliği hem de ekosistem dayanıklılığı açısından kritik rol oynamaktadır.

Yem bitkileri gibi biyokütle üretimi hedeflenen türlerde, kuraklık stresi biyokütle miktarında belirgin azalmalarla sonuçlanmakta ve yem verimi doğrudan etkilemektedir (Staniak, 2016). Kuraklık ayrıca yem bitkilerinin kimyasal bileşiminde de değişimlere yol açar. Lignin içeriğinde artış, sindirilebilirliğin düşmesine neden olurken, çözünür şeker ve serbest amino asit birikimi gibi adaptif tepkiler de gözlemlenir (Moore ve ark., 2020). Örneğin, serbest prolin birikimi, hücre içi ozmotik dengenin korunmasına katkı sağlarken, aynı zamanda hücre zarlarını stabilize edici bir rol üstlenir (Demirkol, 2023). Ancak bu adaptasyonların uzun vadede hayvan besleme açısından her zaman istenen bir etki yaratmadığı unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, kuraklık stresi yem bitkilerinde verim, kalite ve kalıcılık açısından çok yönlü bir tehdit oluşturmakta; bu stresle başa çıkabilen türlerin ve genotiplerin belirlenmesi, günümüz tarımı açısından stratejik bir gereklilik haline gelmektedir. Verilen bilgiler ışığında yem bitkilerinde kuraklık stresi hafızası mekanizmasının ortaya konmasına yönelik araştırmaların ne kadar kıymetli olduğu durumu tartışılmazdır.

Bu bölümde, yem bitkilerinde kuraklık stresine karşı gelişen hafıza mekanizmaları, bu süreçte görev alan fizyolojik ve moleküler bileşenler, türler arası farklılıklar ve tarımsal uygulamalara yönelik olası yansımalar ele alınmıştır.

Stres Hafızası Kavramı ve Mekanizmaları

Bitkiler, çevrelerindeki değişken koşullara yanıt verebilmek adına gelişmiş algılama ve yanıt sistemlerine sahiptir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, bitkilerin yalnızca çevresel streslere tepki vermekle kalmayıp, aynı zamanda bu stres deneyimlerini “hafıza” olarak tutabildiklerini ortaya koymuştur (Lämke ve Bäurle, 2017; Tombesi ve ark., 2018). Bu durum, “stres hafızası” olarak adlandırılmaktadır. Bitkilerde bu mekanizma daha çok genetik ve epigenetik düzeyde iz bırakan bir adaptasyon süreci olarak değerlendirilir (Kinoshita ve Seki, 2014).

Stres hafızası, özellikle tekrarlayan stres koşullarında belirginleşir. İlk stres deneyiminde aktive edilen bazı gen ifadeleri, sinyal yolları ve metabolitler, sonraki benzer bir stres durumunda daha hızlı ve güçlü bir şekilde yeniden devreye girebilir (Avramova, 2015). Bu süreç, bitkinin çevresel baskılara karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlar. Hafıza, bazı durumlarda

nesiller arası kalıtım gösterebilirken, çoğunlukla bir veya birkaç döngü boyunca etkinliğini sürdürebilir (Molinier ve ark., 2006).

Kuraklık gibi su eksikliği temelli abiyotik streslerde bitkisel hafıza, özellikle koruyucu fizyolojik yanıtların ve koruyucu metabolitlerin hızla aktive edilmesiyle kendini gösterir (Fleta-Soriano ve Munné-Bosch, 2016). Hafıza sayesinde, bitki tekrarlayan su eksikliklerine karşı daha düşük enerjiyle daha etkili savunma yanıtları oluşturabilir. Bu durum, tarımsal üretimde kuraklığa dayanıklı bitki geliştirme çalışmalarında yeni bir hedef alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kuraklık Stresi Hafızasının Moleküler Temelleri

Bitkilerde kuraklık stresi hafızasının temelinde epigenetik yer almaktadır. İlk stres olayında aktive edilen ilgili genler ikinci stres karşısında daha çabuk ve güçlü bir şekilde ifade edilir (Kambona ve ark., 2023). Bu hızlı yanıt, bitkinin hayatta kalma şansını artırır.

Kuraklık hafızasına dahil olan genler genellikle osmotik stres toleransı, antioksidan savunma sistemleri, su taşıma kanalları ve transkripsiyon faktörleriyle ilişkilidir. Örneğin DREB, NAC, MYB ve ABF gibi transkripsiyon faktörleri, hafıza sürecinde önemli rol oynar. Bu transkripsiyon faktörleri, hem abiyotik streslere doğrudan yanıtı düzenler hem de epigenetik işaretlerin oluşumunu etkileyebilir (Zandkarimi ve ark., 2015; Askari-Khorasgani ve Pessarakli, 2019; Georgii ve ark., 2019).

Kuraklık hafızasının kalıcılığı, genetik yapıya ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir. Bazı durumlarda bu yanıtlar geçici olurken, bazen sonraki nesillerde de kısmen gözlenebilir. Moleküler düzeyde bu süreç, DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve mikro RNA'ların regülasyonu gibi epigenetik mekanizmalarla desteklenmektedir (Banerjee ve Roychoudhury, 2017; Liu ve He, 2020; Gao ve ark., 2025; Sadhukhan ve ark., 2022).

Fizyolojik Yanıtlar ve Kalıcı Adaptasyonlar

Kuraklık hafızası, yalnızca genetik düzeyde değil, fizyolojik yanıtlar açısından da kendini gösterir. Stres hafızası geliştirmiş bir yem bitkisi, aynı stresle ikinci kez karşılaştığında daha az yaprak kıvrılması, daha kontrollü stoma kapanması ve daha stabil fotosentetik performans gibi özellikler sergileyebilir. Bu da hem verim kaybını azaltır hem de enerji tüketimini optimize eder. Stoma kontrolü, su kullanım verimliliği açısından en kritik

fizyolojik göstergelerden biridir. Hafızaya sahip bitkilerde, stoma tepkisi daha hassas ve dengeli çalışır. Aynı şekilde, osmotik düzenleyici maddelerin (özellikle prolin, çözünür şekerler) birikimi daha önceki strese göre daha hızlı gerçekleşir. Bu da hücrel su dengesinin korunmasına katkı sağlar (Sarıkaya, 2024).

Yine fotosentetik pigmentler ve antioksidan enzim aktiviteleri de ikinci stres döngüsünde daha etkin bir rol oynar (Bu enzimler araştırmalarda çoğunlukla askorbat peroksidaz, katalaz, glutatyon redüktaz, süperoksit dismutaz olarak rapor edilmiştir). Bu fizyolojik yanıtlar sayesinde bitki, kuraklık dönemlerinde daha az hasar alır ve toparlanma süreci daha kısa sürer (Lukić ve ark., 2020). Özellikle çok yıllık yem bitkilerinde bu adaptasyonlar, uzun süreli streslere karşı direnç oluşturur.

Epigenetik Düzenlemelerin Rolü

Epigenetik mekanizmalar, genetik kodda değişiklik yapmaksızın gen ekspresyonunun düzenlenmesini sağlar. Kuraklık stresi hafızasında epigenetik düzenlemeler, stres yanıtlarının iz bırakıcı hale gelmesini sağlar (Ru ve ark., 2022). En yaygın epigenetik mekanizmalar arasında DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve mikro RNA'lar yer alır (Mozgova ve ark., 2019; Gallusci ve ark., 2023).

DNA metilasyonu, belirli gen bölgelerinde metil grubu eklenmesiyle gen ifadesini baskılayabilir veya artırabilir. İlk kuraklık stresinde bu tür modifikasyonlar oluşur ve aynı strese tekrar karşılaşıldığında bu bölgelerdeki ekspresyon daha hızlı gerçekleşir (Sun ve ark., 2022). Histon modifikasyonları ise kromatin yapısını gevşeterek genlerin erişilebilirliğini artırır. Bu sayede genler daha hızlı açılır ve stres yanıtı etkinleşir (Banerjee and Roychoudhury 2017).

Hafıza Geliştirme Potansiyeli Olan Önemli Yem Bitkileri

Yem bitkileri arasında kuraklık stresine karşı hafıza geliştirme potansiyeli türler arasında farklılık göstermektedir. Özellikle çok yıllık baklagiller bu açıdan dikkat çekicidir. Yonca (*Medicago sativa* L.), kök sisteminin derinliği, nodule aktivitesi ve adaptif genetik yapısıyla kuraklık hafızasına uygun bir model türdür. Tekrarlayan kuraklık koşullarında fotosentetik aktiviteyi sürdürme, su kullanım verimliliğini artırma ve antioksidan sistemini güçlendirme gibi özellikleri belirginleşir (Kara, 2025).

Konu ile İlgili Daha Önce Gerçekleştirilen Bilimsel Araştırmalar

Ak üçgül (*Trifolium repens*) bitkisi üzerinde yapılan araştırmada, kısa süreli kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerin klonlarının, daha sonra daha şiddetli kuraklık stresi uygulandığında stres hafızası mekanizması sayesinde bu duruma daha fazla dayanabildikleri tespit edilmiştir. Benzer etki öncesinde daha uzun süre kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde görülemediği (González ve ark., 2016).

Kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*) bitkisinde gerçekleştirilen bir araştırmada, öncül kuraklık stresi uygulanan kamışsı yumak bitkilerinin daha sonraki dönemde sıcaklık stresine maruz kaldıklarında strese daha dayanıklı oldukları rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2019).

İki adet yonca çeşidinde gerçekleştirilen çalışmada öncül kuraklık stresi uygulamasının bitkilerde stres hafızası oluşturduğu tespit edilmiştir (Ventouris ve ark., 2020). Araştırmacılar stres hafızası oluşturabilmek için uygun metodun her tür için farklı olacağını vurgulamışlardır. Araştırmada bitkilerin DNA metilasyonu sonucu stres hafızası kazandıkları moleküler analizler ile tespit edilmiştir. Bunun sebebi, hücrelerdeki fonksiyonel proteinlerin üretimini yöneten genlerin kontrolü için DNA'ya bağlanan yapıların ilgili genomu işaretleyerek gen ekspresyonunu artırmalarıdır.

Lukić ve ark. (2020) çayır tilki kuyruğu (*Alopecurus pratensis*) türü üzerinde gerçekleştirdikleri araştırmada kuraklık ön uygulamasının su basması ön uygulaması ve kontrole kıyasla daha sonraki dönemde yaşanacak kuraklık stresine karşı bitkileri daha dayanıklı hale getirdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca kuraklık ön uygulamasına maruz bırakılan bitkilerin bu dayanıklılığı antioksidatif enzimlerin seviyelerinde meydana gelen artış sayesinde elde ettikleri ortaya konmuştur.

Tarımsal Uygulamalarda Hafıza Temelli Yaklaşımlar ve Gelecek Perspektifleri

Tarımsal üretimde “priming” uygulamaları, bitkilerin kontrollü stresle önceden tanıştırılarak daha dayanıklı hale getirilmesini amaçlar. Tohum seviyesinde veya genç fide döneminde yapılan bu uygulamalar, sonraki kuraklık dönemlerinde bitkinin hafızasını aktive ederek verim kaybını

azaltabilir. Bu uygulamaların yem bitkilerine uygun hale getirilmesi, çiftçiye kolay uygulanabilir, maliyeti düşük ve etkili çözümler sunabilir.

Öte yandan, moleküler ve epigenetik düzeyde yapılan araştırmaların artmasıyla birlikte, kuraklık hafızasını genetik olarak taşıyan genotiplerin belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. Gelecekte genom düzenleme teknolojileri kullanılarak bu hafıza özelliklerinin yem bitkilerine dahil edilmesi mümkün olabilir (Dobránszki ve ark., 2025).

Bu bağlamda, yem bitkilerinde kuraklık stresi hafızası yalnızca bir fizyolojik adaptasyon değil, aynı zamanda tarımsal sürdürülebilirlik açısından umut vadeden bir biyoteknolojik araç olarak da değerlendirilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yem bitkilerinde kuraklık stresi hafızası, yalnızca bilimsel bir araştırma alanı olmanın ötesinde; tarımsal sürdürülebilirlik, hayvansal verimlilik ve ekosistem dayanıklılığı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Epigenetik düzenlemeler (DNA metilasyonu, histon modifikasyonları), moleküler mekanizmalar (transkripsiyon faktörleri, ABA sinyal yolları) ve fizyolojik adaptasyonlar (osmotik düzenleyiciler, antioksidan sistemler) bu hafızanın temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu bölümde, yem bitkilerinde kuraklık stresine karşı gelişen epigenetik hafıza mekanizmaları ortaya konmuş, literatürdeki güncel bilgiler bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Gelecekte, kuraklık stres hafızasının genomik düzenleme teknolojileri, 'omics' temelli moleküler markörler ve entegre tarımsal uygulama modelleri ile sistematik şekilde yönlendirilmesi, iklim değişikliğine karşı dayanıklı yem bitkilerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, bu hafızanın nesiller arası aktarımı konusundaki araştırmalar teşvik edilmeli; genetik ve fizyolojik düzeyde kalıcı adaptasyonların üretim sistemlerine dahil edilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ahmad, A., Aslam, Z., Javed, T., Hussain, S., Raza, A., Shabbir, R., Mora-Poblete, F., Saeed, T., Zulfiqar, F. ve Ali, M. M. (2022). Screening of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance through agronomic and physiological response. *Agronomy*, 12(2), 287. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020287>
- Arıcan, E. S. (2019) Ekmeklik buğday çeşitlerinde ardışık hidrojen peroksit uygulamalarının tuz stresi toleransı üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.
- Askari-Khorasgani, O., ve Pessarakli, M. (2019) Drought-Induced Gene Expression Reprogramming Associated with Plant Metabolic Alterations and Adaptation. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, Fourth Edition. CRC Press, pp 557-572.
- Avramova, Z. (2015). Transcriptional ‘memory’ of a stress: transient chromatin and memory (epigenetic) marks at stress-response genes. *The Plant Journal* 83, 149-159. <https://doi.org/10.1111/tpj.12832>
- Banerjee, A., ve Roychoudhury, A. (2017). Epigenetic regulation during salinity and drought stress in plants: Histone modifications and DNA methylation. *Plant Gene*, 11, 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.05.011>
- Demirkol, G. (2021). PopW enhances drought stress tolerance of alfalfa via activating antioxidative enzymes, endogenous hormones, drought related genes and inhibiting senescence genes. *Plant Physiology and Biochemistry* 166, 540-548. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.036>
- Demirkol, G. (2023). PopW improves salt stress tolerance of red clover (*Trifolium pratense* L.) via activating phytohormones and salinity related genes. *Biologia* 78, 979-991. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01280-8>
- Demirkol, G., ve Yılmaz, N. (2023). Morphologically and genetically diverse forage pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) genotypes under single and combined salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 196, 880-892. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.041>

- Dobránszki, J., Vassileva, V., Agius, D. R., Moschou, P. N., Gallusci, P., Berger, M. M., Farkas, D., Basso, M. F. ve Martinelli, F. (2025). Gaining insights into epigenetic memories through artificial intelligence and omics science in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. <https://doi.org/10.1111/jipb.13953>
- Fleta-Soriano, E, ve Munné-Bosch, S (2016). Stress memory and the inevitable effects of drought, a physiological perspective. *Frontiers in Plant Science* 7, 143. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0337-y>
- Gallusci, P., Agius, D. R., Moschou, P. N., Dobránszki, J., Kaiserli, E., & Martinelli, F. (2023). Deep inside the epigenetic memories of stressed plants. *Trends in Plant Science*, 28(2), 142-153.
- Gao A-J., Zhang J-W., Zhang X-S., Song Y-X., Zhu W-Y., Sun F-L., Xi Y-J., ve Zhang, C. (2025). Epigenetic regulation of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in multiple drought stresses. *Industrial Crops and Products* 225, 120560. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120560>
- Georgii, E., Kugler, K., Pfeifer, M., Vanzo, E., Block, K., Domagalska, M. A., Jud, W., AbdElgawad, H., Asard, H., ve Reinhardt, R. (2019). The systems architecture of molecular memory in poplar after abiotic stress. *The Plant Cell* 31, 346-367. <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00431>
- González, A. P. R., Chrték, J., Dobrev, P. I., Dumalasová, V., Fehrer, J., Mráz, P., ve Latzel, V. (2016). Stress-induced memory alters growth of clonal offspring of white clover (*Trifolium repens*). *American Journal of Botany* 103, 1567-1574. <https://doi.org/10.3732/ajb.1500526>
- Hilker, M., ve Schmölling, T. (2019). Stress priming, memory, and signalling in plants. *Plant, Cell & Environment* 42, 753-761. <https://doi.org/10.1111/pce.13526>
- İnce, A. G., ve Karaca, M. (2019). Epigenetik mekanizmalar ve tarımsal üretimde epigenetik yaklaşımlar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 12, 51-58.
- Jacques, C., Salon, C., Barnard, R. L., Vernoud, V., ve Prudent, M. (2021). Drought stress memory at the plant cycle level, A review. *Plants* 10, 1873. <https://doi.org/10.3390/plants10091873>
- Kara, N. (2025). Stres hafızası üzerine odaklanan priming uygulamalarının su baskını stresi altındaki yaygın yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinde morfolojik ve fizyolojik özelliklere etkisi. *Tokat Gaziosmanpaşa*

- Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Kambona, C. M., Koua, P. A., Léon, J, ve Ballvora, A. (2023). Stress memory and its regulation in plants experiencing recurrent drought conditions. *Theoretical and Applied Genetics* 136, 26. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.003>
- Kinoshita, T., ve Seki, M. (2014). Epigenetic memory for stress response and adaptation in plants. *Plant and Cell Physiology* 55, 1859-1863. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu125>
- Lämke, J., ve Bäurle, I. (2017). Epigenetic and chromatin-based mechanisms in environmental stress adaptation and stress memory in plants. *Genome Biology* 18, 124. <https://doi.org/10.1186/s13059-017-1263-6>
- Li, X., ve Liu, F. (2016). Drought stress memory and drought stress tolerance in plants, biochemical and molecular basis. In, *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1, Physiology and Biochemistry*. Springer, pp 17-44. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_2
- Liu, J., He, Z. (2020). Small DNA methylation, big player in plant abiotic stress responses and memory. *Frontiers in Plant Science* 11,595603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.595603>
- Lukić, N., Kukavica, B., Davidović-Plavšić, B., Hasanagić, D., ve Walter, J. (2020). Plant stress memory is linked to high levels of anti-oxidative enzymes over several weeks. *Environmental and Experimental Botany* 178, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104166>
- Mendanha, T., Rosenqvist, E., Nordentoft Hyldgaard, B., Doonan, J. H., ve Ottosen, C. O. (2020). Drought priming effects on alleviating the photosynthetic limitations of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) with contrasting tolerance to abiotic stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206, 651-664. <https://doi.org/10.1111/jac.12404>
- Molinier, J., Ries, G., Zipfel, C., ve Hohn, B. (2006). Transgeneration memory of stress in plants. *Nature* 442, 1046-1049. <https://doi.org/10.1038/nature05022>
- Moore, K. J., Lenssen, A. W., ve Fales, S. L. (2020). Factors affecting forage quality. *Forages: The science of Grassland Agriculture*, 2, 701-717. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>

- Mozgova, I., Mikulski, P., Pecinka, A., Farrona, S. (2019). Epigenetic Mechanisms of Abiotic Stress Response and Memory in Plants. In: Alvarez-Venegas, R., De-la-Peña, C., Casas-Mollano, J. (eds) Epigenetics in Plants of Agronomic Importance: Fundamentals and Applications. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14760-0_1
- Mukherjee, S., Mishra, A., ve Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought, a perspective on drought indices. Current Climate Change Reports 4, 145-163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>
- Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Rees, D. J. G., ve Tsilo, T. J. (2017). Genome-wide association analysis of agronomic traits in wheat under drought-stressed and non-stressed conditions. PloS One 12, e0171692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171692>
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., ve Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. Water stress and crop plants, A sustainable approach 1, 24-40.
- Ru, C., Hu, X., Chen, D., Wang, W., ve Song, T. (2022). Heat and drought priming induce tolerance to subsequent heat and drought stress by regulating leaf photosynthesis, root morphology, and antioxidant defense in maize seedlings. Environmental and Experimental Botany 202, 105010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105010>
- Ruwanza, S., Thondhlana, G., ve Falayi, M. (2022). Research progress and conceptual insights on drought impacts and responses among smallholder farmers in South Africa, a review. Land 11, 159. <https://doi.org/10.3390/land11020159>
- Sadhukhan, A., Prasad, S. S., Mitra, J., Siddiqui, N., Sahoo, L., Kobayashi, Y., ve Koyama, H. (2022). How do plants remember drought? Planta 256, 7. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03924-0>
- Sarıkaya, A. (2024). Kuraklık ön uygulamasının kuraklık stresi altındaki yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.)’nde morfolojik ve fizyolojik özelliklere etkisi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Shahzad, M. A., Jan, S. U., Afzal, F., Khalid, M., Gul, A., Sharma, I., Sofo, A., ve Ahmad, P. (2016). Drought stress and morphophysiological responses

- in plants. Water stress and crop plants, A sustainable approach 2,452-467. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch27>
- Staniak, M. (2016). The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica* 69. <http://dx.doi.org/10.5586/aa.1663>
- Sun, M., Yang, Z., Liu, L., ve Duan, L. (2022). DNA methylation in plant responses and adaption to abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences* 23, 6910. <https://doi.org/10.3390/ijms23136910>
- Tiwari, R. K., Lal, M. K., Kumar, R., Chourasia, K. N., Naga, K.C., Kumar, D., Das, S. K., ve Zinta, G. (2021). Mechanistic insights on melatonin-mediated drought stress mitigation in plants. *Physiologia Plantarum* 172, 1212-1226. <https://doi.org/10.1111/ppl.13307>
- Tombesi, S., Frioni, T., Poni, S., ve Palliotti, A. (2018). Effect of water stress “memory” on plant behavior during subsequent drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 150, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.009>
- Turgut Kara, N., Arikan, B., ve Celik, H. (2020). Epigenetic memory and priming in plants. *Genetica* 148,47-54. <https://doi.org/10.1007/s10709-020-00093-4>
- Ventouris, Y. E., Tani, E., Avramidou, E. V., Abraham, E. M., Chorianopoulou, S. N., Vlachostergios, D.N., Papadopoulos, G., ve Kapazoglou, A. (2020). Recurrent water deficit and epigenetic memory in *Medicago sativa* L. varieties. *Applied Sciences* 10, 3110. <https://doi.org/10.3390/app10093110>
- Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M.H., Ali B., Ullah, S., Shah, W., Mumtaz, S., Yasin, G., Muresan, C. C., ve Marc, R. A. (2022). Plants’ physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress, a comprehensive review. *Plants* 11, 1620. <https://doi.org/10.3390/plants11131620>
- Wojtyła, Ł., Paluch-Lubawa, E., Sobieszczuk-Nowicka, E., ve Garnczarska, M. (2020) Drought stress memory and subsequent drought stress tolerance in plants. In, *Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants*. Elsevier, pp 115-131. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817892-8.00007-6>

- Zandkarimi, H., Ebadi, A., Salami, S. A., Alizade, H., ve Baisakh, N. (2015). Analyzing the expression profile of AREB/ABF and DREB/CBF genes under drought and salinity stresses in grape (*Vitis vinifera* L.). PloS one 10, e0134288. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134288>
- Zhang, C., Shi, S., Wang, B., ve Zhao, J. (2018). Physiological and biochemical changes in different drought-tolerant alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties under PEG-induced drought stress. Acta Physiologiae Plantarum, 40, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2597-0>
- Zhang, X., Xu, Y., ve Huang, B. (2019). Lipidomic reprogramming associated with drought stress priming-enhanced heat tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea*). Plant, Cell & Environment, 42, 947-958. <https://doi.org/10.1111/pce.13405>



ISBN: 978-625-378-384-6