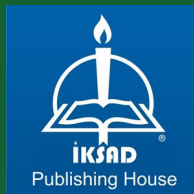




ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER

Öğr. Gör. Dr. Veysel AYDIN
Doç. Dr. Adem YILMAZ



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER

Öğr. Gör. Dr. Veysel AYDIN

Doç. Dr. Adem YILMAZ

YAZARLAR

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN

Prof. Dr. Halil DEMİR

Prof. Dr. İbrahim TAPKI

Prof. Dr. Mehmet ÖTEN

Prof. Dr. Zeki MUT

Doç. Dr. Faika YARALI KARAKAN

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ

Doç. Dr. Nuran TAPKI

Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE

Doç. Dr. Yusuf ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİRKA

Arş. Gör. Berna ERGUN ÇETİN

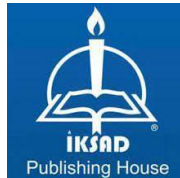
Arş. Gör. Ömer ÖNEL

Ahmet BAŞAR

Fatih ŞU

İsmail SAKA

Ömer Sami SARI



Copyright © 2025 by iksad publishing house

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

Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-393-8

Cover Design: İbrahim KAYA

November / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

BÖLÜM 1

ORGANİK TARIMDA NEMATODLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Doç. Dr. Yusuf ÇELİK

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN.....	3
---------------------------------	---

BÖLÜM 2

BUĞDAY KEPEĞİ VE SAĞLIK

Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE

Prof. Dr. Zeki MUT

Ahmet BAŞAR

İsmail SAKA.....	19
------------------	----

BÖLÜM 3

Melissa officinalis L. subsp. *officinalis* ÜZERİNE DERLEME: EKOLOJİK POTANSİYELİ, ETKEN MADDELERİ VE TARIMSAL GELECEĞİ

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ.....	43
---------------------------------	----

BÖLÜM 4

TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA TAVUK YUMURTASI ÜRETİM VE DIŞ TİCARETİNİN MEVCUT DURUMU VE YILLARA GÖRE DEĞİŞİMİ

Doç. Dr. Nuran TAPKI

Prof. Dr. İbrahim TAPKI.....	71
------------------------------	----

BÖLÜM 5

SAĞLIĞI DESTEKLEYEN BİR TAHİL OLARAK ARPA (*Hordeum vulgare* L.) VE BESİN BİLEŞİMİ

Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE

Prof. Dr. Zeki MUT

Ömer Sami SARI

Fatih ŞU.....99

BÖLÜM 6

SERADA SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN ÖNEMİ VE UYGULAMALARI

Prof. Dr. Halil DEMİR

Arş. Gör. Ömer ÖNEL.....119

BÖLÜM 7

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.)'UN ÖNEMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDAKİ ROLÜ

Prof. Dr. Mehmet ÖTEN.....151

BÖLÜM 8

TUZLULUĞUN TARIMSAL ÜRÜN KALİTESİ VE VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇIRKA.....179

BÖLÜM 9

TOPRAK ALTI AKSAMI TÜKETİLEN SEBZELERDE TUZ STRESİNİN MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ETKİLERİ

Arş. Gör. Berna ERGUN ÇETİN

Doç. Dr. Faika YARALI KARAKAN.....199

ÖNSÖZ

Tarımsal üretim, insanlığın varoluşundan bu yana ekonomik, sosyal ve kültürel yaşamın en temel unsurlarından biri olmuştur. Günümüzde hızla artan dünya nüfusu, iklim değişikliğinin etkileri, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına ilişkin küresel kaygılar ve gıda güvenliği ihtiyacı, tarım sektörünün stratejik önemini her zamankinden daha görünür hale getirmektedir. Bu bağlamda modern tarım anlayışı; bilimsel bilgiye dayalı üretim tekniklerini, ileri teknoloji kullanımını, çevresel duyarlılığı ve verimlilik odaklı yönetim modellerini içeren bütüncül bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elinizdeki bu eser, tarımsal üretimin çok boyutlu yapısını bilimsel bir perspektifle ele almak amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta, bitkisel ve hayvansal üretim tekniklerinden sürdürülebilir tarım uygulamalarına; toprak ve su yönetiminden tarım ekonomisi, bitki sağlığı, tarım teknolojileri ve tesis yönetimine kadar uzanan geniş bir yelpazede güncel bilgiler sunulmaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm yazarlarımıza, değerli bilgi birikimlerini ve deneyimlerini okuyucularla paylaşma konusundaki özverileri için teşekkür ederiz. Ayrıca teknik süreçlerde destek veren tüm meslektaşlarımıza ve yayınevi ekibine teşekkürü borç biliriz.

Son olarak, bu kitabın tarımsal üretim alanında yürütülecek araştırmalara, akademik çalışmalara ve pratik uygulamalara değerli katkılar sunmasını temenni eder; okuyucularımıza verimli bir okuma süreci dileriz.

Editörler

Öğr. Gör. Dr. Veysel AYDIN¹

Doç. Dr. Adem YILMAZ²

¹ Batman Üniversitesi, Sason MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü
ORCID: 0000-0001-9496-7711, E-mail: zmveysel@gmail.com

² Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği
ORCID:0000-0001-7266-0866, E-mail: adem0306@gmail.com

BÖLÜM 1

ORGANİK TARIMDA NEMATODLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Doç. Dr. Yusuf ÇELİK¹

Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17679518>

¹ Mersin.... Üniversitesi, Silifke Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Mersin, Türkiye, ycelik33@mersin.edu.tr, orcid id: 0000-0002-8590-6690

² Mersin.... Üniversitesi, Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Mersin Üniversitesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Mersin, Türkiye aozarslandan@mersin.edu.tr, orcid id: 0000-0001-7129-8543

1. GİRİŞ

Uluslararası Organik Tarım Hareketleri Federasyonu'nun 2008 Genel kurulunda organik tarım; toprak, ekosistem ve insan sağlığını koruyan, kimyasal girdiler yerine ekolojik süreçlere biyolojik çeşitliliğe ve doğal döngülere dayalı bir üretim sistemi olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, çevreye katkı sağlamayı, adil ilişkiler geliştirmeyi ve yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemektedir. Günümüzde organik tarım, yalnızca sertifikalı üretimi değil bu ilkelere dayalı sürdürülebilir sistemleri kapsamaktadır. 2022 yılı itibariyle dünya genelinde organik tarım, 188 ülkede uygulanmakta olup, bu alanda 4,5 milyon üretici faaliyet göstermektedir. Toplamda 96,4 milyon hektar tarım alanı organik yöntemlerle yönetilmektedir (Willer ve ark., 2024). Organik tarım, toprak ve su kaynaklarını koruyarak ekosistem dengesini ve biyolojik çeşitliliği sürdürür. Ayrıca sera gazı salınımını azaltarak iklim değişikliğine karşı katkı sağlar (Gamage ve ark., 2023). Kalifornia Üniversitesi, Davis'te yapılan araştırmalar, organik yöntemlerle üretilen gıdaların geleneksel yöntemlerle yetiştirilen gıdalara göre yaklaşık %58 daha fazla polifenolik (antioksidan) içerdiğini göstermiştir. Bu durum, bitkilerin doğal savunma mekanizmalarının organik üretim sistemlerinde daha etkin çalıştığını ortaya koymaktadır. Organik tarımda kullanılan doğal gübre ve kompostlar, fosil yakıt tüketimini ve kimyasal gübre kaynaklı çevresel zararları azaltır. Aynı zamanda tüketici güvenini artırarak kırsal ekonomiyi destekler. Organik tarım, Birleşmiş Milletler' in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında gıda güvenliği, çevre koruma ve sağlıklı yaşam hedeflerine doğrudan katkı sağlar (Linderhof ve ark., 2021). Organik tarımın sağladığı çevresel ve ekonomik faydalar, sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, tarımsal üretimde karşılaşılan biyotik stres faktörleri, özellikle toprak kökenli zararlılar, organik sistemlerin verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu zararlılar arasında nematodlar, hem kök gelişimini hem de bitki besin maddesi alımını olumsuz yönde etkileyerek önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Bu nedenle, nematodların tanımlanması ve etkili mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşır.

Nematodlar, dünyadaki en eski ve en çeşitli organizma gruplarından biridir. Bugüne kadar 30.000'den fazla türü tanımlanmıştır (Mandal ve ark., 2021). Toprak gözeneklerinde yaşayarak farklı iklim ve ekosistemlerde bulunabilen, küçük, şeffaf, solucan benzeri ve çok hücreli organizmalardır

Bolluk açısından değerlendirildiğinde, nematodlar çok hücreli organizmalar arasında en büyük grubu oluşturur. Orta verimli bir toprağın ilk 30 m'lik kısmında yaklaşık 50 milyon nematod bulunabileceği raporlanmıştır. Nathan Augustus Cobb'un şu sözü nematodların ekosistemdeki önemini çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır; “Eğer evrendeki tüm madde nematodlar dışında yok edilseydi, dünyamız yine de silik biçimde tanınabilirdi” Cobb'un bu ifadesi, nematodların görünmez fakat hayati derecede önemli bir ekolojik konumda olduklarını göstermektedir (Mandal ve ark., 2021).

Nematodların ekosistem işlevlerindeki çeşitliliğine rağmen, tarımsal üretim açısından en kritik grubu bitki paraziti nematodlar oluşturmaktadır. Bitki parazit nematodların yol açtığı verim ve kalite kayıpları genellikle doğrudan fark edilemez. Etkileri çoğunlukla diğer stres faktörleri arasında gizli kaldığından, nematodların etkin yönetimi ürün verimi ve kalite açısından kritik öneme sahiptir. Geçmişte bitki parazit nematodlarla mücadelede yaygın olarak kullanılan kimyasal nematisitler kısa vadede etkili sonuçlar vermiştir. Bu kimyasalların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ile pestisit kullanımına getirilen kısıtlamalar, sürdürülebilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Dahlin ve Hallmann, 2020). Bu çalışmada organik tarım koşullarında nematodlarla mücadelede kullanılan kültürel, biyolojik ve entegre mücadele yöntemleri ele alınmakta, güncel literatür ışığında yönetim stratejileri anlatılmaktadır.

Nematod zararlarının yönetimi, genellikle ekimden birkaç ay önce başlayan ön uygulama sürecini gerektirir. Organik tarımda nematod yönetimi, kültürel uygulamalar, dayanıklı çeşitlerin kullanımı, biyolojik kontrol ajanlarının kullanılması ve toprak iyileştirme tekniklerine dayalı entegre yaklaşımlarla sağlanmaktadır. Bu stratejiler yalnızca nematod popülasyonlarını baskılamakla kalmaz aynı zamanda toprak sağlığını destekler, agroekosistemin dayanıklılığını artırır ve ekosistem hizmetlerini güçlendirir.

1.Kültürel Mücadele ile Nematod Yönetimi

Kültürel mücadele nematodların yaşam döngülerini kesintiye uğratarak hayatta kalma ve çoğalma yeteneklerini sınırlamayı amaçlayan çeşitli tarımsal uygulamaları kapsar. Bitki parazit nematodların üretim alanına girişini ve yayılmasını önlemek, etkili ve sürdürülebilir bir mücadele stratejisinin ilk basamağını oluşturur. Nematodların doğal hareket kabiliyeti genellikle toprak

içinde birkaç santimetre ile sınırlıdır (Perry ve Moens, 2013). Bu nedenle geniş alanlara yayılmaları çoğunlukla insan faaliyetleri sonucu gerçekleşir. Özellikle enfekte olmuş fide, fidan, tohum, tarım ekipmanları, sulama suyu ve toprak materyalleri nematodların en önemli yayılma yolları arasında yer almaktadır. Organik tarım sistemlerinde kimyasal nematosisitlerin kullanımının kısıtlı olması, sanitasyon ve hijyen önlemlerini daha da kritik hale getirmektedir. Bu sebeple yalnızca nematodlardan arındırılmış ve sertifikalı fide, fidan ve tohum materyallerinin kullanılması önerilmektedir (McSorley, 2011). Ayrıca ekim ve dikimde kullanılan alet makine ve ekipmanların düzenli olarak temizlenmesi, dezenfekte edilmesi tavsiye edilmektedir. Mümkünse farklı üretim alanları arasında taşınmaması büyük önem taşır. Özellikle sera koşullarında aynı ekipmanların farklı parsellerde kullanılması, nematodların hızlı bir şekilde yayılmasına yol açabilmektedir (Stirling, 2014). Tarım aletlerinin ve sulama ekipmanlarının düzenli dezenfeksiyonunun, kist nematodlarının (*Heterodera* spp.) yayılmasını önlediğini ve toprak bulaşını minimize ettiğini raporlamıştır. Hijyen önlemlerinin entegrasyonu ile uygulanan biyolojik ve kültürel yöntemlerin, tropikal tarım sistemlerinde nematod popülasyonlarını anlamlı derecede baskıladığını açıklamıştır (Coyne ve ark., 2018). Ayrıca tarım alanlarına giriş yapan işçilerin kullandığı ayakkabı, eldiven ve diğer malzemelerin temizliği de dikkate alınmalıdır. Yapılan çalışmalar, ayakkabı ve ekipmanlara yapışan küçük toprak parçacıklarının bile canlı nematodları kolayca taşıyabileceğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle yoğun üretim yapılan alanlarda biyogüvenlik protokollerinin uygulanması ve tarla giriş çıkışlarının kontrol altına alınması nematod yönetimi açısından kritik uygulamalardır. Sanitasyon ve hijyen önlemleri tek başına nematodları ortadan kaldırmasa da popülasyon yoğunluğunun düşük seviyelerde tutulmasına, yeni alanlara taşınmasının engellenmesine ve diğer biyolojik ve kültürel mücadele yöntemlerinin etkinliğinin artmasına katkı sağlar (Briar ve ark., 2016).

Ekim nöbeti, nematod popülasyonlarını doğal yollarla baskılayan temel kültürel yöntemlerden biridir. Aynı bitki türünün sürekli yetiştirilmesi, zararlı nematodların uygun konakçılara kolayca ulaşmasını sağlayarak popülasyon artışına yol açar. Buna karşın, farklı bitkilerin ardışık olarak yetiştirilmesi, nematodların yaşam döngüsünü kesintiye uğratarak yoğunluklarını azaltır. Bu nedenle ekim nöbetinin etkisi büyük ölçüde rotasyona dahil edilen bitki türlerinin konukçuluk durumuna bağlıdır. Nematodların konukçuluk

ilişkilerine dayalı bu mekanizma, özellikle yeşil gübre bitkilerinin kullanımıyla desteklendiğinde daha da etkin hale gelmektedir. Konukçu olmayan bitkilerin rotasyona dahil edilmesi, nematodların beslenme ve çoğalma olanaklarını kısıtlayarak popülasyonların doğal olarak düşmesini sağlar. Tropikal koşullarda yapılan bir çalışmada, yeşil gübre bitkilerinin (*Tithonia diversifolia*, *Desmodium uncinatum*, *Tagetes minuta*, *Leucana leucocephala* ve *Crotalaria juncea*) fasulye ile ekim nöbetinde kullanılmasının *Meloidogyne* spp. popülasyonlarını %80'e kadar azalttığı ve ürün verimini arttırdığı bildirilmiştir. Buna karşın, duyarlı türlerle yapılan ekim nöbetlerinde nematod popülasyonlarında %600'e kadar artış gözlenmiştir (Kimenju ve ark., 2008). Konukçu olmayan bitkilerin dahil edildiği rotasyon sistemleri, kist nematodları (*Heterodera* spp.) üzerinde baskı oluşturmakta ve toprak sağlığını iyileştirmektedir. Bu bulgular, ekim nöbetinin yalnızca nematod popülasyonlarını azaltmanın yanı sıra ürün verimliliği ve sürdürülebilirliği desteklediğini göstermektedir. Machal, *Heterodera avenae*'nın (tahıl kist nematodu) havuç, çemen ve nohut gibi bitkilerle gerçekleştirilen ürün rotasyonu uygulamalarıyla etkili bir şekilde yönetilebileceğini bildirmiştir (Machal, 2023). Dolayısıyla uygun bitki seçimiyle desteklenen rotasyon sistemleri organik tarımda nematod baskılanmasında etkili kültürel yöntemlerden biridir. Dayanıklı veya toleranslı bitki çeşitlerinin kullanımı nematod zararlılığına karşı etkili bir önleme yöntemidir. Bu çeşitler, *Meloidogyne* spp., *Heterodera* spp. ve *Pratylenchus* spp. gibi ekonomik öneme sahip türlere karşı direnç göstererek bitki gelişimini korur (Starr ve ark., 2007). Ekim nöbeti ve dayanıklı çeşitlerin birlikte uygulanması organik tarımda nematod yönetiminin önemli bir bileşenidir. Bu bütünsel yaklaşım hem zararlı popülasyonlarının baskılanmasına hem de ürün verimi ve kalitesinin korunmasına katkıda bulunarak, sürdürülebilir tarımsal üretim hedefleriyle uyumlu bir çözüm sunmaktadır. Toprak işleme, toprak tabakalarını havalandırarak ve güneş ışığına maruz bırakarak nematod popülasyonlarının azalmasını sağlar. Nem bağımlı nematodlar, yüzeydeki kuruma nedeniyle ölürken, derin tabakalara çekilen bireylerde etkinlik azalır. Derin sürüm, kök-ur nematodlarının juvenil evrelerini yüzeye çıkararak çevresel strese ve doğal düşmanlara maruz bırakır (McSorley, 2011). Araştırmalar, farklı toprak işleme sistemlerinin nematod toplulukları üzerindeki etkilerini detaylı olarak göstermektedir. Lenz ve Eisenbeis farklı toprak işleme sistemlerinin nematod

topluluk yapısını önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir. İlk işlem sonrası toplam nematod yoğunluğunun azaldığını, sonraki işlemler ise topluluk yapısını hem taksonomik hem de trofik düzeyde değiştirdiğini açıklamışlardır. Benzer şekilde, Treonis ve arkadaşları organik düzenleme ve toprak işlemenin toprak besin ağı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Bulgulara göre, organik madde uygulaması, mikrobiyal biyokütle ile serbest yaşayan nematod yoğunluğunu arttırırken, toprak işleme bitki parazit nematodların bolluğunu azalttığı raporlanmıştır (Treonis ve ark., 2010).

Toprak sağlığının korunması, organik tarımda nematod yönetiminin temel unsurudur. İyi yapılandırılmış toprak, kök bölgesinde biyolojik aktiviteyi arttırarak besin alımını kolaylaştırır ve bitkilerin stres toleransını yükseltir. Bu durum nematodların zararlı etkilerinin azalmasına katkı sağlar (Oka, 2010). Toprak sağlığı organik tarım sistemlerinde hem bitki gelişimini destekleyen hem de zararlı popülasyonlarını sınırlayan merkezi bir rol oynar. Kompost, çiftlik gübresi ve yeşil gübre gibi organik materyaller, toprak mikrobiyal çeşitliliğini arttırarak nematodları baskılayan antagonistik mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik eder. Zenginleşen mikrobiyal topluluklar, kök-düğüm ve kist nematodları gibi türlerin popülasyonlarını sınırlandırarak bitkilerin daha dirençli bir ortamda gelişmesini sağlar. Ayrıca organik maddeler, kök bölgesinde fiziksel ve kimyasal iyileşme oluşturarak nematodların hareketini kısıtlar ve bitki köklerinin sağlıklı gelişimini destekler (Oka, 2010). Neem, karanj, mahua, hint yağı bitkisi küspelerinin toprağa uygulanmasıyla parçalanma sürecinde açığa çıkan amonyağın nematodlar için öldürücü etki gösterdiği bildirilmiştir. Benzer şekilde, Oka ve Yermiyahu komposttan salınan amonyak konsantrasyonlarının, Meloidogyne javanica popülasyonlarını baskılayacak düzeylerin üzerinde olduğunu rapor etmiştir (Oka ve Yermiyahu, 2002). Hardal, neemi karanj, mahua ve yer fıstığı küspeleri gibi organik materyaller, farklı bitki parazit nematod türlerinin baskılanmasında etkili olmuştur. Keçi, sığır, tavuk gübresi ile kemik ve boynuz ununun toprağa uygulanması kök-ur nematodu popülasyonlarını azaltmıştır (Alam, 1989).

Toprak iyileştirme ve organik madde uygulamalarının etkileri yalnızca nematod baskısıyla sınırlı kalmaz. Kompost ve bitki artıkları uygulamasının nematod popülasyonlarını azalttığını toprak yapısı ve su tutma kapasitesini iyileştirerek bitki stresini hafiflettiğini belirtmiştir (McSorley, 2011). Ayrıca

baklagil bitkilerinin ekimi, nematod yoğunluğunu azaltırken, atmosferik azot fiksasyonu yoluyla toprak verimliliğini arttırmaktadır (Ferraz ve Freitas, 2004).

Sonuç olarak toprak iyileştirme ve organik madde uygulamaları, nematod yönetiminde sürdürülebilir ve çevre dostu bir araçtır. Bu uygulamalar zararlı popülasyonlarını baskılayanın yanı sıra bitki beslenmesini ve kök gelişimini destekleyerek agroekosistemin genel dayanıklılığını artırır. Organik tarımda bitki paraziti nematodların yönetiminde enfekte bitki artıklarının uygun şekilde yönetimi, topraktaki nematod popülasyonunun kontrolünde önemli bir role sahiptir. Enfekte bitki artıkları, nematodların yumurta ve juvenil evrelerini barındırarak bir sonraki sezon için inokulum kaynağı oluşturur. Bu nedenle, bitki artıklarının doğru bir şekilde işlenmemesi, bitki parazit nematodlarının baskısını arttırabilir ve ürün veriminde kayıplara yol açabilir. Nematodlar uzun süre toprakta varlığını sürdürebilen zararlılardır ve bir kez yerleştiklerinde tamamen ortadan kaldırılmaları mümkün değildir. Bu sebeple bitki artığı yönetimi, nematodların yaşam döngüsünü kırmak ve sonraki üretim dönemlerinde popülasyon yoğunluğunu azaltmak açısından temel bir önlemdir. Hasadın ardından yabancı otların ve önceki ürün artıklarının tarladan uzaklaştırılması, sonraki üretim dönemlerinde nematod popülasyonlarının azalmasına katkı sağlar. Bitki artıklarının yönetiminde temel stratejiler arasında mekanik imha, kompostlama ve uygun uzaklaştırma yöntemleri yer almaktadır. Mekanik yöntemler, enfekte bitkilerin kesilmesi ve toprağın yüzeyinden uzaklaştırılmasıyla nematodların çoğalmasını sınırlar (McSorlay, 2011). Ayrıca, enfekte bitki artıklarının toprakla karıştırılmadan uzaklaştırılması veya yakılması, nematodların toprak içindeki yeniden enfestasyon riskini azaltır (Bridge, 1996). Bu uygulamalar, hem toprak sağlığının korunmasına katkı sağlar hem de bitkilerin büyüme ve gelişimini destekleyerek nematodların zararlı etkilerini minimize eder. Toprak solarizasyonu, polietilen örtüyle toprağın yüzeyinin kaplanması yoluyla toprak kökenli patojenlerin, yabancı otların ve diğer zararlıların kontrolünü sağlayan çevre dostu bir yöntemdir. İlk kez 1976 yılında toprak kökenli patojenlerin ve yabancı otların kontrolü amacıyla ekim öncesi bir toprak dezenfeksiyon yöntemi olarak tanımlanmıştır. Bu tarihten itibaren özellikle metil bromür gibi kimyasal fumigantların yerine kullanılabilecek çevre dostu bir alternatif olarak önem kazanmıştır (Katan ve ark., 1976).

2. Biyolojik Mücadele ile Nematod Yönetimi

Bitki paraziti nematodların, bakteriler, mantarlar, yırtıcı nematodlar veya diğer omurgasızlar aracılığıyla kontrol edilmesine biyolojik kontrol denir. Organik tarımda bu yaklaşım kimyasal yöntemlere çevre dostu bir alternatif sunar ve sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biridir. Doğal düşmanlar ve antagonistik mikroorganizmalar, nematod popülasyonlarını sınırlar ve bitkilerin sağlıklı gelişimini destekler (Timper, 2014). Biyolojik ajanlar nematodlara farklı mekanizmalarla etki ederler (McSorley, 2011). Bunlar nematodları parazitlik yapma, toksin, antibiyotik veya enzim üretmek, nematod-bitki konak tanımasını engellemek, besinler için rekabete girmek, bitkilerde sistemik direnci indüklemek ve bitki sağlığını teşvik etmek gibi mekanizmalardır (Siddiqui ve Mahmood, 1999). Toprakta doğal olarak bulunan *Pasteuria* spp. bakterileri bitki paraziti nematodlara karşı etkili biyolojik ajanlardır. Tütün bitkisi üzerinde yürüttüğü yedi yıllık çalışmada, *Pasteuria penetrans*'ın *Meloidogyne incognita* ve *Meloidogyne javanica* türlerini etkili bir şekilde baskılayabildiğini ortaya koymuştur (Weibelzahl-Fulton, 1996). Diğer etkili bakteriler arasında *Bacillus subtilis*, *Bacillus sphaericus* ve *Pseudomonas fluorescens* yer alır. Bu türler bitki parazit nematodların gelişimini sınırlar. *Pasteuria*, *Pseudomonas* ve *Bacillus* gibi bazı bakteri cinslerine ait türlerin nematodların biyolojik kontrolünde büyük potansiyel taşıdığı bildirmiştir (Meyer, 2003). Sera koşullarında domates köklerinden izole ettikleri endofitik bakterileri test etmiş ve 181 bakteri suşundan 21'inin *Meloidogyne incognita*'ya karşı antagonistik etki gösterdiğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte patates kök bölgesinde *Pratylenchus penetrans* (kök lezyon nematodu)'a karşı etkili bazı bakteriyel türler de tespit edilmiştir. Bu türlerden *Microbacterium esterhazyi* ve *Kurthia varians*, bitki veriminde herhangi bir azalma oluşturmada konukçu köklerinde nematod çoğalmasını baskılayarak popülasyonu azaltmıştır (Munif ve ark.,2000).

Nematodların biyolojik kontrolünde potansiyel gösteren 700'ün üzerinde nematofaj mantar türü tanımlanmıştır (Pokhare ve ark., 2024). Nematodların biyokontrolünde kullanılan mantarlar, nematod yakalayan, yumurta paraziti ve toksin üreten mantarlar olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. En önemli yumurta paraziti mantarlar arasında *Purpureocillium lilacinum*, *Poshonia chlamydosporia*, *Dactylhella oviparasitica*, *Nematophthora gynophila* ve *Cladosporium oxysporum* yer almaktadır (Neog ve Barura, 2023).

Purpureocillium lilacinum, hedef nematodun ikinci dönem larvalarını parazitlemekte ve yumurtaların açılmasını engelleyen serin proteaz tipi bir toksin üretmektedir. Yumurtaların parazitlemesi ile birlikte salgılanan kitinaz enzimi, yumurta kabuğunun parçalanmasını sağlar. Ardından mantar miselleri kabuktan çıkarak konidyan zincirleri oluşturmaktadır. Tarla koşullarında yapılan araştırmalar, nematod yumurtası paraziti olan *Purpureocillium lilacinum* mantarının *Meloidogyne incognita* popülasyonlarını baskılamada etkili olduğunu ortaya koymuştur (Machal, 2023). Bu mantarların domates bitkilerinde *Meloidogyne incognita*'yı başarıyla kontrol ettiğini bildirmiştir. Patates bitkilerinde yürüttükleri çalışmalarda *Purpureocillium lilacinum*' un nematod baskılanmasında yüksek etkinlik gösterdiğini rapor etmişlerdir (Chu ve Jatala, 1980). *Trichoderma harzianum*'un domates bitkisinde jasmonik asit ve salisilik asit ile düzenlenen savunma yollarını uyararak, *Meloidogyne incognita*'ya karşı direnç gelişmesini sağladığı açıklanmıştır (Zhang ve ark., 2020). Moo-Koh ve arkadaşları ise araştırmalarında *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma ghanense* ve *Trichoderma virens* türlerinin, domates bitkilerinde *Meloidogyne incognita* ve *Meloidogyne javanica*'nın ikinci larva(J2) evresindeki yavrularının %51 ila %100 oranında ölümüne yol açtığını bildirmiştir (Moo-Koh ve ark., 2022). Mikorizal mantarların bitki paraziti nematodlarla karşı antagonistik etkisi doğrudan veya dolaylı yollarla ortaya çıkabilir. Doğrudan etki besin ve alan için rekabet yoluyla gerçekleşirken dolaylı etki bitki toleransının artırılması, bitkide sistemik direnç yanıtının uyarılması, kök salgılarının değiştirilerek rizosfer etkileşimlerinin düzenlenmesi şeklinde sağlanır. Arbusküler Mikorizal Mantar *Glomus mosseae* ve organik gübrenin tek başına veya birlikte uygulanmasının, börülce (*Vigna unguiculata*) bitkisinde kök ur nematodu (*Meloidogyne incognita*) enfeksiyonunu baskılama üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. AMF ve organik gübre uygulamalarının kök ur oluşumunu azalttığını, nematod popülasyonunu düşürdüğünü ve bitki verimini arttırdığını bildirmişlerdir. AMF ile organik gübrenin birlikte uygulanmasının tek başına uygulamalara göre daha etkili bir nematod yönetimi sağladığını raporlamışlardır (Odeyemi ve ark., 2010).

3.Entegre Mücadele ile Nematod Yönetimi

Organik tarımda bitki parazit nematodların sürdürülebilir yönetimi, tek bir yöntemle sağlanamayacak kadar karmaşık ve çok boyutludur. Bu nedenle

Entegre Nematod Yönetimi, farklı kültürel, biyolojik, fiziksel ve genetik stratejilerin bir araya getirilmesini ifade eder. Entegre Nematod Yönetimi, nematod baskısını minimize ederken, toprak sağlığını korur ve ekosistem dengesini destekler. Entegre Nematod Yönetimi'nin temel bileşenleri arasında sanitasyon ve hijyen önlemleri, toprak iyileştirme ve organik madde uygulamaları, biyolojik mücadele ve bitkisel nematisitler, örtü ve tuzak bitkiler, ekim nöbeti, dayanıklı ve toleranslı çeşitlerin kullanımı ile fiziksel yöntemler yer alır. Bu yöntemlerin birlikte uygulanması, nematodların popülasyon dinamiklerini bozarak ekonomik zararları azaltır ve bitki verimliliğini artırır (Coyne ve ark., 2018).

Nematod yönetimi, tek bir yönteme dayanmayan, çok yönlü ve entegre bir yaklaşım gerektirir. Çünkü nematodların topraktan tamamen yok edilmesi pratik olarak mümkün değildir. Bu nedenle temel amaç, nematod popülasyonlarını ekosistemin dengesini bozmadan kontrol altına almak ve ekonomik zarar eşiğinin altına düşürmektir. Entegre Nematod Yönetimi'nin başarısı, her bir uygulamanın doğru zamanlama ve uygun şekilde entegre edilmesine bağlıdır. Örneğin, toprak solarizasyonu ile nematod yoğunluğu önceden düşürüldükten sonra, biyolojik ajanlar ve bitkisel nematisitler kullanıldığında popülasyon baskısı uzun süreli ve sürdürülebilir hale gelir (Schmitt ve Sipes, 1998).

Organik tarım sistemlerinde bitki parazit nematodlar hem verim hem de kalite açısından ciddi ekonomik kayıplara yol açan önemli toprak kökenli zararlılardır. Günümüzde kimyasal nematisitlerin kullanımına getirilen sınırlamalar ve çevresel riskler, üreticileri sürdürülebilir ve çevre dostu mücadele yöntemlerine yönlendirmiştir. Bu bağlamda organik tarımda nematod yönetimi, kültürel uygulamalar, dayanıklı bitki çeşitlerinin kullanımı, biyolojik kontrol ajanları ve toprak iyileştirme stratejilerinden oluşan entegre yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir.

Kültürel yöntemler, ekim nöbeti, sanitasyon ve hijyen önlemleri gibi uygulamalarla nematodların yayılımını engeller ve popülasyon yoğunluğunu düşük seviyelerde tutar. Dayanıklı veya toleranslı bitki çeşitlerinin kullanımı, zararlıların bitki üzerindeki etkilerini minimize ederken, toprak işleme ve organik madde uygulamaları, nematodların yaşam döngüsünü kesintiye uğratarak hem popülasyon baskısı sağlar hem de toprak sağlığını ve kök gelişimini destekler. Toprak solarizasyonu gibi fiziksel yöntemler ise özellikle

yoğun nematod popülasyonlarının kontrolünde etkili, çevre dostu ve uygulaması kolay bir alternatif sunmaktadır. organik tarımda nematod yönetiminde tek bir yöntemin yeterli olmadığını, farklı stratejilerin bir arada ve sistematik olarak uygulanmasının verim ve kaliteyi koruma açısından önemli olduğunu göstermektedir. Entegre nematod yönetimi, sadece zararlı baskısını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda toprak biyolojik çeşitliliğini ve agroekosistemin dayanıklılığını artırır. Bu yaklaşım, organik üretim sistemlerinde sürdürülebilir tarım hedeflerine uyumlu, çevre dostu ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır.

Sonuç olarak, organik tarımda nematodlarla mücadelede başarı, sistematik planlama, doğru bitki rotasyonu, dayanıklı çeşitlerin seçimi ve toprak sağlığını destekleyen bütüncül uygulamalarla mümkün olmaktadır. Bu sayede hem ürün verim ve kalitesi güvence altına alınmakta hem de ekosistem hizmetleri ve uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirlik desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Alam, M. M. (1989). Control of root-knot and stunt nematodes with horn meal, bone meal and oil seed cakes. *Indian J. Nematol.*, 19, 166-70.
- Briar, S. S., Wichman, D., & Reddy, G. V. (2016). Plant-parasitic nematode problems in organic agriculture. In *Organic farming for sustainable agriculture* (pp. 107-122). Cham: Springer International Publishing.
- Bridge, J. (1996). Nematode management in sustainable and subsistence agriculture. *Annual review of Phytopathology*, 34(1), 201-225.
- Chu, D., & Jatala, P. (1980). Potencial de *Paecilomyces lilacinus* como un controlador biologico de *Phthorimaea operculella*.
- Coyne, D. L., Cortada, L., Dalzell, J. J., Claudius-Cole, A. O., Haukeland, S., Luambano, N., & Talwana, H. (2018). Plant-parasitic nematodes and food security in Sub-Saharan Africa. *Annual review of phytopathology*, 56(1), 381-403.
- Coyne, D. L., Cortada, L., Dalzell, J. J., Claudius-Cole, A. O., Haukeland, S., Luambano, N., & Talwana, H. (2018). Plant-parasitic nematodes and food security in Sub-Saharan Africa. *Annual review of phytopathology*, 56(1), 381-403.
- Dahlin, P., & Hallmann, J. (2020). New insights on the role of allyl isothiocyanate in controlling the root knot nematode *Meloidogyne hapla*. *Plants*, 9(5), 603.
- Ferraz, S., & Freitas, L. D. (2004). Use of antagonistic plants and natural products.
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005.
- Katan, J. A. A. C. O. V. (1987). Soil solarization. *Innovative approaches to plant disease control*, 1, 77-105.
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., & Grinstein, A. (1976). Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*®, 115(8V), 683-688.
- Kimenju, J. W., Kagundu, A. M., Nderitu, J. H., Mambala, F., Mutua, G. K., & Kariuki, G. M. (2008). Incorporation of green manure plants into bean

- cropping systems contribute to root-knot nematode suppression. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(4), 404-408.
- Linderhof, V., De Lange, T., & Reinhard, S. (2021). The dilemmas of water quality and food security interactions in low-and middle-income countries. *Frontiers in Water*, 3, 736760.
- Machal, M. Nematode Management for Organic Farming.
- Mandal, H. R., Katel, S., Subedi, S., & Shrestha, J. (2021). Plant parasitic nematodes and their management in crop production: a review. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(2), 327-338.
- Mcsorley, R. (2011). Overview of organic amendments for management of plant-parasitic nematodes, with case studies from Florida. *Journal of nematology*, 43(2), 69.
- Meyer, S. L. (2003). United States Department of Agriculture—Agricultural Research Service research programs on microbes for management of plant-parasitic nematodes. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 59(6-7), 665-670.
- Moo-Koh, F. A., Cristóbal-Alejo, J., Andrés, M. F., Martín, J., Reyes, F., Tun-Suárez, J. M., & Gamboa-Angulo, M. (2022). In vitro assessment of organic and residual fractions of nematicidal culture filtrates from thirteen tropical *Trichoderma* strains and metabolic profiles of most-active. *Journal of Fungi*, 8(1), 82.
- Munif, A., Hallmann, J., & Sikora, R. A. (2000). Evaluation of the biocontrol activity of endophytic bacteria from tomato against *Meloidogyne incognita*.
- Neog, P. P., & Barua, P. Strategies For Managemnt Of Plant Parasitic Nematodes In Organic Farming. *Recent Trends In Agricultural And Horticultural Sciences*.
- Odeyemi, I. S., Afolami, S. O., & Daramola, F. Y. (2010). Screen house and field investigations of arbuscular mycorrhiza and organic fertilizer for the control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting cowpea in south western, Nigeria. *Journal of Agricultural Science and Environment*, 10(1), 42-52.
- Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 101-115.

- Oka, Y., & Yermiyahu, U. (2002). Suppressive effects of composts against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on tomato. *Nematology*, 4(8), 891-898.
- Perry, R. N., & Moens, M. (2013). Plant nematology (No. Ed. 2, pp. xxi+-542).
- Pokhare, S. S., Mhatre, P. H., Manjunatha, N., Patil, D., & Agarrwal, R. (2024). Fungal Biocontrol Agents for Nematode Management in Organic Agriculture. In *Sustainable Management of Nematodes in Agriculture*, Vol. 2: Role of Microbes-Assisted Strategies (pp. 183-206). Cham: Springer International Publishing.
- Schmitt, D. P., & Sipes, B. S. (1998). Plant-parasitic nematodes and their management.
- Siddiqui, I. A., & Shaukat, S. S. (2003). Suppression of root-knot disease by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in tomato: importance of bacterial secondary metabolite, 2, 4-diacetylphloroglucinol. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12), 1615-1623.
- Starr, J. L., Koenning, S. R., Kirkpatrick, T. L., Robinson, A. F., Roberts, P. A., & Nichols, R. L. (2007). The future of nematode management in cotton. *Journal of Nematology*, 39(4), 283.
- Stirling, G. R. (2014). *Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture*. Cabi.
- Timper, P. (2014). Conserving and enhancing biological control of nematodes. *Journal of Nematology*, 46(2), 75.
- Treonis, A. M., Austin, E. E., Buyer, J. S., Maul, J. E., Spicer, L., & Zasada, I. A. (2010). Effects of organic amendment and tillage on soil microorganisms and microfauna. *Applied soil ecology*, 46(1), 103-110.
- Weibelzahl-Fulton, E., Dickson, D. W., & Whitty, E. (1996). Suppression of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* by *Pasteuria penetrans* in field soil. *Journal of Nematology*, 28(1), 43.
- Willer, H., Trávníček, J., & Schlatter, B. (2024). The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2024.
- Zhang, Y., Li, S., Li, H., Wang, R., Zhang, K. Q., & Xu, J. (2020). Fungi–nematode interactions: Diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture. *Journal of Fungi*, 6(4), 206.

BÖLÜM 2

BUĞDAY KEPEĞİ VE SAĞLIK

Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE^{1*}

Prof. Dr. Zeki MUT²

Ahmet BAŞAR³

İsmail SAKA⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17679574>

^{1*}Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye. ozgedoganay.eras@bilecik.edu.tr, orcid id: 0000-0003-0429-3325

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye. zeki.mut@bilecik.edu.tr, orcid id: 0000-0002-1465-3630

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye. basar.ahmet@tarimorman.gov.tr orcid id: 0009-0003-7193-1806

⁴Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye. i.ismailsaka@icloud.com, orcid id: 0009-0001-7676-8898

GİRİŞ

Buğday (*Triticum* spp.) dünyada beş kıtada 100'ün üzerinde ülkede yetiştirilen ve 800 milyon ton üretim ile temel gıda maddesi olarak büyük öneme sahip olan en önemli bitkilerden birisidir. Avrupa, Çin ve Hindistan buğday üretiminin başlıca merkezleri olup, üretim ve üretim alanları dünya çapında sürekli artış göstermektedir (FAO, 2023).

Buğday, insanlar için vazgeçilmez bir gıda kaynağı olmakla birlikte, botanik açıdan buğday türleri, sertlik, renk, şekil ve ekim mevsimlerine (dönemlerine) göre altı ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; sert kırmızı yazlık buğday, sert kırmızı kışlık buğday, yumuşak kırmızı kışlık buğday, sert beyaz buğday, yumuşak beyaz buğday ve makarnalık (durum) buğday olarak sınıflandırılır (Di Lena ve ark., 1997; Manickavasagan ve ark., 2010).

Buğday dünya nüfusunun yaklaşık üçte biri tarafından tüketilmektedir. Bol miktarda protein, mineral, vitamin ve diyet lifi içermesi nedeniyle yüksek besin değeri taşıyan bir tahıl olarak kabul edilmektedir (Onipe ve ark., 2015). Buğday tanesi; %80–85 endosperm, %10–14 kepek ve %2.5–3.0 embriyo içerir (Fardet, 2010). Buğday taneleri, valsli (silindirik) öğütme yöntemiyle rafine un haline getirildiğinde, ana yan ürün olarak buğday kepeği üretilir ve bu ürün, buğday tanelerinin %15–20'sini oluşturur. Dünya genelinde yıllık yaklaşık 150–187 milyon ton arasında buğday kepeği üretilmektedir (Katileviciute ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019). Dünya genelinde önemli miktarda üretilen kepek sürdürülebilir bir kaynak olarak dikkat çeker. Kepek, buğday tanelerinin aleuron katmanı, tohum kabuğu ve dış kabuk gibi farklı yapısal katmanlarından oluşur ve bu katmanlar buğdayın besin değerini belirleyen önemli kısımlardır. Kepek yüksek selüloz, hemiselüloz, lignin ve özütlere içeren zengin bir kimyasal bileşime sahiptir. Ayrıca, onsekiz amino asit ve B vitaminleri, E vitamini, karoten gibi besin öğeleri ile potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyum gibi mineraller yanında özellikle fenolik bileşikler gibi antioksidanlar bakımından da zengindir (Di Lena ve ark., 1997; Balandran-Quintana, ve ark., 2015; USDA, 2020).

Doğru şekilde değerlendirilen tarımsal atıklar, kaynak verimliliğini artırarak ekonomik açıdan değerli yan ürünlerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Buğday kepeği, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir nitelikte önemli bir tarımsal yan ürün olarak öne çıkmaktadır (Katileviciute ve ark., 2019). Bu kepek fraksiyonları, yüksek oranda biyolojik olarak aktif bileşenler

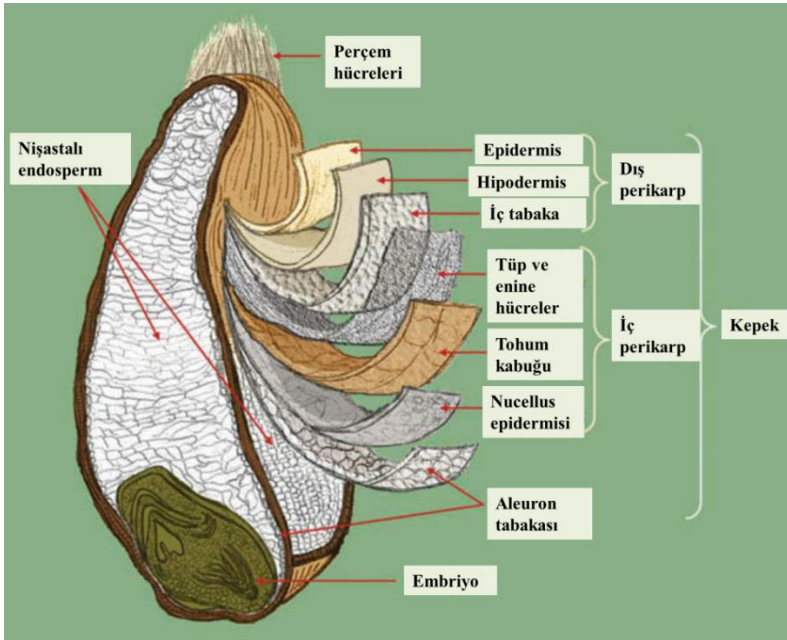
ve yararlı biyokimyasal içerikler barındırmaktadır. Uygun işlemlerle değerlendirilmiş kepek, çeşitli katma değerli gıda ürünlerinin üretiminde kullanılabilir; bu durum küresel açlık, artan gıda talebi ve yetersiz beslenme gibi sorunların hafifletilmesine katkı sağlayabilir (Balandrán-Quintana ve ark., 2015). Ayrıca, beslenme temelli yaklaşımlar aracılığıyla diyabet başta olmak üzere çeşitli kronik hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde de önemli bir potansiyel taşımaktadır. Günümüzde, sağlıklı bireylerin günlük diyetlerinde 30–50 g arasında selüloz alması gerektiği belirtilmektedir (Kosik ve ark., 2017). Ancak birçok ülkede kişilerin günlük lif alımı ciddi şekilde yetersizdir. Bu noktada buğday kepeği, besleyici lif içeriği ile diyet lifi takviyesi sağlayarak vücudun çeşitli fizyolojik işlevlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, epidemiyolojik araştırmalar, lifin kardiyovasküler hastalıklar, metabolik sendrom, tip 2 diyabet ve bazı kanser türlerinin riskini azaltabileceğini göstermektedir (Fung, 2002; Jensen ve ark., 2004; Sayhoun ve ark., 2006; Seal, 2006; de Munter ve ark., 2007). Kepek, buğdayın tam tahıl formunda tüketildiğinde sağlık açısından önemli yararlar sağlayabileceği öne sürülen bir bileşen olup, lifin yalnızca besin değeri değil, aynı zamanda besin biyoyararlanımını da artırma potansiyeline sahiptir. Buğdayın besinsel özelliklerine ek olarak, kepeğin buğdayın diğer bileşenleriyle birlikte değerlendirilmesi, sağlık üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı ve belirgin biçimde ortaya konulmasını sağlamaktadır (Vitaglione ve ark., 2008). Giderek artan sağlık bilinci ve sürdürülebilir beslenme eğilimleri doğrultusunda, buğday kepeği yeniden önem kazanmakta ve zengin diyet lifi içeriği sayesinde işlevsel gıdalarda değerlendirilebilecek potansiyel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Buğday Kepeğinin Kimyasal Bileşimi

Buğday kepeğinin kimyasal içeriği; buğday türüne, yetiştirme koşullarına, öğütme yöntemine ve işleme tekniklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Balandrán-Quintana ve ark., 2015). Yüksek besin değeri ve fonksiyonel bileşenleri sayesinde hem insan beslenmesinde hem de endüstriyel uygulamalarda değerli bir bileşen olarak göze çarpmaktadır (Şekil 1). Tablo 1’de görüldüğü gibi kepek yüksek oranda diyet lifi, protein, mineral ve çeşitli biyoaktif bileşenlerin benzersiz bir karışımını içerir (Erbaş Köse ve ark., 2023) (Şekil 1). İçerisinde %55–60 nişasta olmayan karbonhidratlar, %10–25 nişasta, %9.6-22.0 protein, %3–8 mineral (kül) ve %2.9–4.8 arasında yağ yer

almaktadır (Tablo 1). Bu bileşim, buğday kepeğini hem besinsel hem de fonksiyonel açıdan değerli bir gıda bileşeni haline getirmektedir (Chinma ve ark., 2015; Katileviciute ve ark., 2019; Cheng ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024). Kepek; β -glukan, protein, mineral maddeler, B grubu vitaminleri ve fenolik bileşiklerin büyük bir bölümünü bünyesinde barındıran, buğday tanesinin besin öğeleri bakımından en yoğun kısmını oluşturmaktadır (Balandran-Quintana ve ark., 2015; USDA, 2020).

Buğday kepeği, buğday tanesinin ağırlık olarak yaklaşık %15-20'sini oluşturan ve yüksek miktarda diyet lifi (%45) içeren önemli bir yan üründür (Şekil 1) (Chen ve ark., 2024). Diyet lifi grubunu hemiselüloz (%20.8–33.0), selüloz (%6.5–9.9) ve lignin (%2.2–9.0) oluştur (Fardet, 2010; Chinma ve ark., 2015). Buğday kepeğinin bileşiminde yer alan arabinoksilan, beta-glukan (β -glukan) ve hemiselüloz, kepeğin fizyolojik etkilerinin ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde kilit rol oynayan nişasta dışı ana polisakaritlerdir. Arabinoksilan, buğday hücre duvarında bulunan esas nişasta dışı polisakarittir (Wang ve ark., 2020).



Şekil 1. Buğday tanesinin anatomik kısımlarının şematik görünümü (Kaynak; Balandrán-Quintana ve ark., 2015; Chen ve ark., 2024)

Buğday kepeğinin nişasta dışı karbonhidrat fraksiyonu %52–70 oranında arabinoksilan içerir. Buğday kepeğinde suda çözüneabilen arabinoksilan düşük olup, toplam arabinoksilanın sadece %6–10'unu oluşturur. Arabinoksilanın kepek katmanlarında çözünürlüğü, yapılarına ve hücre bileşenleriyle etkileşimlerine bağlı olarak farklılık gösterir (Chen ve ark., 2024). Buğday kepeği ayrıca, vitaminler (%3.4), fitik asit (%1.1), lignan (polifenol) (50 µg/g), fitosteroller (%0.16–0.18) ve alkilresorsinoller (%0.3) gibi biyoaktif bileşenlerin iyi bir kaynağıdır (Fardet, 2010). Buğday kepeğinde doymuş yağ içeriğinin düşük, sodyum içeriğinin ise çok düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca demir, magnezyum, fosfor, çinko, bakır, manganez ve selenyum açısından çok iyi bir kaynaktır (Balandrán-Quintana ve ark., 2015) (Tablo 1). Buğday kepeğinin protein içeriği yalnızca göreceli olarak yüksek olmakla kalmaz, aynı zamanda amino asit profili de endospermden daha yüksek kaliteye sahiptir. Buğday kepeğindeki ana şekerler, karmaşık karbonhidratlardan türetilir ve başlıca ksiloza, arabinoza, glukoz ve üronik asitlere dayanır; ayrıca çok az miktarda ramnoz ve galaktoz yanında az miktarda da fukoza ve mannoz da bulunur (Balandrán-Quintana ve ark., 2015; Chen ve ark., 2024).

Tablo 1. Buğday kepeğinin genel kimyasal bileşimi (Kuru maddede)

İçerik	Ortalama miktar (%)
Toplam karbonhidratlar	60-65
Protein	9.60–22.0
Toplam yağ	2.90–4.82
Su	9.0-10.0
Kül (Mineraller)	4.0–7.0
Nişasta	10–20
Şekerler	0.41
Toplam diyet lifi	36.5–52.4
Çözünmeyen lif	35.0–48.4
Çözünür lif	1.5–4.0
Selüloz	6.5–9.9
Hemiselüloz	20.8–33.0
Arabinoksilan	19.4–30.0
Lignin	2.2–9.0
βeta-glukan	1.0–3.0
Fitik asit	3.0–5.0

Kaynak (Stevenson ve ark., 2012; Balandrán-Quintana ve ark., 2015; Cheng ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024)

Buğday kepeğinde diyet lifi

Diyet lifi, insanların ince bağırsağında sindirime ve emilime dirençli olan ve kalın bağırsakta tamamen veya kısmen fermente olan, yenilebilir bitki kısımları veya benzer karbonhidratlardır. Diyet lifi; polisakaritler, oligosakaritler, lignin ve ilgili bitki maddelerini içerir (Salçın ve Ercoşkun, 2021; Cheng ve ark., 2022). Bunlar, ince bağırsakta hidrolize edilemeyen veya emilemeyen, 10 veya daha fazla monomer birimi içeren karbonhidrat polimerleridir. Ancak, diyet lifi kalın bağırsakta fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri üretilir (Jones, 2014). Tam buğday tanesinin lif içeriği, kuru ağırlığın %11.6 ile 12.7 arasında değişmektedir (Budhwar ve ark., 2020). Tohumun dış katmanlarında (meyve kabuğu ve tohum kabuğu) bulunan lifin büyük kısmı, genellikle buğday kepeği olarak adlandırılır. Bu, lifin en zengin kaynaklarından biridir ve %46'sı nişasta dışı polisakkarit içerir. Kepekte bulunan ana nişasta dışı polisakkaritler sırasıyla arabinoksilan, selüloz ve beta-glukandır; bunlar kepek nişasta dışı polisakkaritlerinin sırasıyla %70, %24 ve %6'sını oluşturur (Katileviciute ve ark., 2019; Cheng ve ark., 2022).

Buğdaydaki çözünür lifin konsantrasyonu, diğer tahıllara göre önemli ölçüde daha düşüktür; örneğin, arpa ve yulaf sırasıyla %3–11 ve %3–7 arasında çözünür lif içerirken, buğdayda bu oran %1'in altındadır (Wood, 1997). Buğday kepeğinin toplam ağırlığının genellikle %50'sinden fazlası diyet lifinden oluşur. Bunun da %90'ından fazlası çözünmeyen diyet lifidir. Avrupa'da önerilen günlük diyet lifi alımı, AOAC yöntemine dayalı olarak 25 g/gün olarak belirlenmiştir. Avrupa'da ortalama diyet lifi alımları, küçük çocuklar için günde 10 ila 20 g ve yetişkinler için günde 16 ila 29 g arasında değişmektedir (Stevenson ve ark., 2012).

Selüloz ve Lignin

Selüloz ve lignin, buğday kepeğinin temel yapı taşları olup, özellikle kepeğin diyet lifi fraksiyonunda önemli yer tutan çözünmez diyet lifi bileşenleridir. Bu bileşenler, kepeğin mekanik özelliklerini, biyolojik direncini ve endüstriyel kullanım potansiyelini büyük ölçüde belirler. Selüloz, buğday kepeği de dahil olmak üzere çoğu bitki materyalinin hücre duvarını oluşturan çözünmez bir diyet lifi bileşenidir (Katileviciute ve ark., 2019; Cheng ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024) ve doğada en bol bulunan doğal polimerdir. Buğday kepeğinde selüloz oranının kuru maddede %6.5–9.9 arasında olduğu

bildirilmiştir (Chen ve ark., 2024). İnsan sindirim sistemi, selülozu parçalayacak selüloz enzimlerine sahip olmadığı için selüloz sindirilemez ve bu nedenle diyet lifi özelliği gösterir (Salçın ve Ercoşkun, 2021). Selülozun yüksek absorpsiyon ve su tutma yeteneği, bağırsak hareketlerini düzenleyici etki göstermesine neden olur. Çözünmez lifler grubunda yer alması, dışkı hacminin artmasını ve bağırsaktan geçiş süresinin kısalmasını sağlayarak kabızlığın önlenmesine yardımcı olur (Cheng ve ark., 2022). Selüloz, kepeğin anatomik katmanlarında eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır. Dış perikarp selüloz açısından en zengin katmandır. Bu katmanın bileşiminde %21.4–27.8 oranında selüloz bulunur. Selüloz, buğday kepeğinin en bol bulunan bileşenlerinden biri olmasına rağmen, parçalanması zordur. Selüloz, soğuk ve sıcak suda, seyreltik asit ve seyreltik alkali çözeltilerde çözünmez. Bu durum, gıda endüstrisinde tam olarak kullanılamamasına neden olur (Chen ve ark., 2024).

Lignin, kepekteki toplam diyet lifinin önemli bir parçasıdır. Kimyasal olarak, aromatik alkoller ve diğer hücre duvarı bileşenlerinden oluşan bir fenil propan türevidir. Lignin, hücre çeperine sertlik ve sağlamlık kazandırır. Buğday kepeğinde lignin oranı, kuru bazda %2.2–9.0 (veya ortalama %5.6) arasında değişir. Lignin, lifi hidrofobik hale getirir, bu da enzimatik ayrışmaya ve ince/kalın bağırsaktaki bakteri ayrışmasına karşı direnç gösterir (Salçın ve Ercoşkun, 2021; Cheng ve ark., 2022, Chen ve ark., 2024). Bu nedenle, lignin dışkıda neredeyse tamamen geri kazanılabilir. Lignin, hücre duvarındaki selüloz ile sıkı bir şekilde ester bağları aracılığıyla bağlanır ve hücre duvarına nüfuz ederek sert bir matris oluşturur. Bu kompleks yapı, kepeğin dış katmanlarının geçirimsizliğine katkıda bulunur. Lignin; suberin ve kütin ile birlikte, kalın bağırsakta kanser oluşumunu engelleyici özelliklerinden dolayı önemlidir. Aleuron tabakasının lignin içeriği (yaklaşık 0.38 µg/mg) çok düşüktür. Kepekte bulunan lignin tüketim esnasında istenmeyen bir tat bırakmaktadır. Buğday kepeği, yüksek selüloz ve lignin içeriği sayesinde biyosorbent materyal olarak işlev görür ve ağır metal iyonları gibi çeşitli inorganik ve organik toksik maddelerin giderilmesi için kullanılabilir (Katileviciute ve ark., 2019).

Arabinoksilan

Arabinoksilan, buğday hücre duvarlarında bulunan ve nişasta dışı ana polisakarittir. Buğday kepeğinin nişasta dışı karbonhidrat fraksiyonunun

%52–70'ini arabinoksilan oluşturur. Buğday kepeğinin kuru ağırlığının ise genellikle %19–30'u arabinoksilandır (Cheng ve ark., 2022). Arabinoksilan kepeğin farklı anatomik katmanlarında farklı miktarlarda ve yapısal özelliklerle bulunur. Suda çözünür arabinoksilan ve suda çözünmez arabinoksilan olarak iki gruba ayrılır. Buğday kepeğindeki toplam arabinoksilanın yalnızca %6–10'u suda çözünür. Arabinoksilanın çapraz bağlanma derecesi, fenolik bileşikler tarafından, özellikle ferulik asit dehidrodimerleri aracılığıyla sağlanır (Cheng ve ark., 2022). Bu çapraz bağlanma, bileşenlerin kepekten salınımını sınırlar. Arabinoksilan'ın yapısı, onun fizyokimyasal etkilerini, fermantasyon sürecini ve bağırsak florasını düzenlemesini belirler. Arabinoksilan insan vücudunun yemek sonrası kan glikoz seviyesini düzenleyebilir. Arabinoksilan açısından zengin liflerin, Tip II diyabetli hastalarda glisemik kontrolü önemli ölçüde iyileştirdiği kanıtlanmıştır. Günde 15 gram arabinoksilan açısından zengin lif takviyesi, Tip II diyabetli kişilerde glisemik kontrolü belirgin şekilde iyileştirebilmektedir. Arabinoksilan vücudun glikoz toleransını artırabilir (Boll ve ark., 2016). Bu durum, insülin duyarlılığının ve bağırsak florası fermantasyonunun iyileştirilmesiyle ilişkilidir. Buğday lifindeki arabinoksilan, buğday kepeği yağındaki çoklu doymamış yağ asitleri ve fitosteroller ile birlikte, vücudun kolesterol sentezi ve kan lipid seviyesi üzerinde inhibitör (engelleyici) etkiye sahiptir. Bu etkiler, safra asitlerinin metabolizması ve atılmasıyla bağlantılıdır.

Diyet lifi, kolon (kalın bağırsak) içinde fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri üretir. Bu fermente edilebilir arabinoksilanlar, prebiyotik özellik gösterirler. Arabinoksilan kolondaki mikroflorayı (özellikle bifidobakteri) etkileyerek konakçı sağlığını olumlu yönde etkileyebilir (Requena ve ark., 2018). Arabinoksilanın yapısal özellikleri (viskozite, jel oluşturma yeteneği) hamurun reolojisini ve nihai ürün (özellikle unlu mamuller) kalitesini etkiler. Arabinoksilan kepekten çözünür diyet lifi olarak ekstrakte edildiğinde, gıdalarda kıvamlaştırıcı ve bağlayıcı olarak kullanılabilir ve emülsiyonun stabilize edilmesine yardımcı olur. Buğday kepeği, esas olarak etanol üretimi için fermente edilebilir şekerler kaynağı olarak bir biyorafineri bağlamında hammadde olarak önerilmiştir. Bu süreçte arabinoksilan da önemlidir (Cheng ve ark., 2022). Özetle, arabinoksilan, buğday kepeğinin temel polisakkaritidir; yapısı büyük ölçüde ferulik asit çapraz bağlanma derecesine bağlıdır ve bu

yapısal özellikler onun çözünürlüğünü, ekstrakte edilebilirliğini ve özellikle glisemik kontrol ve lipid metabolizması üzerindeki sağlık faydalarını belirler.

β-glukan

Buğday kepeği bileşiminde yer alan Beta-glukan (β -glukan), özellikle sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle büyük ilgi gören önemli bir çözünür diyet lifi bileşenidir (Gani ve Benjakul, 2019). Kuru madde bazında, buğday kepeği kütlesinin %1–3'ü β -glukanlardan oluşmaktadır. β -glukan, buğday tanesinin esas olarak aleuron tabakasında ve alt-dekstrin tabakasında bulunur. Aleuron tabakası kepek katmanları arasında β -glukan açısından en zengin kısımlardan biridir ve kuru bazdaki kimyasal bileşiminde %3.9–4.8 oranında β -glukan bulunduğu bildirilmiştir. Beyaz buğday kepeğindeki β -D-glukan içeriği, kırmızı buğday kepeğinden daha yüksektir (Wood, 2007). Buğday kepeğindeki β -glukan içeriği, arpa ve yulaf gibi diğer tahıllara göre daha düşüktür. β -glukan, gıda endüstrisinde fonksiyonel bir bileşen olarak potansiyel önem taşımasının yanı sıra, insan sağlığı üzerinde faydalı fizyolojik etkileri nedeniyle son yıllarda üzerinde daha fazla durulmaktadır. β -glukan, tahıl ürünlerinin kan lipidlerini düzenlemedeki önemli bir parçası olarak kabul edilir. Bu etkinin temel nedeni, çözünür bir diyet lifi olarak ince bağırsakta sağladığı viskozitedir. β -glukan, safra asitlerinin vücut tarafından emilimini engelleyerek ve ince bağırsakta safra asitleriyle birleşerek kolesterol sentezini etkiler. β -glukan tüketimi safra asitlerinin ve kolesterolün vücuttan atılımını artırır (Cheng ve ark., 2022). Vücudun insülin konsantrasyonunu düşürebilir ve insülin direncini iyileştirebilir; bu da dolaylı olarak kolesterol sentezini azaltır. Ancak, β -glukan içeriğinin düşük olması nedeniyle, buğday kepeğinin kan lipidlerini düzenlemede, β -glukan açısından zengin olan yulaf ve yulaf kepeği ile karşılaştırıldığında gözlemlenebilir bir etkisinin olmadığı yönünde çalışmalarda bulunmaktadır. β -glukanın kan glikoz düzeyini düzenleyici fizyolojik etkilerinin de olduğu bildirilmektedir (Yu ve ark., 2014). β -glukanın hipoglisemik aktivitesi, midenin boşalma süresi ve insülin seviyeleri ile yakından ilişkilidir. Aynı zamanda karaciğerdeki insülin direnci ile de bağlantılıdır. β -glukan glikozun bağırsaktaki emilimini azaltarak ve kana karışmasını yavaşlatarak kan şekeri seviyesinin kontrol altına alınmasında önemli bir rol oynar. β -glukan, buğday kepeği diyet lifinin prebiyotik bileşenleri arasında yer alır. Kolondaki mikroflora tarafından fermente edilerek

kısa zincirli yağ asitleri oluşturabilir. Antioksidan, antikanser ve kardiyovasküler hastalıkları önleyici etkileri olduğu konusunda da ciddi bulgular mevcuttur. Buğday kepeğinden çözünür diyet lifi olarak ekstrakte edilen β -glukan, gıda sanayinde kıvamlaştırıcı ve bağlayıcı olarak kullanılabilir, böylece jel ve emülsiyonun stabilitesini korumaya yardımcı olur (Gani ve Benjakul, 2019).

Fitik asit

Buğday tanesinde ve buğday kepeğinde doğal olarak bulunan organik bir bileşik olan fitik asit (fitat), buğdayın en kritik biyoaktif bileşenlerinden biridir. Fitik asit, özellikle fosforun ana depo formu olarak görev yapması ve minerallerin biyoyararlanımı üzerindeki güçlü etkisi nedeniyle hem beslenme hem de sağlık açısından büyük öneme sahiptir (Stevenson ve ark., 2012). Bu bileşik, tahıl tanelerinin dış katmanlarında, özellikle perikarp ve aleuron tabakasında yoğunlaşmakta, daha düşük miktarlarda ise embriyoda yer almaktadır (Cheryan, 1980). Tahıl tanesindeki toplam fitik asidin yaklaşık %90'ı aleuron tabakasında, %10'u ise embriyo kısmında bulunmaktadır (Dost ve Tokul, 2005). Bu nedenle, fitik asit miktarı öğütme işlemi sırasında uzaklaştırılan fraksiyonlara bağlı olarak değişmektedir. Beyaz un neredeyse hiç fitat içermezken, buğdayın kuru ağırlık üzerinden yaklaşık %1.13 fitik asit içerdiği (Cheryan, 1980) ya da ham ürün olarak %3 seviyelerinde bulunduğu bildirilmiştir (Stevenson ve ark., 2012). Rafine unlarda fitik asit miktarı 200–400 mg/100 g arasında değişirken, tam buğday unlarında bu değer 600–1000 mg/100 g düzeyindedir (Febles ve ark., 2002). Buğday kepeğinde ise kuru ağırlık üzerinden %3 ila 5'i (3116–5839 mg/100 g) arasında değişen miktarlarda fitik asit bulunur (Bilgiçli ve İbanoğlu, 2007). Ortalama 2–3 yemek kaşığı ticari buğday kepeği porsiyonu yaklaşık 200–300 mg fitik asit içermektedir.

Fitik asidin başlıca olumsuz etkisi, besin maddelerinin, özellikle minerallerin biyoyararlanımını düşürmesidir. Bu nedenle fitik asit, bir anti-besin bileşiği olarak da kabul edilir. Fitik asit, sindirim sistemi içinde başta çinko (Zn), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) olmak üzere minerallerle kimyasal kompleksler (şelat) oluşturur. Bu kompleksler ince bağırsakta sindirime direnç gösterir. Minerallerle oluşan bu kompleksler, ilgili minerallerin biyoyararlanımını önemli ölçüde azaltır (Stevenson ve ark., 2012; Balandrán-Quintana ve ark., 2015).

Diyetleri büyük ölçüde tahıl ve baklagil bazlı olan veya esansiyel mineraller açısından marjinal olan popülasyonlar için bu durum potansiyel bir halk sağlığı sorunu oluşturabilir. Vejetaryenler, genellikle omnivorlardan daha yüksek fitat alımına sahip olmalarına rağmen, adaptasyon mekanizmaları sayesinde genellikle yeterli çinko ve demir durumuna sahip olsalar da, biyoyararlanım bir miktar tehlikeye girebilir. Günlük alınması gereken miktardan fazla fitik asit tüketimi, çinko emilimini azaltarak iştahsızlık, dermatit, enfeksiyonlara karşı direncin düşmesi, bağışıklık sisteminin olumsuz etkilenmesi ve gece körlüğü gibi sorunlara yol açabilir (Stevenson ve ark., 2012).

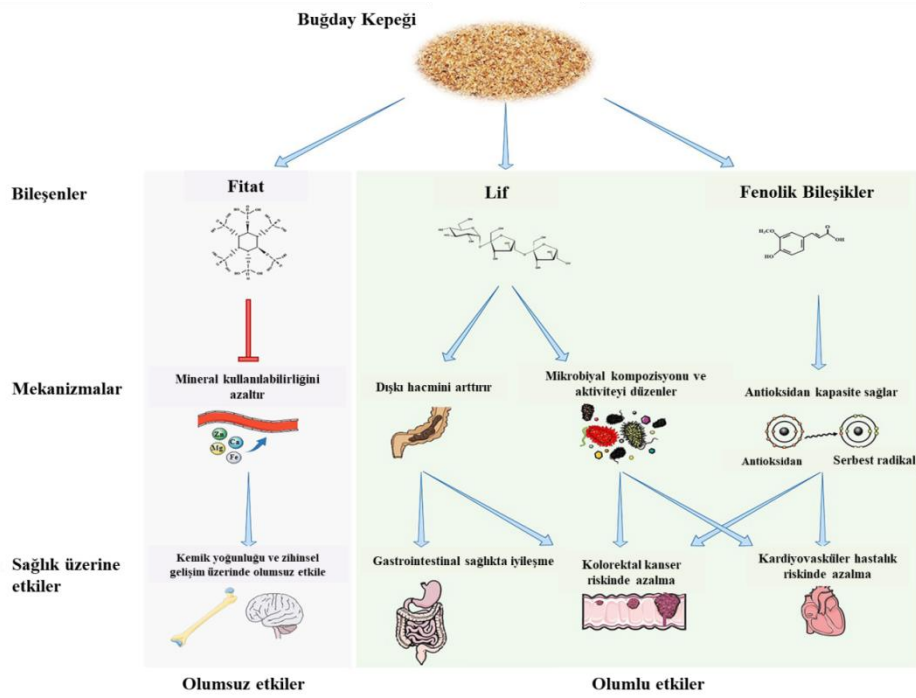
Fitik asit, anti-besin olarak görülmesinin yanı sıra, bazı fizyolojik faydalar sunan biyoaktif bir bileşik olarak da kabul edilmektedir. Fitik asidin antioksidan fonksiyonlara sahip olduğu rapor edilmiştir (Yoon ve ark., 1983). Fitik asidin, yemek sonrası besin emilimini yavaşlatarak kan şekeri düzeyinin kontrol altına alınmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Çalışmalar, fitik asidin kandaki plazma kolesterol ve trigliserit seviyelerinde düşüşe yol açabileceğini göstermiştir (Coudray ve ark., 1997; Van den Heuvel ve ark., 1999; Vitali ve ark., 2008). Fitik Asit bileşiği, kolon ve meme tümör oluşmasında potansiyel anti-tümör aktiviteye sahiptir. Kolon kanserini önlemede ve tedavisinde rol oynayan bir faktör olabilir. Fitik asidin, sıçanlarda böbrek taşı oluşumunu engellediği gösterilmiştir (Chen ve ark., 2024).

Kepek ve tam tahıllardaki fitik asidin mineral emilimi üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak, fitik asidin hidrolizini sağlamak yoluyla mümkündür. Fermantasyon ve fırınlama gibi işlemlerin fitat hidrolizine yol açarak mineral biyoyararlanımı üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ekmek yapımında mayalama işleminin, kepekteki fitat içeriğini azaltabildiği bildirilmiştir (Stevenson ve ark., 2012; Cheng ve ark., 2022).

Buğday kepeğinin sağlıklı beslenmede yeri ve önemi

Buğday kepeği yüksek diyet lifi ve biyoaktif bileşik içeriği sayesinde insan sağlığı üzerinde çok çeşitli olumlu etkileri olan önemli bir buğday yan ürünüdür. Kepeğin ve bileşenlerinin (özellikle diyet lifinin) kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi, glikoz ve lipid metabolizmasının düzenlenmesi ve gastrointestinal sistem sağlığının iyileştirilmesi gibi alanlarda mükemmel fizyolojik etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Cheng ve ark., 2022). Buğday

kepeğinin en bilinen ve en güçlü etkileri sindirim sistemi üzerinedir. Buğday kepeği, yüksek oranda çözünmez lif içerir. Çözünmez lifler, ağırlıklarının 20 katına kadar su absorbe etme kapasitesine sahip oldukları için dışkı hacminin artmasını sağlar. Dışkı hacmindeki artış, bağırsak sağlığı ve hastalıkların önlenmesiyle ilişkilidir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ve Birleşik Krallık Bilimsel Danışma Komitesine (SACN) göre, tüketilen her 1 gram buğday kepeği lifi, günlük dışkı ağırlığında yaklaşık 5 gramlık bir artışa neden olur (bu miktar meyve ve sebze gibi diğer liflere göre daha yüksektir) (Stevenson ve ark., 2012). Buğday kepeğinin laksatif etkisi, kabızlığın önlenmesine yardımcı olur. Ancak, kaba buğday kepeği dışkı su içeriğini artırarak dışkıyı yumuşatıcı bir etki gösterirken, ince kepeğin zıt etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Buğday kepeği, esas olarak yüksek selüloz ve hemiselüloz içeriği sayesinde dışkıyı yumuşatarak ve hacmini artırarak bağırsaktan geçiş süresini kısaltır (Stevenson ve ark., 2012; Cheng ve ark., 2022). Geçiş süresinin kısalması, kolonda toksik kalıntıların birikmesini engelleyerek kolon-rektum kanseri riskini azaltır. Yapılan bir çalışma, günde 20 g buğday kepeği ilavesinin geçiş süresini 2.75 günden 2.0 güne düşürdüğünü göstermiştir. Buğday kepeği lifi, kolon kanserini önleme veya azaltma potansiyeli nedeniyle incelenmiştir. Bu koruyucu etkinin nedenlerinden biri, kepek lifinin kalın bağırsakta fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri, özellikle de bütirat üretimine yol açmasıdır. Kısa zincirli yağ asitleri, kolon kanserine karşı koruyucu bir madde olarak kabul edilir ve kanser hücrelerinin büyümesini engellediği düşünülmektedir. Buğday kepeğindeki fitokimyasallar da kolon kanseri önlenmesi ve tedavisinde önemlidir. Örneğin, kepekte bulunan lignanların, kolon kanseri SW480 hücrelerinde tümör karşıtı aktiviteye dahil olduğu bulunmuştur. Ayrıca alkilresorsinoller gibi fenolik lipidlerin de antikanser aktiviteleri sergilediği belirtilmiştir. Kepeğin dışkıdaki ikincil safra asitlerinin konsantrasyonunu ve mutajenik aktiviteyi önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir (Cheng ve ark., 2022) (Şekil 2).



Şekil 2. Buğday kepeğindeki önemli bileşenler ve bunların sağlığa etkileri

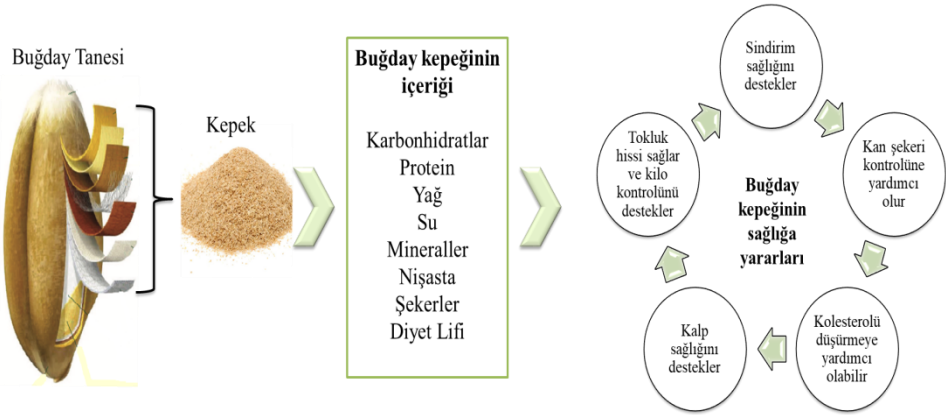
Diyet lifi (polisakkaritler, oligosakkaritler ve lignin) kalın bağırsakta tamamen veya kısmen fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri oluşturur. Buğday kepeği, bir prebiyotik bileşen olarak kabul edilir ve kolon mikroflorasını olumlu yönde etkileyebilir (Baladrán-Quintana ve ark., 2015). Buğday kepeği, Tip 2 diyabet ve obezite riskini azaltma potansiyeli ile de ilişkilendirilmiştir. Kepek bileşenlerinin (arabinoksilan ve β -glukan) kan glikoz regülasyonu üzerinde olumlu fizyolojik etkileri olduğu bilinmektedir. Arabinoksilan açısından zengin liflerin, Tip II diyabetli hastalarda glisemik kontrolü önemli ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir. Arabinoksilan'ın glikoz toleransını artırdığı, insülin duyarlılığını iyileştirdiği ve metabolik süreçleri düzenleyerek Tip 2 diyabetin hafifletilmesinde rol oynadığı düşünülmektedir (Cheng ve ark., 2022). β -glukanın kan glikozu üzerindeki etkisi, midenin boşalma süresi ve insülin seviyeleri ile yakından ilişkilidir. β -glukanın hipoglisemik aktivitesi, karaciğer insülin direnci ile de ilişkilidir.

Diyet lifi alımı ile obezite arasında ters bir ilişki vardır. Bu durum, tokluk hissinin artması, enerji alımının azalması ve dışkıdan enerji kaybının

artmasıyla ilişkilidir. Buğday kepeği tüketiminin, 8 yıllık bir çalışmada 20 g/gün artış için ortalama 0.36 kg ağırlık artışı azalttığı gözlemlenmiştir. Diyet lifi, midede uzun süre kalarak tokluk hissi yaratır ve gereksiz gıda alımını azaltır (Balandrán-Quintana ve ark., 2015).

Buğday kepeğinin kan lipid düzeyleri üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular tutarsızlık göstermekle birlikte, β -glukanın lipid metabolizmasının düzenlenmesinde önemli bir rol üstlendiği kabul edilmektedir. β -glukan, ince bağırsakta oluşturduğu viskoz ortam aracılığıyla safra asitlerine bağlanarak emilimlerini sınırlar ve böylece kolesterol sentezini dolaylı olarak azaltır. Ayrıca, safra asitleri ve kolesterolün atılımını artırarak lipid metabolizmasının dengelenmesine katkı sağlar (Cheng ve ark., 2022). Kepek proteinleri (özellikle çözünür proteinler) lipid sindiriminde kilit enzimler olan pankreatik lipazı ve pregastrik lipazı in vitro ortamda inhibe etme potansiyeli göstermiştir. Kepekten elde edilen anjiyotensin I-dönüştürücü enzimi inhibe eden biyoaktif peptitler, kan basıncının düzenlenmesinde rol oynayarak kardiyovasküler hastalıklar için koruyucu etki gösterebilir (Balandrán-Quintana ve ark., 2015).

Buğday kepeği, yüksek oranda fenolik bileşikler ve diğer biyoaktif maddeler (flavonlar, lignanlar vb.) içerir. Fenolik bileşiklerin ana rolü antioksidan ve antikanser etkiler sağlamaktır. Kepeğin baskın antioksidanı olan ferulik asit, antioksidan potansiyeline sahiptir (Fardet, 2010). Aleuron bakımından zengin fraksiyonlar, daha yüksek antioksidan aktivite sergiler. Buğday kepeği, potasyum, fosfor, magnezyum ve çinko gibi önemli minerallerin önemli bir kaynağıdır (Cheng ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024). Ancak kepekteki fosforun büyük bir kısmı fitik asit (fitat) formunda bulunur. Fitik asit, çinko (Zn), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) gibi minerallerle kompleksler oluşturarak bu minerallerin ince bağırsakta biyoyararlanımını düşürebilir (Deroover ve ark., 2020; Balandrán-Quintana ve ark., 2015). Mineral emilimi üzerindeki bu olumsuz etkinin azaltılması için fermantasyon ve fırınlama gibi işlemlerin (fitat hidrolizine yol açan) mineral biyoyararlanımı üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca kepeğin uzun süreli tüketiminin, önerilen kalsiyum alımına sahip genç kadınlarda kemik döngüsü belirteçlerini etkilemediği de belirtilmiştir (Stevenson ve ark., 2012) (Şekil 3).



Şekil 3. Buğday kepeğinin içeriği ve sağlığa faydaları

Buğday kepeği, özellikle β -glukan ve arabinoksilan gibi çözünür lifler ve biyoaktif bileşikler aracılığıyla kan lipid ve glikoz seviyelerini düzenleyerek kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu bir mekanizma geliştirir (Cheng ve ark., 2022).

Kepeğin pişirilmiş ürün eldesinde kullanımı

Kepek başlıca ekmek, bisküvi, kurabiye, kek, kahvaltılık gevrek, makarna, erişte ve çörek gibi fırınlanmış ve tahıl bazlı ürünlerde kullanılmaktadır. Ekmek yapımında kepek ilavesi besin değerini artırsa da yüksek oranlarda kullanımı gluten yapısını bozarak hacim, doku ve duyuusal özellikleri olumsuz etkiler (Cheng ve ark., 2022). Bu nedenle ekmek yapımında kepek oranı genellikle %5–30 arasında kullanılır (Onipe ve ark., 2015). İnce taneli kepek, fermentasyon, ön hidrasyon ve enzimatik işlemler ekmek kalitesini (hacim, yumuşaklık, lezzet) ve depolama özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Bisküvi ve kurabiyelerde kepek sertlik ve gevrekliği azaltırken, glisemik indeksi düşürerek sağlık açısından fayda sağlar (Silveira ve ark., 2015; Cheng ve ark., 2022). Keklerde kepek miktarı ve parçacık boyutu kaliteyi belirler ve uygun miktarlarda kullanımı ürün kabulünü korur. Ayrıca kepek, kahvaltılık gevreklerde, makarna ve eriştede besin değerini artırmak amacıyla kullanılır. Ancak kepeğin bu gıdalarda kullanımı gluten yapısını zayıflatarak kaliteyi düşürebilir (Zhang ve ark., 2019). Makarnaya %30 oranında buğday kepeği ilavesinin, ürünü diyet lifi bakımından zenginleştirerek tatmin edici duyuusal özellikler ve iyi pişirme performansı sağladığı bildirilmiştir (Sobota ve

ark., 2015). Ancak, kepek oranının aşırı artırılması makarnanın mikro yapısını olumsuz etkileyerek kalite düşüşüne ve tüketici beğenisinin azalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, yüksek miktarda kepek kullanılması gerektiğinde, ince öğütülmüş kepek ilavesi bu olumsuz etkileri azaltabilmektedir (Alzuwaid ve ark., 2020; Cheng ve ark., 2022).

Buğday kepeğinin diğer kullanım yerleri

Buğday kepeği yalnızca hayvan yemi ve pişirilmiş bazı gıdaların üretilmesinde değil, yüksek lif, protein ve biyoaktif bileşik içeriği sayesinde çok çeşitli endüstriyel ve biyoteknolojik uygulamalarda değerlendirilen önemli bir yan üründür. Pişirilmiş gıdalar dışında kepeğin başlıca kullanım alanları üç ana grupta toplanabilir. Bunlar; biyoteknolojik uygulamalar, çevresel-endüstriyel kullanımlar ile gıda ve içecek uygulamalarıdır (Cheng ve ark., 2022). Kepek düşük maliyetli bir substrat olarak enzim (ksilanaz, fitaz, proteaz, amilaz, lakkaz vb.), organik asit (ferulik asit, laktik asit) ve biyoaktif bileşik (peptitler, GABA) üretiminde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca lignoselülozik yapısı sayesinde biyoetanol, biyobutanol ve biyohidrojen gibi biyoyakıtların üretimi için de değerlidir.

Kepek çevresel ve endüstriyel kullanım alanı olarak yüksek selüloz ve lignin içeriği sayesinde ağır metal gideriminde biyosorbent olarak, toksik boyar maddelerin biyolojik bozulmasında substrat olarak ve probiyotik bakterilerin immobilizasyonunda taşıyıcı materyal olarak kullanılmaktadır. Ayrıca nanoteknoloji alanında nanoyapı ve biyo-kompozit üretiminde, aktif karbon kaynağı olarak da potansiyel göstermektedir. Kepek fermente içeceklerin geliştirilmesinde, sosis ve köfte gibi et ürünlerinde lif takviyesi olarak ve B12 vitamini ile zenginleştirilmiş fermente un/kepek ürünlerinde kullanılabilir. Genel olarak, kepek sürdürülebilir üretim, çevre dostu biyoteknolojik süreçler ve fonksiyonel gıda geliştirme açısından çok yönlü bir hammadde olarak öne çıkmaktadır (Katileviciute ve ark., 2019).

Buğday kepeği, yalnızca gıda ürünlerinde ana bileşen olarak değil, aynı zamanda üretim süreçlerinde yardımcı madde olarak da kullanılmaktadır. Özellikle yoğurt üretiminde, probiyotik mikroorganizmaların hücre sabitleme taşıyıcısı olarak buğday kepeğinin kullanımı, yoğurdun besin değerini ve kalite özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Terpou ve ark., 2017). Ayrıca, buğday kepeği işlenmiş et ürünlerinde, özellikle köfte ve sucuk gibi ürünlerde,

diyet lifi kaynağı olarak doğrudan katkı maddesi şeklinde değerlendirilmektedir (Sarıçoban ve ark., 2009; Hjelm ve ark., 2019).

SONUÇ

Kepek, buğday öğütme sanayinde modern un eldesinde yüksek besin değeri ve zengin diyet lifi içeriğiyle önemli bir yan ürün olup, kardiyovasküler ve bağırsak sağlığını destekleyen fizyolojik faydalar sunmaktadır. Ancak, kepeğin duyuşal özellikler ve doku üzerindeki olumsuz etkileri tüketici kabulünü sınırlamaktadır. Ön işleme ve yenilikçi teknolojiler (enzim ve mikrobiyal teknolojiler gibi) kullanılarak, kepeğin besin değeri artırılabilir ve kabulü iyileştirilebilir. Avrupa başta olmak üzere birçok ülkede diyet lifi alımı önerilen seviyenin altındadır. Kepek açısından zengin gıdaların teşviki, dışkı hacmi ve bağırsak geçiş süresinin iyileştirilmesi gibi sağlık faydaları nedeniyle önemlidir ve bu durum sağlık otoriteleri tarafından da desteklenmektedir. Kepek beslenme ve sağlık alanında fonksiyonel gıda hammaddesi olarak diyabet ve dejeneratif hastalıklarla mücadelede tamamlayıcı bir rol oynayabilir. Sonuç olarak, kepeğin tüm fraksiyonlarının verimli şekilde kullanılması, yüksek katma değerli ürünlerin öncelikli üretimi ve atık dönüşümü yoluyla sıfır atık hedefine ulaşılması, sürdürülebilir gıda ve sağlık sistemleri için kritik öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- Alzuwaid, N. T., Fellows, C. M., Laddomada, B., & Sissons, M. (2020). Impact of wheat bran particle size on the technological and phytochemical properties of durum wheat pasta. *Journal of Cereal Science*, 95, 103033.
- Balandrán-Quintana, R. R., Mercado-Ruiz, J. N., & Mendoza-Wilson, A. M. (2015). Wheat bran proteins: A review of their uses and potential. *Food Reviews International*, 31(3), 279–293.
- Bilgicli, N., & İbanoglu, S. (2007). Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity, phytic acid content and colour of tarhana. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 681–686.
- Boll, E. V. J., Ekström, L. M. N. K., Courtin, C. M., Delcour, J. A., Nilsson, A. C., Björck, I. M. E., & Östman, E. M. (2016). Effects of wheat bran extract rich in arabinoxylan oligosaccharides and resistant starch on overnight glucose tolerance and markers of gut fermentation in healthy young adults. *European Journal of Nutrition*, 55(4), 1661–1670.
- Budhwar, S., Chakraborty, M., Sethi, K., & Chatterjee, A. (2020). Antidiabetic properties of rice and wheat bran—A review. *Journal of Food Biochemistry*, 44(10), e13424.
- Chen, Z., Mense, A. L., Brewer, L. R., & Shi, Y.-C. (2024). Wheat bran layers: Composition, structure, fractionation, and potential uses in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(19), 6636–6659.
- Cheng, W., Sun, Y., Fan, M., Li, Y., Wang, L., & Qian, H. (2022). Wheat bran as a resource of dietary fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(26), 7269–7281.
- Cheryan, M. (1980). Phytic acid interactions in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13(4), 297–335.
- Coudray, C., Bellanger, J., Castiglia-Delavaud, C., Remesy, C., Vermorel, V., & Rayssiguier, Y. (1997). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of magnesium, calcium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51(6), 349–365.
- de Munter, J. S., Hu, F. B., Spiegelman, D., Franz, M., & van Dam, R. M. (2007). Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes:

- A prospective cohort study and systematic review. *PLoS Medicine*, 4, 261.
- Deroover, L., Tie, Y., Verspreet, J., Courtin, C. M., & Verbeke, K. (2020). Modifying wheat bran to improve its health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(7), 1104–1122.
- Di Lena, G., Vivanti, V., & Quaglia, G. B. (1997). Amino acid composition of wheat milling by-products after bioconversion by edible fungi mycelia. *Food/Nahrung*, 41(5), 285–288.
- Dost, K., & Tokul, O. (2005). Determination of phytic acid in wheat and wheat products by reverse phase high performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 558, 22–27.
- Erbaş Köse, Ö. D., Mut, Z., Kardeş, Y. M., & Akay, H. (2023). Grain-bran quality parameters and agronomic traits of bread wheat cultivars. *Turkish Journal of Field Crops*, 28(2), 269–278.
- FAO. (2023). FAOSTAT: Production statistics (Crops). <https://www.fao.org/faostat/en/> (Accessed: November 2025)
- Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutrition Research Reviews*, 23(1), 65–134.
- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodríguez-Álvarez, C., & Sierra, A. (2002). Phytic acid level in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 36(1), 19–23.
- Fung, T. (2002). Whole-grain intake and the risk of type 2 diabetes: A prospective study in men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 535–540.
- Gani, A., & Benjakul, S. (2019). Effect of beta-glucan stabilized virgin coconut oil nanoemulsion on properties of croaker surimi gel. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(2), 194–209.
- Hjelm, L., Mielby, L. A., Gregersen, S., Eggers, N., & Bertram, H. C. (2019). Partial substitution of fat with rye bran fibre in Frankfurter sausages—Bridging technological and sensory attributes through inclusion of collagenous protein. *LWT—Food Science and Technology*, 101, 607–617.

- Jensen, M. K., Koh-Banerjee, P., Hu, F. B., Franz, M., Sampson, L., Grønbaek, M., & Rimm, E. B. (2004). Intakes of whole grains, bran, and germ and the risk of coronary heart disease in men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(6), 1492–1499. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.6.1492>
- Jones, J. M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap.” *Nutrition Journal*, 13, 34.
- Katileviciute, A., Plakys, G., Budreviciute, A., Onder, K., Damiaty, S., & Kodzius, R. (2019). A sight to wheat bran: High value-added products. *Biomolecules*, 9(12), 887.
- Kosik, O., Powers, S. J., Chatzifragkou, A., Prabhakumari, P. C., Charalampopoulos, D., Hess, L., Brosnan, J., Shewry, P. R., & Lovegrove, A. (2017). Changes in the arabinoxylan fraction of wheat grain during alcohol production. *Food Chemistry*, 221, 1754–1762.
- Manickavasagan, A., Jayas, D. S., White, N. D. G., & Paliwal, J. (2010). Wheat class identification using thermal imaging. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 450–460.
- Onipe, O. O., Jideani, A. I. O., & Beswa, D. (2015). Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(12), 2509–2518.
- Requena, T., Martínez-Cuesta, M. C., & Peláez, C. (2018). Diet and microbiota linked in health and disease. *Food & Function*, 9(2), 688–704.
- Salçın, N., & Ercoşkun, H. (2021). Diyet lifi ve sağlık açısından önemi. *Akademik Gıda*, 19(2), 234–243.
- Sarıçoban, C., Yılmaz, M. T., & Karakaya, M. (2009). Response surface methodology study on the optimisation of effects of fat, wheat bran and salt on chemical, textural and sensory properties of patties. *Meat Science*, 83(4), 610–619.
- Sayhoun, N. R., Jacques, P. F., Zhang, X. L., Juan, W., & McKeown, N. M. (2006). Whole grain is inversely associated with the metabolic syndrome and mortality in older adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 124–131.
- Seal, C. J. (2006). Wholegrains and CVD risk. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65, 24–34.

- Silveira, M. H. L., Morais, A. R. C., da Costa Lopes, A. M., Oleksyszzen, D. N., Bögel-Lukasik, R., Andreaus, J., & Pereira Ramos, L. (2015). Current pretreatment technologies for the development of cellulosic ethanol and biorefineries. *ChemSusChem*, 8(20), 3366–3390.
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., & Kuzawińska, E. (2015). Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(1), 111–119.
- Stevenson, L., Phillips, F., O’Sullivan, K., & Walton, J. (2012). Wheat bran: Its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 1001–1013.
- Terpou, A., Gialleli, A. I., Bekatorou, A., Dimitrellou, D., Ganatsios, V., Barouni, E., Koutinas, A. A., & Kanellaki, M. (2017). Sour milk production by wheat bran supported probiotic biocatalyst as starter culture. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 184–192.
- USDA. (2019). World agricultural supply and demand estimates. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>
- Van den Heuvel, E., Muys, T., van Dokkum, W., & Schaafsma, G. (1999). Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 544–548.
- Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 451–463.
- Vitali, D., Dragojević, I. V., & Šebečić, B. (2008). Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from wholegrain tea biscuits: Impact of proteins, phytic acid and polyphenols. *Food Chemistry*, 110(1), 62–68.
- Wood, P. (1997). Functional foods for health: Opportunities for novel cereal processes and products. In G. M. Campbell, C. Webb, & S. L. McKee (Eds.), *Cereals: Novel uses and processes* (pp. 233–239). Plenum Press.
- Wood, P. J. (2007). Cereal beta-glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 230–238.
- Yoon, J. H., Thompson, L. U., & Jenkins, D. J. (1983). The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response. *American Journal of Clinical Nutrition*, 38(6), 835–842.
- Yu, K., Ke, M. Y., Li, W. H., Zhang, S. Q., & Fang, X. C. (2014). The impact of soluble dietary fibre on gastric emptying, postprandial blood glucose

and insulin in patients with type 2 diabetes. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 23(2), 210–218.

Zhang, J., Li, M., Li, C., & Liu, Y. (2019). Effect of wheat bran insoluble dietary fiber with different particle size on the texture properties, protein secondary structure, and microstructure of noodles. *Grain and Oil Science and Technology*, 2(4), 97–102.

BÖLÜM 3

***Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* ÜZERİNE DERLEME: EKOLOJİK POTANSİYELİ, ETKEN MADDELERİ VE TARIMSAL GELECEĞİ**

Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17680666>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi. Kızıltepe Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi. Tarla Bitkileri Bölümü. Mardin, Türkiye. necatizgi@hotmail.com; ORCID: 0000-0003-1657-1169

1. GİRİŞ

Tıbbi ve aromatik bitkiler (TAB), son yıllarda hem bilimsel literatürde hem de küresel pazarlarda artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. Bu bitkiler, insan sağlığını destekleyici doğal ürünlerin kaynağı olmalarının yanı sıra, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen üretim sistemleri içinde de önemli roller üstlenmektedir (Mukherjee, 2022).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, kimyasal bazlı ilaçlara alternatif arayışı ve bitkisel içerikli ürünlere olan eğilim, tıbbi bitkilere olan ilgiyi daha da artırmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dünya nüfusunun yaklaşık %80'inin geleneksel bitkisel tedavi yöntemlerine başvurduğunu rapor etmektedir (WHO, 2013).

Tıbbi ve aromatik bitkiler, farmasötik, kozmetik, gıda ve aromaterapi gibi birçok sektörde doğal kaynak olarak giderek daha fazla önem kazanmıştır. Özellikle doğaya dönüş eğilimlerinin artması, “bitkisel” ürünlere yönelik tüketici talebini artırmış ve bu durum tarımsal üretimden endüstriyel kullanıma kadar geniş bir yelpazeyi etkilemiştir (Shakeri et al., 2016).

Bu bağlamda *Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* (Oğulotu), yumuşak limon kokulu yaprakları ve çok yönlü farmakolojik etkileri ile öne çıkan önemli bir tıbbi aromatik bitkidir (Carnat et al., 1998; Dastmalchi et al., 2008). Halk arasında “melisa”, “oğul otu” ya da “limon balsamı” olarak bilinen bu bitki, geleneksel tıpta binlerce yıldır uykusuzluk, sindirim sorunları ve sinirsel rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmıştır (Miraj et al., 2017).

Özellikle Orta Çağ Avrupası'nda melisanın ruhsal dengeyi sağladığına ve kalbi kuvvetlendirdiğine inanılmış, manastır bahçelerinde sıklıkla yetiştirilmiştir (Grieve, 1931).

Melissa officinalis'in modern dünyada yeniden popülerlik kazanmasında, hem fitoterapiye olan ilginin artması hem de bitkinin farmakolojik etkinliğini destekleyen çok sayıda bilimsel araştırmanın yayınlanması etkili olmuştur. Yapılan çalışmalar, *M. officinalis*'in sadece geleneksel kullanım alanlarını doğrulamakla kalmayıp, aynı zamanda antioksidan, antimikrobiyal, nöroprotektif ve anksiyolitik etkiler gösterdiğini de ortaya koymuştur (Shakeri et al., 2016; Kennedy et al., 2002).

Ayrıca, bazı klinik çalışmalarda melisa özütünün hafif dereceli anksiyete bozukluklarında etkili olabileceği ve uyku kalitesini artırabildiği bildirilmiştir (Cases et al., 2011). Bu nedenle bitki, günümüzde farmasötik

ürünlerin yanı sıra, fonksiyonel gıda ve takviye edici gıda formülasyonlarında da yer almaktadır.

Bitkinin Avrupa kökenli olmasına rağmen, günümüzde başta Akdeniz havzası olmak üzere dünyanın farklı coğrafyalarında kültürü yapılmakta, hem gıda takviyesi hem de tıbbi preparat formunda değerlendirilmektedir (Moradkhani et al., 2010). Melisa üretiminin artması, yerel üreticilere ekonomik fayda sağlamakta; aynı zamanda kırsal kalkınma ve alternatif tarım ürünleri geliştirme stratejileri açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır (Göktaş & Gıdık, 2019).

Son yıllarda *Melissa officinalis* üzerine yapılan bilimsel yayın sayısında gözle görülür bir artış yaşanmış; etken maddelerinin moleküler etkilerinden tutun da uçucu yağların stabilitesi, tarım teknikleri, genetik varyasyonlar ve post-hasat işleme teknolojilerine kadar birçok farklı başlık altında çalışmalar yürütülmüştür (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023; Miraj et al., 2017). Dolayısıyla, bu derlemede sunulan bilgiler, mevcut literatürün yalnızca özlü bir yansımaları temsil etmekte; konuyla ilgili derinlemesine araştırma yapmak isteyenler için kapsamlı bir kaynak havuzunun kapısını aralamaktadır.

Ayrıca bu yazı, yalnızca akademisyenlere değil; aynı zamanda melisa üretimine başlamak isteyen çiftçilere, girişimcilere, tıbbi bitki yetiştiriciliği yapan kooperatif ve işletmelere de rehberlik edecek şekilde tasarlanmıştır. Özellikle organik tarım, İyi Tarım Uygulamaları (İTU) ve sözleşmeli üretim sistemleri çerçevesinde melisa yetiştiriciliği yapmak isteyen üreticiler için bilimsel verilere dayalı pratik bilgiler sunulmaktadır. Türkiye'nin farklı agroekolojik bölgelerinde (örneğin Mardin Mezopotamya Ovası gibi) bu bitkinin başarıyla yetiştirilebilmesi, kırsal kalkınma ve sürdürülebilir tarım politikaları ile doğrudan ilişkilendirilebilecek stratejik fırsatlar barındırmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022; Göktaş & Gıdık, 2019).

Ayrıca, çevre dostu üretim sistemlerine kolayca adapte olabilmesi, organik tarım uygulamaları açısından da bu bitkiyi cazip kılmaktadır.

Bu derlemede *M. officinalis* subsp. *officinalis* bitkisi; botanik özellikleri, doğal yayılım alanları, yetiştiricilik yöntemleri, kimyasal içeriği, farmakolojik etkileri ve ekonomik potansiyeli açısından çok yönlü olarak incelenecektir. Ayrıca hasat sonrası işlemler, ürün muhafazası, ekolojik uygunluk ve katma değerli ürün stratejileri gibi uygulamaya dönük alanlara da

yer verilecektir. Böylelikle, sadece akademik bilgi üretimi değil, aynı zamanda sektörel uygulamaya rehberlik edecek pratik çıktılar elde edilmesi hedeflenmektedir.

Buna ek olarak, melisanın ekim nöbetinde kullanımı, toprak sağlığına katkısı, arıcılık ile simbiyotik ilişkileri, agroekoturizmde kullanımı ve gıda güvenliği bağlamında taşıdığı potansiyel gibi henüz yeterince araştırılmamış ama dikkate değer bazı alt başlıklar da bu yazının tartışma zemininde yer bulmaktadır.

Bu nedenle bu çalışma, sadece geçmiş bilgilerin bir sentezi olmakla kalmayıp, aynı zamanda geleceğe dönük üretim ve araştırma vizyonuna da katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. BOTANİK ÖZELLİKLER VE TAKSONOMİ

Melissa officinalis L., Balıbabagiller (Lamiaceae) familyasına ait, çok yıllık (perennial), aromatik bir bitkidir. Cins adı olan Melissa, Yunanca "arı" anlamına gelir ve bitkinin çiçeklerinin arıları çekmesi nedeniyle bu isimle anıldığı düşünülmektedir (Grieve, 1931). Aynı zamanda Latince *officinalis* terimi, "resmi olarak tıbbi kullanımı onaylanmış" anlamına gelmekte olup, bitkinin tarihsel olarak farmakope değeri taşıdığını göstermektedir (ESCOP, 2003). *M. officinalis*, hem doğal popülasyonlarda hem de tarımsal üretim alanlarında kolayca ayırt edilebilen morfolojik özelliklere sahiptir. Morfolojik varyasyonları genetik çeşitliliğe, çevresel koşullara ve yetiştirme tekniklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Moradkhani et al., 2010).

2.1 Taksonomik Sınıflandırma

<u>Taksonomik Basamak</u>	<u>Tanım</u>
Alem	Plantae
Bölüm	Magnoliophyta
Sınıf	Magnoliopsida
Takım	Lamiales
Familya	Lamiaceae
Cins	Melissa
Tür	<i>Melissa officinalis</i> L.
Alt tür	<i>Melissa officinalis</i> L. subsp. <i>officinalis</i>

Bitkinin diğer alt türleri arasında *subsp. altissima* ve *subsp. inodora* bulunur. Ancak, tarımsal ve endüstriyel amaçlı yetiştirilen form genellikle *subsp. officinalis*'tir (Petrisor et al., 2022).

2.2 Morfolojik Özellikler

Kök: Lifli yapıda ve yayvan bir kök sistemine sahiptir. Vejetatif olarak gelişmiş rizomları sayesinde koloni şeklinde yayılabilir. Kökler toprağın üst katmanlarında yoğunlaşır.

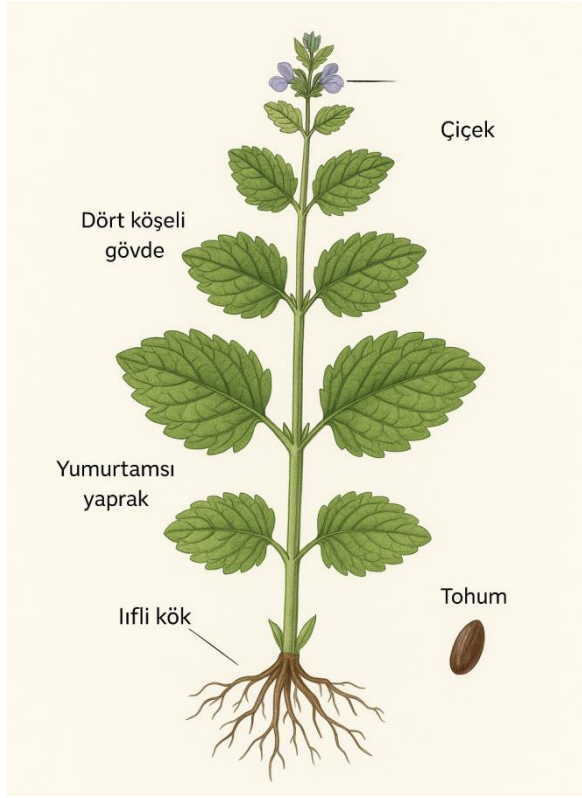
Gövde: Genellikle 30–100 cm boylarında, dört köşeli, yeşil veya morumsu renkli ve tüylü yapıdadır. Bitkinin gövdesi tabanda odunsulaşma gösterebilir.

Yaprak: Karşılıklı dizilmiş, yumurtamsı (ovate) şekilli, kenarları testere dişli ve karakteristik şekilde limon kokuludur. Yaprakların üst yüzeyi hafif tüylü, alt yüzeyi ise daha belirgin tüylüdür (Shakeri et al., 2016). Bu tüylü yapı, su kaybını azaltıcı ve UV ışımına karşı koruyucu fonksiyonlara da sahiptir.

Çiçek: Yaz aylarında, özellikle Haziran–Ağustos döneminde çiçeklenme gözlemlenir. Küçük, beyazımsı veya soluk pembe renkte çiçekler, gövdenin üst kısmında veya yaprak koltuklarında salkım (verticillastrate) şeklinde dizilir.

Tohum: Küçük, koyu renkli, sert kabukludur. Çimlenme oranı düşüktür. Bu nedenle melisa üretiminde daha çok çelikle çoğaltma veya rizom bölünmesi yöntemi tercih edilir (Göktaş & Gıdık, 2019).

Aroma: Yaprakların mekanik olarak zedelenmesiyle uçucu yağ salgılanır. Bu koku limon benzeri olup, içeriğindeki geranial ve neral gibi sitral izomerlerinden kaynaklanır (Dastmalchi et al., 2008).



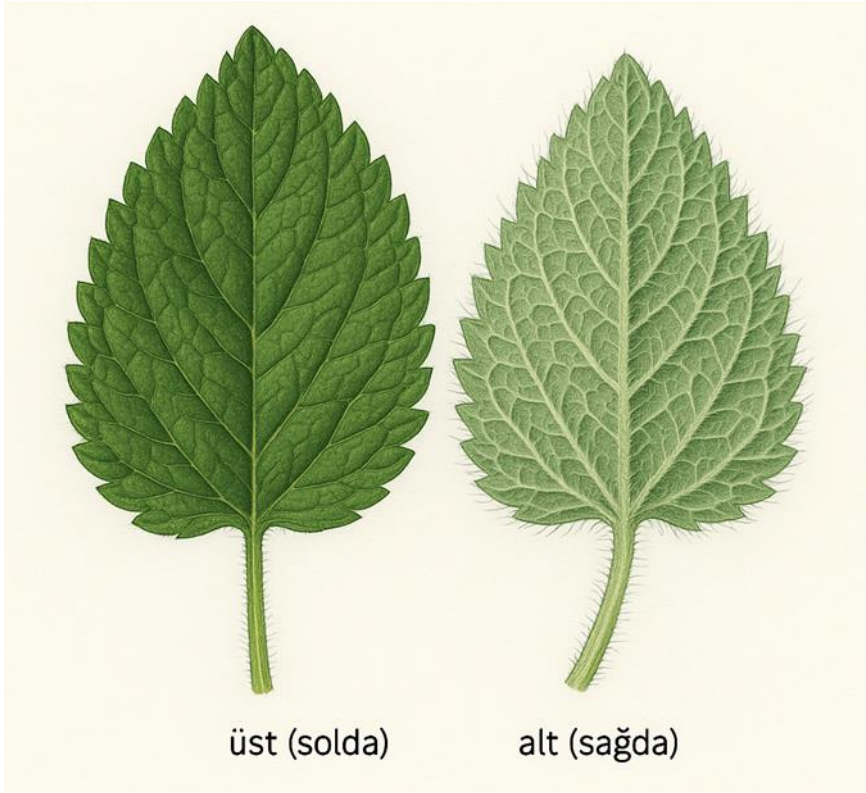
Şekil 1. *Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* Bitkisinin Morfolojik Yapısı

Şekil 1’ de, *Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis* alt türüne ait bitkinin genel morfolojik yapısı gösterilmektedir. Bitki; lifli kök yapısı, dört köşeli tüylü gövdesi, yumurtamsı dişli yaprakları ve küçük beyaz/pembe çiçekleri ile karakterizedir. Yaprak yüzeyi yumuşak ve tüylüdür; elle ezildiğinde belirgin limon kokusu yayar. Bu alt tür, yüksek uçucu yağ içeriği ve kontrollü tarıma uygunluğu nedeniyle tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliğinde yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 2. *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* Bitkisinin Çiçek Yapısı ve Çiçeklenme Özellikleri

Şekil 2’ de, *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* bitkisinin çiçek yapısı detaylı biçimde gösterilmektedir. Çiçekler genellikle Haziran–Ağustos aylarında açar ve yaprak koltuklarında kümelenmiş (verticillastrate) bir dizilim oluşturur. Taç yapraklar açık beyazdan soluk pembeye kadar değişen tonlardadır. Çiçekler, iki dudaklı yapı sergileyerek Lamiaceae familyasına özgü bir görünüm sunar. Çiçeklerin alt dudağı genellikle daha geniş ve nektar üretimiyle arıların ilgisini çekecek şekilde evrimleşmiştir. Bu özellik, melisanın arı dostu bir bitki olmasını sağlar (Grieve, 1931). Çiçekler, hem estetik hem de biyolojik çeşitlilik açısından önemlidir. Uçucu yağ oranı, çiçeklenme döneminde artış gösterdiği için, hasat zamanı planlamasında çiçek durumu belirleyici bir rol oynar (Carnat et al., 1998).



Şekil 3. *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* Yapraklarının Üst ve Alt Yüzey Görünümleri

Şekil 3’ te, *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* bitkisinin karakteristik yaprak yapısı üst (solda) ve alt (sağda) yüzeylerden gösterilmektedir. Üst yüzeyde, yaprağın yoğun tüylü dokusu ve parlak yeşil rengi dikkat çekerken; alt yüzeyde damar yapısı daha belirgin şekilde görülmekte ve tüylülük artmaktadır. Bu morfolojik yapı, bitkinin transpirasyon dengesini sağlama, UV ışınlarına karşı koruma sağlama ve aromatik bileşiklerin depolanması gibi biyolojik işlevlerine hizmet etmektedir (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023). Yaprakların ezilmesiyle yayılan limon aroması, özellikle üst yüzeyde bulunan salgı bezlerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* Bitkisinin Tohum Yapısı ve Çoğaltım Özellikleri

Şekil 4’ te, *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* bitkisinin olgunlaşmış tohum yapısı ve çoğaltım şekilleri gösterilmektedir. Tohumlar küçük, koyu kahverengi-siyah renkte, yüzeyi hafif pürüzlü ve sert kabukludur. Ortalama uzunlukları 1.5–2.0 mm, genişlikleri 1 mm civarındadır. Tohumlar oldukça hafif olup, 1000 adet tohumun ortalama ağırlığı yaklaşık 0.8–1.2 gram arasında değişmektedir (Kalaycıoğlu, 2018). Bu nedenle doğrudan tohumla üretim zordur; çimlenme oranı düşük (yaklaşık %30–50) ve yavaş seyretmektedir. Ayrıca tohumlar ışık isteklidir, bu nedenle üzeri kapatılmadan ekilmeli ve nemli ortamda tutulmalıdır. Pratik üretimde çelikle çoğaltma, rizom bölünmesi ya da kök sürgünlerinin ayrılması gibi vejetatif yöntemler tercih edilir. Bu yöntemlerle genetik özelliğin korunması sağlanır ve ticari üretimde daha verimli sonuçlar elde edilir. Tohumla üretim daha çok genetik ıslah, araştırma veya doğal alan restorasyonu gibi özel amaçlarla kullanılmaktadır (Moradkhani et al., 2010). Tohumların çimlenme ve gelişim süreci, ortam sıcaklığı (ideal: 18–22 °C), toprak nemi ve ışık yoğunluğu gibi faktörlerden etkilenmektedir. Tohumdan fide yetiştirme süreci genellikle 4–6 hafta alır.

2.3 Alt Tür Özelliği: subsp. officinalis

Melissa officinalis subsp. *officinalis*, özellikle yüksek uçucu yağ içeriği (%0.1–0.3) ve yumuşak yaprak dokusuyla dikkat çeken kültür formudur. Kontrollü tarımsal üretim için en uygun alt türdür. Doğada bulunan *altissima* gibi formlar daha kaba yapraklı ve aromatik yoğunluğu düşük varyasyonlardır (Moradkhani et al., 2010).

Bu alt tür, daha az lignifiye (odunsu) yapısı sayesinde işlenmeye daha uygundur. Ayrıca, uçucu yağ bileşimi açısından daha dengeli bir sitral profiline sahiptir (Carnat et al., 1998). Özellikle Avrupa farmakopesinde tanımlanan standardizasyon kriterlerine uygunluk açısından da subsp. *officinalis* tercih edilmektedir (EMA, 2013).

Pratik tanı açısından; yapraklarının elle ezilmesiyle yayılan yoğun limon aroması, yaprak dokusunun yumuşaklığı ve yüzeydeki tüy yoğunluğu bu alt türün saha düzeyinde kolayca ayırt edilmesini sağlar (Shakeri et al., 2016). Bu özellik, çiftçiler için erken dönemde tür tespiti ve doğru varyete seçiminde pratik bir avantaj sunar.



Şekil 5. *Melissa officinalis* Alt Türlerinin Karşılaştırmalı Morfolojik Özellikleri.

Şekil 5’ te, *Melissa officinalis* türüne ait iki farklı alt türün — subsp. *officinalis* ve subsp. *altissima* — temel morfolojik farkları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Sol tarafta yer alan subsp. *officinalis*, kültüre alınmış, yüksek uçucu yağ içerikli ve yumuşak tüylü yaprak yapısına sahip formdur. Bu alt tür, ticari yetiştiricilikte en yaygın kullanılan varyanttır. Sağda görülen subsp. *altissima* ise daha doğal alanlarda bulunan, kaba yapılı, daha sert ve az aromatik yapraklara sahip bir alt türdür. Yaprak dokusu daha kalın, tüylülük düzeyi daha düşüktür. Bu farklar, özellikle üretim amacıyla tür seçimi yaparken önem arz etmektedir. Uçucu yağ kalitesi, yaprak dokusu, yayılım biçimi ve aromatik yoğunluk gibi özellikler doğrudan alt türle ilişkilidir (Moradkhani et al., 2010; Petrisor et al., 2022).

3. COĞRAFİ YAYILIM VE HABİTAT

3.1 Doğal Yayılım Alanları

Melissa officinalis, Avrupa kıtasının güney ve batı bölgeleri ile Batı Asya ve Kuzey Afrika’ya özgü, doğal yayılış gösteren bir bitkidir (Moradkhani et al., 2010). Doğal olarak Akdeniz iklimine adapte olmuş olması, ılıman ve nemli bölgelerde kolaylıkla yetişmesini sağlamıştır. Bitki özellikle orman kenarları, çayır alanları, nehir kenarları gibi yarı gölgeli ve nemli habitatlarda yayılış gösterir (Grieve, 1931).

Ayrıca Yunanistan, Arnavutluk, Lübnan ve Suriye gibi doğu Akdeniz ülkelerinde de melisa bitkisi doğal yayılış göstermekte, özellikle dağlık alanlarda mikroklimatik etkilerle başarılı şekilde gelişebilmektedir (Ghasemi Pirbalouti et al., 2016).

3.2 Kültürel Yayılım (Modern Dağılım)

Günümüzde *Melissa officinalis*’in kültürü, Avrupa’nın hemen her ülkesine yayılmış durumdadır.

- Almanya, Fransa, İtalya ve İspanya, en büyük üretici ülkeler arasında yer alır (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023).
- Doğu Avrupa ülkeleri olan Bulgaristan, Romanya, Ukrayna da üretim açısından önemli aktörlerdir.
- Ayrıca ABD, Kanada, İran ve Hindistan gibi ülkelere de hem geleneksel tıpta hem de ihracata dönük üretim yapılmaktadır.

- Bu ülkelerde yaygın üretim, kontrollü koşullarda yapılan melisa tarımı sayesinde yüksek sitral oranına sahip uçucu yağ üretimini hedeflemektedir. Özellikle İran ve Hindistan gibi ülkelerde melisa, gıda ve kozmetik sektörlerine yönelik önemli bir ihraç ürünü konumuna gelmiştir (Miraj et al., 2017).
- Modern dağılımın artmasıyla birlikte, melisa bitkisi farklı yüksekliklerde ve farklı toprak tiplerinde de başarıyla yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu durum, türün ekolojik plastiğini ve adaptasyon kapasitesini ortaya koymaktadır (Mukherjee, 2022).

3.3 Türkiye’de Yayılım ve Yetiştirme Potansiyeli

Türkiye’de doğal florasında yer almayan *Melissa officinalis*, kültüre alınarak yetiştirilen bir bitkidir (Baytop, 1999). Ege Bölgesi (İzmir, Manisa), Akdeniz Bölgesi (Antalya, Isparta, Mersin) ve Karadeniz Bölgesi (Trabzon, Ordu gibi nemli alanlar), bitkinin ticari yetiştiriciliği açısından uygun agroekolojik koşullara sahiptir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Ancak henüz geniş ölçekli tarımsal üretim söz konusu değildir. Mevcut yetiştiricilik çoğunlukla deneme alanları, üniversite projeleri ve küçük üretici girişimleri düzeyindedir (BAKA, 2020).

Türkiye’de melisa yetiştiriciliği üzerine yürütülen projeler çoğunlukla iyi tarım uygulamaları, organik üretim, alternatif tıbbi bitki tarımı gibi başlıklar altında ilerlemektedir (Göktaş & Gıdık, 2019).

Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yer alan Mardin Mezopotamya Ovası, toprak yapısı, güneşlenme süresi ve su kaynaklarının planlı kullanımı açısından melisa üretimi için büyük potansiyel taşımaktadır. Bu bölgede yapılan üç yıllık denemeler olumlu sonuçlar vermiştir.

Yerli üretim açısından tür seçimi, fide kalitesi ve post-hasat işlemlere dikkat edilmesi, ihracata yönelik kaliteli ürün elde edilmesinde belirleyici faktörler arasında yer almaktadır (Kalaycıoğlu, 2018).

4. YETİŞTİRİCİLİK VE TARIMSAL ÜRETİM

4.1 İklim ve Toprak İstekleri

Melissa officinalis subsp. *officinalis*, ılıman iklim koşullarını seven bir bitkidir. Gelişme döneminde orta düzeyde nem ihtiyacı vardır ve özellikle çiçeklenme döneminde yüksek sıcaklıklardan olumsuz etkilenebilir. Optimum

gelişme sıcaklığı 20–25 °C aralığında bildirilmiştir (Dastmalchi et al., 2008). Kısa süreli dona dayanıklılığı bulunsu da, uzun süreli don olayları ciddi zararlara yol açabilir (Moradkhani et al., 2010).

Toprak açısından seçici olmayan bir türdür, ancak en iyi gelişmeyi:

- Organik maddece zengin,
- Orta derecede nemli,
- pH 6.0–7.5 aralığında,
- Hafif tınlı veya tınlı-killi topraklarda gösterir (Yenikalaycı, Güneş & Gül, 2021).

Toprak drenajı iyi olmalı; aksi hâlde kök çürüklüğü ve fungal hastalık riski artar. Organik tarım uygulamalarında, melisanın özellikle kompostla zenginleştirilmiş tınlı topraklarda daha yüksek rosmarinik asit ve geranial içeriği sağladığı rapor edilmiştir (Ceylan et al., 2022).

4.2 Üretim Teknikleri

4.2.1 Çoğaltma Yöntemleri

Tohumla çoğaltılabilir olsa da, *Melissa officinalis*'in tohumları genellikle düşük çimlenme oranına sahiptir. Bu nedenle çoğaltma çoğunlukla:

- Rizom bölünmesi,
- Çelikle üretim (özellikle ilkbaharda alınan yarı odunsu çelikler),
- Fide üretimi ve tarlaya şaşırtma yoluyla gerçekleştirilir (Grieve, 1931).

Genellikle Şubat-Mart aylarında serada hazırlanan fideler, Nisan-Mayıs aylarında tarlaya dikilir. Dikim aralıkları:

- Sıra arası: 40–50 cm,
- Sıra üzeri: 25–30 cm olarak önerilir (Yenikalaycı et al., 2021).
- Doku kültürüyle mikroyayılım tekniği de son yıllarda denenmekte ve özellikle yüksek verimli klonların çoğaltımında başarıyla uygulanmaktadır (Ebrahimi & Zarei, 2021).

4.2.2 Gübreleme ve Sulama

Melissa, yoğun besin tüketen bir bitki değildir ancak verimli topraklarda daha yüksek etken madde birikimi sağlanabilir. Genellikle dekara 2–3 ton yanmış çiftlik gübresi ve NPK dengeli gübreleme önerilmektedir.

Sulama, özellikle fide döneminde kritik önemdedir. Yaz kuraklığı olan bölgelerde 10–15 günde bir damla sulama önerilir (Fallah et al., 2024).

Organik üretimde gübreleme için organomineral gübreler, sıvı solucan gübresi veya kompost çayı gibi doğal kaynakların kullanımının uçucu yağ bileşimi üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir (Sotiropoulou et al., 2023).

4.2.3 Yabancı Ot ve Hastalık Yönetimi

İlk yıl genç fideler yabancı ot rekabetine karşı hassastır. Bu nedenle:

- Malçlama,
- Hafif çapalama,
- Kimyasal olmayan biyolojik mücadele yöntemleri tercih edilmelidir (Shakeri et al., 2016).

Toprak kaynaklı hastalıkların önüne geçmek için ekim nöbeti ve güneşlenme süresi uzun alanlarda dikim yapılması önerilir. Hastalıklara karşı en çok gözlenen patojenler arasında *Fusarium oxysporum* ve *Rhizoctonia solani* yer almakta olup, biyolojik ajanlarla (örneğin *Trichoderma harzianum*) önleme çalışmaları umut verici sonuçlar vermektedir (Hashemi & Abdi, 2022).

4.3 Hasat ve Kurutma

4.3.1 Hasat Zamanı

Etken madde ve uçucu yağ içeriği çiçeklenme döneminde zirve yapar. Bu nedenle hasat, çiçeklenme başlangıcında, tercihen sabah saatlerinde yapılmalıdır (Carnat et al., 1998). Yılda 2–3 biçim alınabilir. İlk yıl genellikle tek biçim yeterlidir. Hasat yüksek sıcaklıkta yapılırsa etken maddeler uçucu karakterlerinden dolayı hızla kaybolabilir. Bu nedenle, sabah serinliğinde hasat yapılması kalite açısından önemlidir (Nguyen & Leblanc, 2012). Hasat zamanının hem uçucu yağ verimi hem de bileşim profili üzerinde belirleyici rol oynadığı vurgulanmaktadır. Örneğin, sabah 08:00 civarında yapılan hasatlarda neral ve geranial oranının en yüksek düzeyde olduğu, öğle sonrası yapılan kesimlerde bu oranın %15'e kadar azaldığı rapor edilmiştir (Abdellatif et al., 2021). Ayrıca çiçeklenme döneminin erken safhalarında hasat edilen bitkilerde rosmarinik asit içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Sotiropoulou et al., 2023).

Hasat zamanının doğru belirlenmesi, yalnızca uçucu yağ verimini değil; aynı zamanda pazarlanabilir kaliteyi, raf ömrünü ve ekstraksiyon verimliliğini de doğrudan etkileyen kritik bir faktördür.

4.3.2 Kurutma Teknikleri

Melissa officinalis, uçucu yağ bileşenleri bakımından hassas bir bitkidir. Yanlış kurutma işlemi, citral, citronellal ve geraniol gibi bileşenlerin uçmasına ve kalite kaybına neden olabilir (Nguyen & Leblanc, 2012).

İdeal kurutma koşulları:

- Gölge ve hava sirkülasyonunun iyi olduğu yerler,
- Kurutma sıcaklığı: 35–40 °C,
- Süre: 4–6 gün.

Tel örgülü kurutma rafları tercih edilmeli; yapraklar üst üste konulmamalı, ince bir tabaka hâlinde serilmelidir. Kontrollü sıcak hava kurutucular, uçucu yağ verimini %20'ye kadar artırabilir ve rengi daha canlı tutar (Kahriman et al., 2022). Infrared (IR) kurutma teknolojisi, geleneksel kurutmaya göre hem süreci hızlandırmakta hem de biyoaktif madde kaybını azaltmaktadır. IR kurutmaya %10 daha fazla uçucu yağ elde edildiği bildirilmiştir (Ghosh et al., 2023). Vakumlu düşük sıcaklıkta kurutma, özellikle linalool ve citronellal gibi uçucu bileşiklerin korunmasında etkili bulunmuştur. Bu yöntemle melisa yapraklarında uçucu yağ kompozisyonunun stabilitesi %90 seviyesinde korunmuştur (Singh & Sharma, 2020).

Geleneksel gölgede kurutma işlemi yapan üreticiler, ürün üzerine ince tül veya bez sererek böcek ve toz girişini önlemeli; aynı zamanda gün boyunca birkaç kez karıştırma işlemi yaparak homojen kuruma sağlamalıdır.

4.4 Ürün Muhafazası, Paketleme ve Nakliye

Kurutulan materyal, doğrudan güneş almayan, serin, kuru ve hava geçirmez ortamlarda saklanmalıdır. Nem oranı %10'un altına düşmelidir. Uçucu yağ distilasyonu yapılacaksa, materyalin maksimum 3 ay içinde işlenmesi önerilir (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023). Ambalajlama aşamasında ışık geçirmeyen kraft torbalar veya vakumlu ambalajlar, melisanın kalitesini uzun süre korumada etkilidir. Ambalajlama sürecinde inert gaz atmosferiyle (örneğin azot) paketleme, oksidatif bozulmaları önleyerek raf ömrünü 2 kata kadar artırabilir (Wojtunik-Kulesza et al., 2019). Uçucu yağlar cam şişelerde,

tercihen amber renkli ve damlalıklı kapaklarla muhafaza edilmeli; metal temasından kaçınılmalıdır (Abdellatif et al., 2021). Melisa ürünlerinin depolandığı alanlarda ortam sıcaklığı 15–20 °C arasında tutulmalı ve nem %50'nin altında olmalıdır. Küçük ölçekli üreticiler, cam kavanozlar yerine ışık geçirmeyen kraft ambalajlar veya gıda uyumlu vakumlu poşetler tercih ederek ürün kalitesini daha ekonomik yollarla koruyabilir.

5. KİMYASAL İÇERİK VE ETKEN MADDELER

5.1 Uçucu Yağ Bileşenleri

Melissa officinalis, uçucu yağ içeriği bakımından zengin bir bitkidir. Uçucu yağlar çoğunlukla hidrodistilasyon (su buharı distilasyonu) yöntemi ile elde edilir.

Başlıca bileşenler:

- **Citral** (geranial + neral): 30–40%,
- **Citronellal**: 10–20%,
- **Geraniol** : 5–10%,
- **Linalool** : 5–8%,
- **β-Caryophyllene** : 1–3% (Carnat et al., 1998; Dastmalchi et al., 2008).

Bu oranlar, iklim koşulları, toprak yapısı, hasat zamanı ve kurutma tekniğine göre değişiklik gösterebilir (Nguyen & Leblanc, 2012).

Cezayir'de yetiştirilen *Melissa officinalis* örneklerinden elde edilen uçucu yağ analizinde, ana bileşenler sırasıyla geranial (%45.06), neral (%31.72), citronellal (%6.42) ve β-caryophyllene (%2.20) olarak tespit edilmiştir. Bu kompozisyon, literatürde *M. officinalis* subsp. *officinalis* için bildirilen kimyasal profil ile büyük oranda örtüşmekte olup, sitral temelli bir uçucu yağ karakteristiği göstermektedir (Abdellatif et al., 2021).

5.2 Fenolik Bileşikler ve Antioksidan İçerik

Melissa officinalis yapraklarında yüksek oranda rosmarinik asit bulunur. Bu bileşik, antioksidan etkisinin temel kaynağıdır (Petersen & Simmonds, 2003).

Bunun yanı sıra:

- Kafeik asit,
- Ferulik asit,

- Apigenin,
- Luteolin,
- Quercetin gibi flavonoidler de tespit edilmiştir (Shakeri et al., 2016).

Yapılan çalışmalarda, bu bileşiklerin toplam antioksidan kapasiteye önemli katkı sağladığı ve serbest radikallerle savaşmada etkili olduğu belirtilmiştir.

5.3 Biyoaktif Maddelerin Dağılımı

Bitki Bölgesi Baskın Bileşikler

Yaprak	Citral (neral + granial), rosmarinik asit, flavonoidler
Çiçek	Geraniol, citronellal, linalool
Kök	Düşük düzeyde uçucu bileşik

5.4 İçeriği Etkileyen Faktörler

- Bitkinin yetiştirildiği iklim ve toprak özellikleri,
- Kurutma sıcaklığı,
- Bitkinin gelişme evresi (çiçeklenme öncesi vs sonrası),
- Hasat zamanı,
- Çoğaltma yöntemi gibi değişkenler, kimyasal içerik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023).

6. FARMAKOLOJİK ETKİLER VE SAĞLIK KULLANIMLARI

6.1 Geleneksel Kullanım Alanları

Melissa officinalis, tarih boyunca özellikle Orta Doğu, Akdeniz ve Avrupa tıbbında yaygın olarak kullanılmıştır. Bitki, geleneksel tıpta:

- Uykusuzluk ve sinirlilik,
- Mide ve bağırsak rahatsızlıkları (gaz, kramp, dispepsi (hazımsızlık)),
- Hafif depresyon ve stres semptomlarının giderilmesi amacıyla kullanılmıştır (Grieve, 1931; Miraj et al., 2017).

Avrupa İlaç Ajansı (Mukherjee, ed., 2022), *M. officinalis* yaprağını (*Melissae folium*) “uykusuzluk ve hafif stres belirtilerinin giderilmesinde geleneksel bitkisel tıbbi ürün” olarak sınıflandırmıştır (Mukherjee, ed., 2022).

6.2 Modern Farmakolojik Bulgular

a) Anksiyolitik ve Sedatif Etki

Melissa özütleri GABA reseptörlerini modüle ederek sakinleştirici etki gösterir. Klinik çalışmalarda, melisa özü içeren preparatların anksiyete skorlarını düşürdüğü ve uyku kalitesini artırdığı gösterilmiştir (Kennedy et al., 2002; Cases et al., 2011).

b) Antioksidan ve Anti-inflamatuar Etki

Rosmarinik asit ve flavonoidler, antioksidan aktivitenin temel bileşenleridir. Bu maddeler, serbest radikalleri nötralize ederek hücre hasarını engeller (Petersen & Simmonds, 2003; Dastmalchi et al., 2008).

c) Antimikrobiyal ve Antiviral Etki

Melissa uçucu yağları, hem Gram (+) hem de Gram (–) bakterilere karşı etkili bulunmuştur. Özellikle Herpes Simplex Virüsü (HSV-1, HSV-2) üzerinde in vitro antiviral etki gösterdiği çalışmalarda bildirilmiştir (Allahverdiyev et al., 2004).

d) Gastrointestinal Etki

Sindirim sistemi düz kaslarını gevşetici (spazmolitik) etkisi mevcuttur. Bu etki, kalsiyum kanal blokajı ve muskarinik reseptörler üzerinden gerçekleşir (Sadraei et al., 2003).

e) Nöroprotektif Etki

Bazı laboratuvar çalışmalarında Melissa özütünün asetilkolinesteraz enzimini inhibe ettiği ve Alzheimer hastalığına karşı nöroprotektif potansiyel taşıdığı gösterilmiştir (Kennedy & Scholey, 2006).

6.3 Formülasyon ve Kullanım Şekilleri

Form	Kullanım Alanı
Kuru ekstrakt (çay, kapsül)	Anksiyete, uykusuzluk, sindirim rahatsızlıkları
Uçucu yağ (topikal / aromaterapi)	Baş ağrısı, stres, antiviral destek
Tentür (alkollü özüt)	Geleneksel kullanımda sindirim sistemi
Merhem / krem	Herpes lezyonları, cilt rahatsızlıkları

6.4 Güvenlik ve Toksikoloji

Melissa officinalis genel olarak “GRAS” (Generally Recognized as Safe) sınıfındadır. Ancak:

- Aşırı dozlarda sedatif ilaçlarla etkileşime girebilir,
- Tiroid hormonlarıyla (levotiroksin) etkileşimi olduğu bildirilmiştir,
- Hamilelik ve emzirme dönemlerinde doktora danışılmadan kullanılmamalıdır (Mukherjee, ed., 2022).

Mukherjee ve ESCOP verilerine göre:

- Günlük önerilen doz: 1.5–4.5 g kuru yaprak (günde 2–3 kez) (ESCOP, 2003).

7. TÜRKİYE’ DE ÜRETİM DURUMU VE EKONOMİK ÖNEMİ

7.1 Mevcut Üretim Durumu

Melissa officinalis, Türkiye’de doğal yayılışa sahip olmayan; ancak kültürü yapılan tıbbi aromatik bitkiler arasında yer alır (Baytop, 1999). Son yıllarda artan bitkisel ürün talebi doğrultusunda, çeşitli bölgelerde deneme amaçlı veya küçük ölçekli tarla üretimleri başlamıştır (BAKA, 2020).

Üretim çoğunlukla aşağıdaki bölgelerde yoğunlaşmaktadır:

- **Ege Bölgesi:** İzmir, Manisa, Aydın
- **Akdeniz Bölgesi:** Antalya, Isparta, Mersin
- **Karadeniz Bölgesi:** Trabzon, Ordu
- Ayrıca Mardin Mezopotamya Ovası gibi Güneydoğu Anadolu’daki bazı mikroklima alanlarında başarılı denemeler yapılmıştır (Kişisel gözlem).

- Son yıllarda bazı kırsal kalkınma projeleri kapsamında, GAP ve DOKAP gibi bölgesel destek programları tarafından melisa yetiştiriciliği desteklenmektedir. Bu girişimler, hem kırsal gelirleri artırmakta hem de tıbbi bitki çeşitliliğini yaygınlaştırmaya katkı sağlamaktadır (Gül, 2019).
- Bununla birlikte, Türkiye genelinde *Melissa officinalis* üretimi hâlen sınırlı kalmakta; üretim çoğunlukla küçük işletmeler, kooperatifler ya da üniversite araştırma alanlarında sürdürülmektedir (TMO, 2023).

7.2 Üretim Verileri ve Piyasa Durumu

Ortalama Verim Değerleri:

- **Kuru ot verimi:** 300–500 kg/da
- **Uçucu yağ oranı:** 0.05–0.2% (500 kg kuru madde $\approx$ 250–1000 mL yağ/da)

Piyasa Değerleri (2023):

- Kuru melisa yaprağı: 150–200 TL/kg
- Melisa uçucu yağı: 3.000–4.500 TL/100 mL

Bu veriler değerlendirildiğinde, 1 dekar melisa yetiştiriciliğinden 60.000–80.000 TL arası yıllık gelir elde edilebileceği öngörülmektedir (Yenikalaycı et al., 2021; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Ayrıca, organik tarım sertifikalı melisa ürünleri, %20–30 oranında daha yüksek fiyata alıcı bulabilmektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri için organik sertifikalı tıbbi bitkiler önemli bir ihracat kalemi hâline gelmiştir (Özdemir & Erbaş, 2020).

7.3 Katma Değerli Ürün Üretimi ve Pazarlama

Melissa bitkisi, yalnızca hammadde olarak değil; aynı zamanda:

Uçucu yağ (distilasyon ile)

Bitkisel çay karışımları

Doğal kozmetik ürünleri (sabun, krem, tonik)

Takviye edici gıdalar, kapsüller

Gıda katkı maddesi (aroma ve tatlandırıcı) olarak ta kullanım alanları mevcuttur.

Bu ürünlerin iç ve dış pazarda talebi yüksektir. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerine ihracat potansiyeli mevcuttur (Nurzyńska-Wierdak et al., 2023). Özellikle son yıllarda Avrupa'da wellness ve aromaterapi pazarlarının büyümesiyle birlikte melisa uçucu yağına olan talep artmıştır (Abdellatif et al., 2021). Türkiye'de de bazı markalar (örneğin, organik ürün zincirleri, eczane tipi üreticiler) bu bitkiyi işleyerek yurt dışına ihraç edebilir hâle gelmiştir (İGEME, 2022).

7.4 Devlet Destekleri ve Kırsal Kalkınma

Tıbbi ve aromatik bitkiler, Tarım ve Orman Bakanlığı, TKDK / IPARD ve Ziraat Bankası gibi kurumların verdiği çeşitli teşvik ve hibe programları kapsamında desteklenmektedir. *Melissa officinalis* üreticileri aşağıdaki desteklerden yararlanabilmektedir:

- TKDK / IPARD hibeleri (makine ekipman, sulama, distilasyon tesisi)
- Kırsal kalkınma projeleri (DOKAP, GAP İdaresi destekleri)
- Tıbbi Aromatik Bitki Yetiştiriciliği Eğitim ve Proje Destekleri
- Kadın çiftçi ve genç girişimci destek programları

2021 yılında yürürlüğe giren "Tıbbi ve Aromatik Bitki Eylem Planı", melisa gibi bitkilerin hem üretim hem de katma değerli ürün bazında geliştirilmesini hedefleyen stratejik bir belgedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Bu destekler özellikle kırsal alanda kadın girişimciler ve genç çiftçiler için önemli bir fırsat sunmaktadır (Gül, 2019).

8. TÜRKİYE'DE EKOLOJİK UYGUNLUK: MARDİN MEZOPOTAMYA OVASI ÖRNEĞİ

Türkiye'de *Melissa officinalis* üretiminin yaygınlaşabilmesi için agroekolojik açıdan uygun bölgelerin tespiti kritik öneme sahiptir. Özellikle **Mardin Mezopotamya Ovası**, hem iklim hem de toprak koşulları bakımından bitki için dikkat çekici bir potansiyele sahiptir.

8.1 İklimsel Uygunluk

Mardin Ovası, yarı kurak (semi-arid) iklime sahip olmakla birlikte, ilkbahar-yaz döneminde yeterli sıcaklık ve güneşlenme süresi ile melisa üretimi için uygun çevre sunmaktadır.

- **Yıllık ortalama sıcaklık:** 16–18 °C

- **Yıllık güneşlenme süresi:** 2.800–3.000 saat
- **İlkbahar yağışları:** fide gelişimini destekler
Bu koşullar, bitkinin gelişme döneminde (Mart–Haziran) su stresi yaşanmadan büyümesine olanak tanır (T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022).

8.2 Toprak Özellikleri ve Adaptasyon

Mardin Ovası toprakları:

- Hafif alkali (pH 7.0–8.0),
- Killi-tınlı yapıdadır,
- Organik madde düzeyi düşüktür, ancak iyi drenaj sağlar.

Yapılan deneme çalışmalarında, bu bölge topraklarında yetiştirilen melisa bitkisinde:

- Ortalama kuru ot verimi: 450–600 kg/da,
- Ortalama uçucu yağ oranı: %0.14 olarak tespit edilmiştir (Kişisel saha verisi, 2021–2023).

Bu sonuçlar, özellikle damla sulama sistemleri ile desteklenen üretim modellerinde oldukça başarılı sonuçlar alınabileceğini göstermektedir.

8.3 Yetiştiricilik Potansiyelinin Geliştirilmesi

Mardin bölgesinde:

- Su kısıtı olan alanlar için erken hasat,
- Organik tarım sertifikalı üretim modelleri,
- Kadın kooperatifleri aracılığıyla melisa kurutma ve işleme atölyeleri gibi uygulamalar geliştirilmelidir.

Ayrıca:

- GAP Bölgesi'nin tarımsal kalkınma projeleri kapsamında melisa üretimi,
- Uçucu yağ işleme tesislerinin kurulması ile entegre değerlendirilebilir (GAP İdaresi Başkanlığı, 2021).

9. GELECEĞE YÖNELİK ARAŞTIRMA VE KALKINMA ÖNERİLERİ

9.1 Tarımsal Ar-Ge ve Eğitim İhtiyacı

- Çeşit adaptasyon denemeleri (örn. yerli varyeteler)

- Organik tarım koşullarında kalite parametrelerinin analizi
- Hasat sonrası uçucu yağ stabilitesine yönelik araştırmalar
- Gölge kurutma sistemlerinin çiftçi düzeyinde yaygınlaştırılması

Ayrıca, Ziraat Fakülteleri ve Tarım İl Müdürlükleri iş birliğiyle bölgesel çiftçi eğitim programları yaygınlaştırılmalıdır (Yenikalaycı et al., 2021).

9.2 Katma Değerli Ürün ve Marka Geliştirme

- Coğrafi işaretleme (GI) ile “Mardin Melisası” gibi yöresel kimlik çalışmaları,
- Melisa çayı, cilt bakım suyu, tentür gibi ürün çeşitlendirmeleri,
- Eczacılık ve doğal sağlık ürünleri sektörüne ara hammadde sağlanması önerilmektedir.

Bu sayede bitki yalnızca tarımsal değil, kırsal kalkınma ve kadın istihdamı açısından da değerli bir kaynak hâline gelecektir (Gül, 2019).

10. SONUÇ

Melissa officinalis subsp. *officinalis*, çok yönlü tıbbi ve ekonomik özellikleriyle Türkiye'nin tıbbi ve aromatik bitki stratejileri içinde önemli bir yer edinebilecek kapasitededir. Gerek geleneksel kullanımı, gerekse modern bilimsel araştırmalarla desteklenen farmakolojik etkileri, bu bitkiyi hem yerel hem de uluslararası pazarlar için cazip kılmaktadır.

Türkiye, uygun iklim ve toprak çeşitliliği ile melisa üretiminde büyük potansiyel taşımaktadır. Özellikle Mardin Mezopotamya Ovası gibi bölgelere odaklanılarak yapılacak pilot uygulamalar ve AR-GE çalışmaları ile hem üretim hacmi hem de ürün kalitesi artırılabilir.

Hasat sonrası işlemler, doğru kurutma ve depolama teknikleri, üreticilere ekonomik anlamda yüksek kazanç getirebilecek değer zincirini oluşturur. Bu bağlamda, *Melissa officinalis*' in Türkiye’de sürdürülebilir, verimli ve katma değerli bir ürün olarak geliştirilmesi mümkündür ve önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abdellatif, F., Akram, M., Begaa, S., Messaoudi, M., Benarfa, A., Egbuna, C., Ouakouak, H., Hassani, A., Sawicka, B., & Elbossaty, W. F. M. (2021). Minerals, essential oils, and biological properties of *Melissa officinalis* L. *Plants*, 10(6), 1066. <https://doi.org/10.3390/plants10061066>
2. Allahverdiyev, A. M., Duran, N., Ozguven, M., Koltas, S., & Zareie, H. (2004). Antiviral activity of the essential oil of *Melissa officinalis* L. against herpes simplex virus type-2. *Phytomedicine*, 11(7-8), 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2003.07.014>
3. BAKA (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı). (2020). *Tıbbi ve aromatik bitkiler sektörel raporu*. Isparta.
4. Baytop, T. (1999). *Türkiye’de bitkiler ile tedavi: Geçmişte ve bugün* (2. baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.
5. Carnat, A. P., Carnat, A., Fraisse, D., & Lamaison, J. L. (1998). The aromatic and polyphenolic composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L. subsp. *officinalis*) tea. *Phytotherapy Research*, 12(3), 153–156. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199805\)12:3<153::AID-PTR243>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199805)12:3<153::AID-PTR243>3.0.CO;2-D)
6. Cases, J., Ibarra, A., Feuillère, N., Roller, M., & Sukkar, S. G. (2011). Pilot trial of *Melissa officinalis* L. leaf extract in the treatment of volunteers suffering from mild-to-moderate anxiety disorders and sleep disturbances. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 4(3), 211–218. <https://doi.org/10.1007/s12349-011-0052-6>
7. Ceylan, S., Karakoç, Ö., & Gül, A. (2022). Organik tarımda tıbbi aromatik bitkiler: *Melissa officinalis* üzerine güncel uygulamalar. *Akdeniz Tarım Dergisi*, 35(2), 129–138.
8. Dastmalchi, K., Damien Dorman, H. J., Laakso, I., & Hiltunen, R. (2008). Chemical composition and antioxidative activity of Iranian lemon balm (*Melissa officinalis* L.) extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 41(3), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.007>
9. Ebrahimi, M., & Zarei, M. (2021). Micropropagation of lemon balm (*Melissa officinalis*) using tissue culture techniques. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(3), 44–50.

10. EMA (European Medicines Agency). (2013). *Assessment report on Melissa officinalis L., folium*. EMA/HMPC/342334/2013.
11. ESCOP (European Scientific Cooperative on Phytotherapy). (2003). *Monographs on the medicinal uses of plant drugs – Melissa officinalis L.* Exeter: ESCOP.
12. Fallah, S., Moradi, R., Rahi, A., & Zadeh, M. S. (2024). Optimizing Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) Cultivation under Varying Organic Fertilizer Regimes. *Plants*, 13(4), 870. <https://doi.org/10.3390/plants13040870>
13. Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., & Golparvar, A. (2016). Variation in essential oil composition of *Melissa officinalis* populations cultivated in Iran. *Industrial Crops and Products*, 84, 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.002>
14. Grieve, M. (1931). *A modern herbal: The medicinal, culinary, cosmetic and economic properties, cultivation and folklore of herbs, grasses, fungi, shrubs and trees*. London: Jonathan Cape.
15. Ghosh, P., Das, S., & Roy, A. (2023). *Comparative study of drying methods on essential oil yield of lemon balm (Melissa officinalis L.)*. *Journal of Essential Oil Research*, 35(3), 215–222.
16. Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1–9. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bufbd/issue/46147/580437>.
17. Hashemi, M., & Abdi, G. (2022). Biological control of root pathogens in *Melissa officinalis* using *Trichoderma harzianum*. *Biological Agriculture & Horticulture*, 38(1), 13–24.
18. İGEME – İhracatı Geliştirme Etüt Merkezi. (2022). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler İhracat Raporu. <https://www.igeme.gov.tr>
19. Kahrıman, F., Yılmaz, A., & Kara, M. (2022). Farklı kurutma yöntemlerinin *Melissa officinalis* bitkisi uçucu yağ bileşimine etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 31(1), 88–95.
20. Kalaycıoğlu, Z. (2018). *Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yetiştiriciliği*. Ankara: Detay Yayıncılık.
21. Kennedy, D. O., & Scholey, A. B. (2006). The psychopharmacology of European herbs with cognition-enhancing properties. *Current Pharmaceutical Design*, 12(35), 4613–4623.

22. Kennedy, D. O., Wake, G., Savelev, S., Tildesley, N. T., Perry, E. K., & Scholey, A. B. (2002). Modulation of mood and cognitive performance following acute administration of single doses of *Melissa officinalis* (Lemon balm) with human CNS nicotinic and muscarinic receptor-binding properties. *Neuropsychopharmacology*, 27(5), 791–801. [https://doi.org/10.1016/S0893-133X\(02\)00352-8](https://doi.org/10.1016/S0893-133X(02)00352-8)
23. Mukherjee, P. K. (Ed.). (2022). *Evidence-based validation of herbal medicine: Translational research on botanicals* (2nd ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02569-7>
24. Miraj, S., Rafieian-Kopaei, M., & Kiani, S. (2017). *Melissa officinalis* L.: A review study with an antioxidant prospective. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22(3), 385–394. <https://doi.org/10.1177/2156587216663433>
25. Moradkhani, H., Sargsyan, E., Bibak, H., Naseri, B., Sadat-Hosseini, M., Fayaz, F., & Meftahizade, H. (2010). *Melissa officinalis* L., a valuable medicine plant: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(25), 2753–2759. <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-abstract/5AFC15D27306>
26. Nguyen, T. H., & Leblanc, N. (2012). Influence of drying techniques on chemical composition and antioxidant activity of *Melissa officinalis* L. *Journal of Essential Oil Research*, 24(6), 535–541. <https://doi.org/10.1080/10412905.2012.730590>
27. Nurzyńska-Wierdak, R., Bogucka-Kocka, A., & Szymczak, G. (2023). Influence of environmental and agronomic factors on essential oil composition of *Melissa officinalis* L.: A review. *Industrial Crops and Products*, 201, 116870. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116870>
28. Özdemir, C., & Erbaş, M. (2020). Tıbbi ve aromatik bitkilerin ihracat potansiyeli ve organik tarım bağlamında değerlendirilmesi. *Uluslararası Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 3(1), 45–53.
29. Petersen, M., & Simmonds, M. S. J. (2003). Rosmarinic acid. *Phytochemistry*, 62(2), 121–125. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00513-7)
30. Petrisor, C., Radu, M. L., Dobrescu, C. M., & Badea, M. (2022). Comparative study of essential oils from *Melissa officinalis* L.

- cultivated in various pedoclimatic conditions. *Romanian Biotechnological Letters*, 27(2), 3326–3335.
31. Sadraei, H., Ghannadi, A., & Malekshahi, K. (2003). Relaxant effect of *Melissa officinalis* extract on rat ileum contraction. *Journal of Ethnopharmacology*, 87(2–3), 183–187. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00133-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00133-3)
32. Shakeri, A., Sahebkar, A., & Javadi, B. (2016). *Melissa officinalis* L. – A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 188, 204–228. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.05.010>
33. Singh, R., & Sharma, N. (2020). *Optimizing vacuum drying for retention of essential oils in medicinal plants*. *Plant Biotechnology Reports*, 14(1), 71–80.
34. Sotiropoulou, D. E., Panagiotopoulou, A., & Koutsos, T. (2023). Organic fertilization and *Melissa officinalis* L.: Yield, essential oil, and phenolic profile. *Journal of Essential Oil Research*, 35(1), 17–26. <https://doi.org/10.1080/10412905.2023.2198467>
35. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). *Tıbbi ve aromatik bitkiler üretim raporu*. <https://tarimorman.gov.tr>
36. T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *İklim verileri*. <https://mgm.gov.tr>
37. TMO – Toprak Mahsulleri Ofisi. (2023). *Tıbbi Bitkiler Piyasa Raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları.
38. World Health Organization. (2013). *WHO traditional medicine strategy 2014–2023*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506096>
39. Wojtunik-Kulesza, K. A., Kasprzak, K., Oniszcuk, A., & Waksmundzka-Hajnos, M. (2019). *The influence of storage conditions on the quality and stability of herbal essential oils*. *Industrial Crops and Products*, 139, 111538.
40. Yenikalaycı, N., Güneş, A., & Gül, H. (2021). Determination of yield and quality characteristics of some lemon balm (*Melissa officinalis* L.) populations in different growing conditions. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 123–130. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.825739>

BÖLÜM 4

TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA TAVUK YUMURTASI ÜRETİM VE DIŞ TİCARETİNİN MEVCUT DURUMU VE YILLARA GÖRE DEĞİŞİMİ

Doç. Dr. Nuran TAPKI¹

Prof. Dr. İbrahim TAPKI²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17680700>

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Hatay/TÜRKİYE, Orcid no: 0000-0001-5044-795X, e-mail: ntapki@mku.edu.tr

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Hatay/TÜRKİYE, Orcid no:0000-0002-4552-6941, e-mail: ibtapki@mku.edu.tr

1.GİRİŞ

Yumurta, insan sağlığı ve beslenmesinde küçük yaşlardan itibaren tüketilen, farklı pişirme şekillerinde servis edilebilen, çoğunlukla kahvaltıda pişmiş olarak tüketiminin yanı sıra, çiğ olarak ta unlu mamullerde ve yemeklere kullanılabilen, sayısız kullanım alanı ve faydası olan bir besin kaynağıdır. Yumurta, insan vücudunun dengeli ve yeterli beslenmesi için alınması gereken hayvansal proteinin kaynağıdır. Türkiye’de kişi başına yumurta tüketimi yıllık ortalama 10 kg, dünyada ise 10.48 kg olarak bildirilmiştir (Anonim, 2022). Kişi başına yumurta tüketimi en yüksek Hollanda’da olup, bu ülkeyi Çin (21.72 kg/yıl), Meksika (21.52kg/yıl), Katar (20.45 kg/yıl) ve Japonya (19.92kg/ yıl) izlemektedir. Yumurta tüketimi ile sağlanan günlük protein miktarı kişi başına dünyada ortalama 3.27 gram iken, bu miktar Türkiye’de 3.13 gram olarak belirtilmiştir (Anonim, 2022). Yumurta insan vücudunun ihtiyacı olan birçok besin ögesini içermektedir (Göğüş, 1986; İskender ve Kanbay, 2014). AB ülkelerinde yıllık kişi başı yumurta tüketimi 270, İsrail’de 330, Yunanistan’da 180, Türkiye’de ise 200 adedin altındadır. Büyük boy bir yumurtada ortalama 6.3 g protein, 4.8 g yağ ve 0.4 g karbonhidrat bulunmaktadır (Anonymous, 2014; İskender ve Kanbay, 2014). Ayrıca A, D, E, K ve B grubu vitaminler ile demir ve fosfor gibi mineral maddelerce zengindir (Stadelman ve ark. 1988; Kanbay, 2014). Yumurtada bulunan kolin, beyin fonksiyonlarının yerine getirilmesi için gerekli olan bir besin maddesidir. Hayvansal bir gıda olmasına rağmen yumurtada yağ oranı oldukça düşüktür. Araştırmalar, yumurtada kalp ve damar hastalıkları için risk oluşturan doymuş yağ asitlerinin ve toplam yağ miktarının düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kahvaltıda tüketilen yumurtanın vücuttaki yağ yakımını da arttırdığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Anonim, 2025). Yumurta, aynı zamanda insan vücudunda sentezlenemeyen ve besinler ile dışarıdan alınması gerekli olan "esansiyel amino asitler" bakımından da zengin bir hayvansal gıdadır. Yumurtadan alınan proteinin sindiriminin kolay olması nedeniyle biyolojik değeri 100 sayılmakta ve anne sütü ile birlikte “örnek protein“ kaynağı olarak ifade edilmektedir (Hasipek ve Aktaş 1997; Kanbay, 2014). Ayrıca, yumurtanın kalorisi düşük olduğundan (80-85 kcal), kilo alımında da etkisi düşüktür (Yalçın ve ark., 2020; Kanbay, 2014). Bu denli faydalı bir ürün olan yumurtanın tüketimi Türkiye’de dünya ülkeleri ile kıyaslandığında ortalamanın hemen altında, gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında ise çok altında kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; İnsan sağlığı açısından önemli bir yere sahip olan tavuk yumurtası üretiminde; Dünya'daki ve Türkiye'deki mevcut durumun ortaya konulması, yıllara göre değişimin belirlenmesi, ithalat ve ihracat durumu ile Türkiye'nin rekabet gücünün ortaya konulmasıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın ana materyali, ikincil verilerden oluşmuştur. Veriler, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerinden alınmıştır. Bunun yanında konuyla ilgili daha önceden yapılmış olan bilimsel çalışmalardan, sektör raporlarından da faydalanılmıştır. Veriler tablolarla sunulmuş ve Dünya'da ve Türkiye'deki gelişmeler irdelenmiştir. Basit indeks hesapları ile yıllara göre gelişmeler bulunmuş ve yüzde oranlar hesaplanmıştır

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Dünya Tavuk Yumurtası Üretimi

Dünya tavuk sayısı ve yıllara göre değişimi Tablo 1'de verilmiştir. 2005 yılında tavuk sayısı yaklaşık olarak 17 milyar adet civarında iken, bu sayı 2023 yılında 27.2 milyara kadar yükselmiştir. Kuş gibi kanatlı hayvan hastalıklarının 2005 yılında ortaya çıkmasından sonra tavuk sayısı hızlı bir şekilde düşmüş, ancak 2010 yılından sonra yeniden yükselişe geçmiştir. Tavuk sayısı 2005 yılından 2023 yılına kadar %60.35 oranında artış göstermiştir. Tüm kanatlı hayvan varlığı içerisinde tavuk %93.46'lık bir oransal paya sahiptir. Bu oran gerek et, gerekse yumurta tüketiminde tavuğun önemini açıkça ortaya koymaktadır. Toplam yumurta üretimi içerisinde tavuk yumurtası oranı %93.55'tir. Dünya tavuk yumurtası üretimi 2005 yılından günümüze kadar %48 oranında artış göstermiştir. Yıllara göre meydana gelen değişim sürekli artış yönünde olmuş, sadece 2011 yılında bir önceki yıla oranla %1.5'lik bir azalış gözlenmiştir.

Tablo 1. Dünya Tavuk Sayısı Ve Kanatlılar İçindeki Payı (1000 adet)

Yıllar	Tavuk Sayısı	Diğer Kanatlı Hayvan Sayısı	Toplam Kanatlı Sayısı	Tavuk sayısı oranı (%)	İndeks
2005	16.977.501	1.654.331	18.631.832	91.12	100.00
2010	20.109.245	1.839.370	21.948.615	91.62	118.45
2011	19.868.342	1.698.162	21.566.504	92.13	117.03
2012	20.425.727	1.744.046	22.169.773	92.13	120.31
2013	20.923.557	1.714.532	22.638.089	92.43	123.24
2014	21.128.844	1.670.975	22.799.819	92.67	124.45
2015	21.887.121	1.719.829	23.606.950	92,71	128.92
2016	22.606.536	1.747.870	24.354.406	92.82	133.16
2017	24.699.087	1.792.003	26.491.090	93.24	145.48
2018	25.124.426	1.786.056	26.910.482	93.36	147.99
2019	25.780.800	1.795.497	27.576.297	93.49	151.85
2020	26.011.253	1.821.511	27.832.764	93.46	153.21
2021	26.027.441	1.804.171	27.831.612	93.52	153.31
2022	26.752.925	1.876.348	28.629.273	93.45	157.58
2023	27.223.471	1.904.278	29.127.749	93.46	160.35

Kaynak: Anonim, 2023 (*): İndeks (2005=100)

Dünya tavuk yumurtası üretim miktarı ve yıllara göre değişimi Tablo 2’de verilmiştir. Tavuk yumurtası üretimi 2023 yılında 91.128.702 tondur. Tabloda görüldüğü gibi yıllara göre düzenli bir üretim artışı meydana gelmiş ve dalgalanmalar görülmemiştir (Anonim, 2023).

Tablo 2. Dünya Tavuk Yumurtası Üretimi ve Gelişimi (Ton)

Yıllar	Tavuk Yumurtası Üretimi	Diğer Kanatlı Hayvan Yumurta üretimi	Toplam Yumurta Üretimi	Tavuk yumurtası Payı (%)	İndeks*
2005	56.935.537	4.490.762	61.426.299	92.69	100.00
2010	64.489.352	5.175.546	69.664.898	92.57	113.26
2011	65.732.134	5.267.667	70.999.801	92.58	115.45
2012	67.314.523	5.375.563	72.690.086	92.60	118.23
2013	68.988.253	5.435.915	74.424.168	92.70	121.17
2014	70.455.663	5.541.154	75.996.817	92.71	123.74
2015	74.491.288	5.798.793	80.290.081	92.78	130.83
2016	74.637.416	5.982.273	80.619.689	92.58	131.09
2017	79.017.941	5.687.521	84.705.462	93.29	138.78
2018	80.398.730	5.686.941	86.085.671	93.39	142.16
2019	84.068.576	5.807.738	89.876.314	93.54	147.65
2020	87.142.720	6.127.445	93.270.165	93.43	153.05
2021	87.562.498	6.053.017	93.615.515	93.53	153.79
2022	89.115.826	6.131.928	95.247.754	93.56	156.52
2023	91.128.702	6.284.195	97.412.897	93.55	160.05

Kaynak: Anonim, 2023(*):indeks(2005)=100

Tavuk yumurtası üretiminde öne çıkan ilk 10 ülke ve üretim miktarları Tablo 3'te gösterilmiştir. Tavuk yumurtası üretiminin %71.23'ü bu 10 ülke tarafından, %28.77'si ise diğer ülkeler tarafından gerçekleştirilmiştir. Çin, tavuk yumurtası üretiminde birinci ülke olup, dünya toplam tavuk yumurtası üretiminin %34.01'ini tek başına gerçekleştirmiştir (Anonim, 2023). Çin'in yumurta üretim miktarı, Hindistan'dan yaklaşık 4 katı kadar gerçekleşmiştir. Türkiye dünya tavuk yumurtası üretiminde ilk 10 ülke içerisinde yer almaktadır. Toplam yumurta üretimi içerisindeki payı %1.42 olarak gerçekleşmiştir. Çin dışında üretimde önemli olan diğer ülkeler ise sırasıyla Hindistan (%8.62), ABD (%7.16), Endonezya (%6.04), Brezilya (%3.75), Meksika (%3.48), Rusya (%2.84), Japonya (%2.68) ve Türkiye (%1.42), Pakistan (%1.23)'dür.

Tablo 3. Dünya Tavuk Yumurtası Üretiminde Önde Gelen 10 Ülkenin Yumurta Üretim Miktarı (1000 Ton)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023	%
Çin	23.820	26.272	30.249	29.748	30.153	30.992	34.01
Hindistan	3.378	4.317	6.713	7.128	7.611	7.853	8.62
ABD	5.437	5.757	6.659	6.639	6.529	6.529	7.16
Endonezya	2.121	1.373	5.142	5.525	5.942	5.507	6.04
Brezilya	2.220	2.577	3.261	3.298	3.319	3.417	3.75
Meksika	2.381	2.653	3.016	3.047	3.102	3.172	3.48
Rusya	2.261	2.357	2.492	2.496	2.560	2.591	2.84
Japonya	2.515	2.521	2.633	2.574	2.597	2.438	2.68
Türkiye	740	1.045	1.237	1.207	1.238	1.290	1.42
Pakistan	556	721	946	1.000	1.058	1.119	1.23
Toplam	45.429	49.593	62.348	62.662	64.109	64.908	71.23
D.Ülkeler	19.060	22.898	21.795	24.900	25.007	26.221	28.77
Dünya	64.489	72.491	84.143	87.562	89.116	91.129	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

3.2. Dünya Tavuk Yumurtası İhracatı

Tavuk yumurtası üretiminde Çin, Hindistan, ABD, Endonezya gibi ülkeler ilk sıralarda yer alırken, ihracat rakamlarına bakıldığında bu ülkelerin ilk sıralarda yer almadığı görülmektedir. Bu durum ülke içi tüketimin yüksek olması ve önceliğin ülke içi tüketimine verilmesinden kaynaklanmıştır. Tavuk yumurtası ihracatında Hollanda yapmış olduğu ihracat miktarı ile ilk sırada yer almaktadır. Toplam ihracat miktarının %20.63'ü bu ülke tarafından yapılmaktadır. Hollanda kendisine en yakın ihracat miktarı olan Polonya'nın (%10.24) iki katı ihracat miktarına sahiptir. Türkiye ihracat miktarı bakımından üçüncü sırada yer almakta olup, toplam ihracat miktarının %9.39'unu gerçekleştirmiştir. Çin yapmış olduğu ihracat değeri ile (%6.15) dördüncü, ABD ise beşinci sıradadır (%6.08). Tablo 4'te belirtilen 10 ülke toplam ihracatın %73.40'ını, diğer ülkeler ise %26.60'ını gerçekleştirmiştir.

Tablo 4. Dünya’da Tavuk Yumurtası İhracatında Önde Gelen 10 Ülkenin İhracat Miktarları (Ton)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023	%
Hollanda	408.515	425.570	415.326	351.224	237.632	442.950	20.63
Polonya	152.850	233.750	198.041	147.746	222.949	219.752	10.24
Türkiye	131.610	217.934	217.908	221.215	221.692	201.634	9.39
Çin	100.225	93.082	72.863	73.610	107.255	132.067	6.15
ABD	86.103	165.694	157.547	200.857	106.461	130.462	6.08
Belçika	78.354	60.092	93.553	93.371	99.054	110.144	5.13
Almanya	115.106	142.279	118.438	117.461	115.141	109.568	5.10
İspanya	122.657	89.782	124.325	123.743	92.487	80.362	3.74
Hindistan	34.861	34.438	15.966	17.426	34.119	75.071	3.50
Malezya	89.243	95.363	78.999	113.954	72.445	73.818	3.44
Toplam	1.319.524	1.557.984	1.492.966	1.460.407	1.309.235	1.575.828	73.40
Diğer Ülkeler	506.832	491.027	605.822	816.956	541.170	571.032	26.60
Dünya	1.826.356	2.049.011	2.098.788	2.277.363	1.850.405	2.146.860	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

Dünya yumurta ihracatında önemli ülkeler ile ihracat değerleri Tablo 5’te verilmiştir. İhracat miktarında olduğu gibi ihracat değerinde de Hollanda ilk sırada yer almaktadır. Hollanda üretim miktarının önemli bir bölümünü ihracata göndermektedir. Yumurta ihracat değerinde %18.48’lik oransal paya sahiptir. Hollanda’dan sonra ikinci sırada ABD gelmektedir. ABD yumurta ihracat miktarında dördüncü sırada yer alırken, ihracat değerinde ikinci sırada yer almaktadır. Bu durumun, ABD’nin yumurta ihracat fiyatının daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Yumurta ihracat geliri en yüksek olan üçüncü ülke ise Polonya olup, ihracat geliri toplam yumurta ihracat gelirinin %10.07’sini oluşturmaktadır. Türkiye dünya toplam tavuk yumurtası üretiminin %1.42’sine sahip iken, toplam ihracatın miktar olarak %9.39’una ve değer olarak ise %7.6’sına sahiptir. Türkiye iç talebi karşıladıktan sonra, geri kalan yumurtaları ihraç etmektedir. Türkiye ihracat değeri bakımından ise dünyada dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye’den sonra sırasıyla; Almanya (%6.47), Çin (%4.55), Belçika (%4.48), İspanya (%4.41), Malezya (%2.88) ve Hindistan (%1.90) gelmektedir. Dünyada toplam yumurta ihracat gelirinin %72.46’sını Tablo 5’te belirtilen ülkeler tarafından elde edilirken, %27.54 diğer ülkelere elde edilmektedir.

Tablo 5. Dünya Tavuk Yumurtası İhracatında Önde Gelen 10 Ülkenin İhracat Değerleri (1.000 ABD Doları)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023	%
Hollanda	813.130	591.239	738.046	876.388	859.724	935.911	18.48
ABD	245.914	503.874	430.773	554.939	542.022	568.904	11.23
Polonya	190.203	282.760	261.863	228.282	442.266	510.211	10.07
Türkiye	156.195	273.307	256.130	374.896	393.081	403306	7.96
Almanya	228.822	263.669	264.930	279.095	297.598	327.910	6.47
Çin	132.051	181.514	116.559	130.784	203.190	230.653	4.55
Belçika	130.240	168.645	182.987	189.417	192.226	227.088	4.48
İspanya	163.163	147.625	200.060	213.213	227.368	223.488	4.41
Malezya	103.368	116.330	123.143	134.092	150.039	146.001	2.88
Hindistan	38.190	40.212	24.426	28.954	51.792	96.415	1.90
Toplam	2.201.276	2.569.175	2.598.917	3.010.060	3.359.306	3.669.887	72.46
Diğer Ülkeler	1.021.081	1.019.096	877.273	1.078.358	1.221.312	1.394.619	27.54
Dünya	3.222.357	3.588.271	3.476.190	4.088.418	4.580.618	5.064.506	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

Dünya tavuk yumurtası ithalatında önde gelen ilk 10 ülke ve ithalat miktarları Tablo 6’da verilmiştir. Belçika dünya toplam tavuk yumurtası ithalatının %14.94’üne sahip olup, bu ülkeyi Almanya (%14.27) izlemektedir. Hollanda ihracatta birinci ülke olmasına karşın, ithalatta üçüncü sırada (%10.65) yer almaktadır. Bu durumun, Hollanda’nın kendi ürettiği yumurtaları yüksek fiyattan ihraç etmesinden ve düşük fiyattan ise ithalat yapmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. İthalat miktarında Hollanda’dan sonra sırasıyla; Çin (%9.99), Singapur (%4.68), BAE (%4.29), Fransa (%2.55), Meksika (%2.33), Kanada (%2.15) ve Birleşik Krallık (%1.96) gelmektedir. Dünya toplam yumurta ithalatının %67.80’ini Tablo 6’da verilen 10 ülke tarafından yapılmakta olup, diğer ülkeler ise %32.20’sini yapmaktadır (Anonim, 2023).

Tablo 6. Dünya Tavuk Yumurtası İthalatında Önde Gelen 10 Ülkenin İthalat Miktarları (Ton)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023	%
Belçika	60.931	56.847	132.848	124.081	185.841	353.728	14.94
Almanya	481.540	410.036	382.356	325.346	316.948	337.901	14.27
Hollanda	168.700	201.946	260.822	252.148	393.020	252.109	10.65
Çin	103.263	150.405	195.452	198.377	189.005	236.593	9.99
Singapur	75.837	76.180	105.954	80.648	107.742	110.770	4.68
BAE	15.498	65.288	100.846	98.523	113.754	101.479	4.29
Fransa	54.240	41.130	57.437	48.015	69.925	60.440	2.55
Meksika	7.330	55.614	43.454	83.258	64.438	55.202	2.33
Kanada	24.904	60.705	26.700	31.715	34.029	50.867	2.15
B.Krallık	36.099	31.875	29.668	25.154	27.160	46.510	1.96
Toplam	1.028.342	1.150.026	1.335.537	1.267.265	1.501.862	1.605.599	67.80
Diğer Ülkeler	647.269	916.860	819.737	849.457	704.426	762.440	32.20
Dünya	1.675.611	2.066.886	2.155.274	2.116.722	2.206.288	2.368.039	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

3.3. Dünya Tavuk Yumurtası İthalatı

Dünya tavuk yumurtası ithalatı ve ithalatla öncelikli 10 ülkenin ithalat değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Tavuk yumurtası ithalatında miktar olarak birinci sırada olan Belçika (%3.71) ve değer olarak ifade edildiğinde de altıncı sıraya gerilemektedir. İthalatta miktar olarak ikinci sırada olan Almanya (%15.52), değer olarak ilk sırada yer almaktadır. Ülkelerin tavuk yumurtası ithalatını gerçekleştirdikleri ülkelerdeki üretim maliyetleri farklılık göstermektedir. Bu farklılaşmada etkili olan unsurlar; tüketici tercihleri, kalite, taşıma maliyetleri ile ülke tercihi gibi pazarlama fonksiyonlarıdır. Dünya toplam tavuk yumurtası ithalatının değer olarak %57.77’si Tablo 7’de belirtilen ülkeler tarafından yapılmaktadır. Hollanda toplam tavuk yumurtası ithalatının %11.13’üne sahip iken, bunu Çin (%6.23), Meksika (%5.16), Singapur (%4.10), Belçika (%3.71), Kanada (%3.21), BAE (%3.10), Birleşik Krallık (%2.87), ve Fransa (%2.74) izlemektedir. Türkiye miktar ve değer olarak tavuk yumurtası ithalatında önde gelen ülkeler arasında yer almamaktadır (Anonim, 2023).

Tablo 7. Dünya Tavuk Yumurtası İthalatında Önde Gelen 10 Ülkenin İthalat Değerleri (ABD Doları)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023	%
Almanya	835.487	602.736	631.380	602.954	683.914	848.092	15.52
Hollanda	230.625	251.733	392.964	409.573	504.192	608.265	11.13
Çin	138.871	199.437	233.449	257.304	296.939	340.441	6.23
Meksika	26.564	180.750	143.456	230.308	261.374	281.692	5.16
Singapur	103.848	119.841	135.811	150.610	209.008	224.129	4.10
Belçika	94.204	105.879	144.051	154.147	185.028	202.631	3.71
Kanada	60.368	156.225	66.639	82.593	158.944	175.387	3.21
BAE	31.014	96.231	112.717	126.683	159.037	169.443	3.10
Birleşik Krallık	90.350	72.700	85.667	63.051	80.879	156.705	2.87
Fransa	86.410	96.141	81.416	76.624	144.625	149.882	2.74
Toplam	1.697.741	1.881.673	2.027.550	2.153.847	2.683.940	3.156.667	57.77
Diğer Ülkeler	1.382.694	1.773.849	1.655.567	2.058.693	2.020.961	2.307.372	42.23
Dünya	3.080.435	3.655.522	3.683.117	4.212.540	4.704.901	5.464.039	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

3.4. Dünya Tavuk Yumurtası Üretici Fiyatları

Tavuk yumurtası üretiminde önemli yere sahip olan ülkelerdeki üretici fiyatları Tablo 8’de verilmiştir. Üretici fiyatlarının en yüksek olduğu ülke ABD’dir. Bir ton yumurtanın bedeli yaklaşık 2.881 ABD dolarıdır. ABD’yi Japonya izlemekte olup, 1 ton yumurta bedeli 2.340 ABD dolarıdır. Diğer ülkeler ise sırasıyla; Brezilya, Meksika, Türkiye, Çin, Rusya, Hindistan, Pakistan’dır. Üretici fiyatlarının en düşük olduğu ülke ise Pakistan’dır. Türkiye’de 2023 yılı üretici fiyatları ton başına 1.451 ABD dolarıdır. Türkiye’de yıllara göre üretici fiyatlarında bir dalgalanma olduğu görülmektedir. Dalgalanma Türkiye gibi diğer ülkelerde de gözlenmiştir. Dalgalanmaların kur farkından ve ithalat miktarlarındaki değişimden kaynaklandığı ifade edilebilir.

Tablo 8. Dünya tavuk yumurtası üretiminde öncelikli ülkelerde üretici fiyatları
(ABD doları/ton)

Ülkeler	2010	2015	2020	2021	2022	2023
ABD	985	2.322	1.276	1.380	3.116	2.881
Japonya	2.063	1.872	1.724	2.112	1.802	2.340
Endonezya	2.312	1.664	1.768	1.782	1.813	1.996
Brezilya	1.027	1.981	1.060	1.274	1.564	1.824
Meksika	1.027	1.166	1.021	1.109	1.274	1.562
Türkiye	2.141	1.759	872	1.007	1.241	1.451
Çin	1.004	911	1.465	1.122	1.653	1.479
Rusya	1.377	1.222	1.079	1.359	1.441	1.168
Hindistan	1.097	1.018	990	1.147	1.158	1.125
Pakistan	741	750	562	578	476	359

Kaynak: Anonim, 2023

3.5. Türkiye Tavuk Yumurtası Üretimi

Türkiye’de yıllara göre toplam tavuk ve yumurta tavuğu sayıları Tablo 9’da verilmiştir. Tavuk sayıları 2024 yılında %19.6 oranında artış göstermiştir. Yıllara göre incelendiğinde, 2005 ve 2010 yılı arasında önemli bir düşüş görülmektedir. Bu düşüşün yaşanan kuş gribi nedeniyle tavuk ölümlerinin artmasından kaynaklandığı ifade edilebilir. Ancak, toplam tavuk sayısı içerisinde yumurta tavuğu sayısının payı 2005 yılında %18.98 iken, bu oran 2024 yılında %28.74 olarak gerçekleşmiştir. Toplam tavuk sayısı içerisinde, yumurta tavuğu oranı ortalama %30’lar civarında kalmıştır. Yıllara göre bu oran etrafında dalgalanmalar görülmekte olup, 2005 ve 2024 yılları arasında yumurta tavuğu sayısı %81 oranında artış göstermiştir (Anonim, 2024).

Tablo 9.Türkiye’de Yumurta Tavuğu Sayısı

Yıllar	Tavuk sayısı (adet)	Tavuk sayısı İndeks*	Yumurta tavuğu sayısı	Toplam içindeki payı (%)	Yumurta tavuğu sayısı İndeks*
2005	317.497.114	100.0	60.275.674	18.98	100.0
2010	234.918.385	74.0	70.933.660	30.19	117.7
2011	237.873.469	74.9	78.956.861	33.19	131.0
2012	253.711.573	79.9	84.677.290	33.37	140.5
2013	266.153.454	83.8	88.720.709	33.33	147.2
2014	293.727.620	92.5	93.751.470	31.91	155.5
2015	312.255.634	98.3	98.597.340	31.57	163.6
2016	329.011.317	103.6	108.689.236	33.03	180.3
2017	342.801.349	108.0	121.556.027	35.45	201.7
2018	353.561.499	111.3	124.054.810	35.08	205.8
2019	342.567.159	117.9	120.725.299	35.24	200.3
2020	379.349.209	119.5	121.302.869	31.97	201.2
2021	391.393.897	132.3	121.000.775	30.91	200.7
2022	361.096.126	113.7	109.806.327	30.40	182.2
2023	368.624.420	116.1	114.476.843	31.05	189.9
2024	379.626.813	119.6	109.100.202	28.74	181.0

Kaynak: Anonim, 2024

Türkiye’de tavuk yumurtası sayısı ve yıllara göre değişim Tablo 10’da verilmiştir. Kuş gribinin tavuk sayıları üzerindeki olumsuz etkisi, toplam yumurta sayılarında da görülmektedir. TÜİK verilerine göre 2024 yılı tavuk yumurtası sayısı 21.155.089.000 adettir. Yıllara göre değerlendirildiğinde, 2005 ve 2024 yılları arasında yumurta sayısı %75.5 oranında artış göstermiştir (Anonim, 2024).

Tablo 10.Türkiye’de Tavuk yumurtası üretimi ve yıllara göre değişim

Yıllar	Tavuk Yumurtası üretimi (1000 adet)	İndeks*
2005	12.052.455	100.0
2010	11.840.396	98.2
2011	12.954.685	107.5
2012	14.910.773	123.7
2013	16.496.751	136.9
2014	17.145.389	103.9
2015	16.727.509	138.8
2016	18.097.604	150.2
2017	19.281.195	159.9
2018	19.643.711	163.0
2019	19.898.126	165.1
2020	19.788.062	164.2
2021	19.297.591	174.6
2022	19.808.538	164.3
2023	20.637.732	171.2
2024	21.155.089	175.5

Kaynak: Anonim, 2024(*): İndeks (2005=100)

3.6. Türkiye’de Bölgelere Göre Yumurta Tavuğu Üretimi

Türkiye’de yumurta tavuğunun Düzey I’e göre tüm bölgelerde üretildiği görülmektedir (Tablo 11). Ege bölgesi, 31.943.000 adet yumurta tavuğu varlığı ile birinci sırada (%29.2) yer almaktadır. Bunu Batı Anadolu bölgesi %13.5 oransal pay ile izlemektedir. Doğu Marmara bölgesi %12 pay ile üçüncü, Güneydoğu Anadolu bölgesi %10.2 pay ile dördüncü ve Batı Karadeniz bölgesi ise %7.7 pay ile beşinci sırada yer almaktadır. Yumurta tavuğu sayısının en düşük olduğu bölgenin Doğu Karadeniz bölgesidir (%0.6) (Anonim, 2024).

Tablo 11.Bölgelere Göre Yumurta Tavuğu Sayıları(1000 adet)

Bölgeler	Yıllar					%
	2005	2010	2015	2020	2024	
Ege	16970	22.248	32.937	41.672	31.943	29.2
Batı Anadolu	10.865	12.877	17.220	17.178	14.744	13.5
Doğu Marmara	4.938	5.029	8.379	14.450	13.136	12.0
Güney Doğu Anadolu	2.631	2.470	5.283	9.460	11.129	10.2
Batı Karadeniz	5.471	7.682	8.586	9.185	8.417	7.7
Orta Anadolu	5.457	6.774	8.310	8.139	8.259	7.6
Batı Marmara	6.359	6.554	8.132	8.573	7.532	6.9
Akdeniz	3.387	3.284	4.707	6.594	7.087	6.5
Orta Doğu Anadolu	1.430	1.552	2.160	3.445	3.903	3.6
Kuzey Doğu Anadolu	1.136	1.105	1.339	1.553	1.283	1.2
İstanbul	645	985	1.096	502	1.039	1.0
Doğu Karadeniz	987	374	448	552	628	0.6
Toplam	60.276	70.934	98.597	121.303	109.100	100.0

Kaynak: Anonim, 2024

3.7. Türkiye’de İllere Göre Yumurta Tavuğu Üretimi

Yumurta tavuğunun en yoğun olduğu iller Tablo 12’de verilmiştir. Manisa ili %10.4 ile yumurta tavuğu sayısı bakımından birinci sırada yer almaktadır. Bunu Afyonkarahisar (%9.6), Konya (%6.6), Gaziantep (%6.6), Balıkesir (%6.1) ve Ankara (%5.2) takip etmektedir. Çizelgede belirtilen 10 il toplam yumurta tavuğu sayısının %71’ine sahip iken, diğer iller ise %29’una sahiptir (Anonim, 2024).

Tablo 12. İllere Göre Yumurta Tavuğu Sayıları (1000 Adet)

İller	Yıllar					%
	2005	2010	2015	2020	2024	
Manisa	5.129	5.325	4.315	11.330	11.359	10.4
Afyonkarahisar	5.723	9.382	18.469	16.282	10.453	9.6
Konya	7.453	8.723	11.557	10.850	7.253	6.6
Gaziantep	394	533	2.889	5.242	7.151	6.6
Balıkesir	5.125	5.335	6.621	7.402	6.665	6.1
Ankara	1.862	3.071	4.530	5.064	5.699	5.2
Bursa	1.860	1.933	4.450	5.650	5.445	5.0
İzmir	2.710	3.531	5.647	5.919	5.307	4.9
Kayseri	2.323	3.239	3.727	3.866	4.046	3.7
Çorum	2.426	3.864	4.229	3.629	3.208	2.9
Mersin	892	972	1.934	2.796	2.840	2.6
Bolu	206	267	483	3.291	2.271	2.1
Sakarya	879	810	1.220	2.110	1.994	1.8
Denizli	1.330	1.715	2.050	2.036	1.970	1.8
Elazığ	211	362	921	1.549	1.895	1.7
Toplam	38.523	49.062	73.042	87.016	77.556	71.0
Diğer iller	21.753	21.872	25.555	34.287	31.544	29.0
Türkiye	60.276	70.934	98.597	121.303	109.100	100.0

Kaynak: Anonim, 2024

3.8. Türkiye Tavuk Yumurtası İhracatı

Türkiye tavuk yumurtası üretim ve ihracatında dünya sıralamalarında yer alan bir ülkedir. Tavuk yumurtası üretiminde dokuzuncu, ihracatında ise üçüncü sırada bulunmaktadır. Üretimle kıyaslandığında ihracata önemli bir miktar ayrıldığı göze çarpmaktadır. İhracat miktarı 2005 yılında 10.764 ton iken, bu miktar 2023 yılında 201.634 tona ulaşmıştır (Anonim, 2023). Rakamlar incelendiğinde Türkiye'nin önemli bir yumurta ihracatçısı ülke konumuna geldiği görülmektedir. İhracat miktarı, basit bir hesaplamayla 2005 yılından 2023 yılına kadar %1.773 oranında bir artış göstermiştir. Bu oldukça önemli bir artış olup, yumurta ihracatının çok büyük bölümünü tavuk yumurtaları oluşturmaktadır. Rakamlar bize tavuk yumurtası ihracatında Türkiye'nin önemli bir ivme kazandığını ifade etmektedir. İhracat değeri açısından bakıldığında ise 2005 yılından 2023 yılına kadar %2.095 oranında bir artış kaydedilmiştir (Tablo 13). Tavuk yumurtası ithalatı ise sınırlı miktarda yapılmaktadır. Tavuk yumurtası ithalatı 2005 yılında 1.350 ton iken, bu miktar 2023 yılında %70 oranında artış göstererek, 2295 tona yükselmiştir. İhracatta meydana gelen artış oranı ile ithalatta meydana gelen artış oranı arasındaki makasın oldukça açık olduğu

gözlenmektedir. İthalat değeri ile ihracat değeri kıyaslandığında, ihracat değerinin %10.88'i kadar bir ithalatın olduğu görülmektedir.

Tablo 13.Türkiye'nin Yıllara Göre Kabuklu Tavuk Yumurtası İhracat Miktar ve Değerleri

Yıl	İhracat Miktarı (ton)	İndeks *	İhracat Değeri (ABD doları)	İthalat Miktarı (ton)	İndeks *	İthalat Değeri (ABD doları)
2005	10.764	100	18.372	1.350	100	14.764
2006	11.990	111	14.153	651	48	7.568
2007	46.736	434	48.806	843	62	10.649
2008	77.518	720	118.921	725	54	9.360
2009	89.644	833	126.618	694	51	8.155
2010	131.610	1.223	156.195	848	63	11.590
2011	206.281	1.916	284.053	1.005	74	13.869
2012	244.083	2.268	349.929	507	38	7.133
2013	281.370	2.614	406.033	1.238	123	16.649
2014	289.541	2.690	401.423	1.967	146	29.049
2015	217.934	2.025	273.307	1.770	131	18.285
2016	289.363	2.688	289.386	1.860	138	18.496
2017	348.207	3.235	375.790	1.714	127	22.547
2018	360.880	3.353	430.233	2.865	212	30.561
2019	275.033	2.555	296.781	4.110	304	30.991
2020	217.908	2.024	256.130	2.190	162	32.699
2021	221.215	2.055	374.896	2.645	196	51.959
2022	221.692	2.060	393.081	2.591	192	50.119
2023	201.634	1.873	403.306	2.291	170	43.873

Kaynak: Anonim, 2023 (*): İndeks (2005=100)

Türkiye'nin kabuklu tavuk yumurtası ihracatında önemli ülkeler ve ihracat miktarları Tablo 14'te verilmiştir (Anonim, 2023). Türkiye tavuk yumurtası ihracatının büyük bir bölümünü (%41.19) Birleşik Arap Emirliklerine yapmakta olup, bunu Katar izlemekte olup (%10.54), Suriye (%6.57), Bahreyn (%3.35), Rusya (%3.28), İran (%2.82), Türkmenistan (%2.10), Somali (%2.10), ABD (%0.86), Umman (%0.72), Kazakistan (%0.64), Azerbaycan (%0.47), Libya (%0.27) ve Özbekistan (%0.27) izlemektedir. Tablo 14 incelendiğinde 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2021 yıllarında ABD'ye ihracat yapılmadığı, 2022 ve 2023 yıllarında ise yapıldığı görülmektedir. Yapılan toplam ihracatın %87.75'i Tablo 14'te verilen ülkelere yapılırken, kalan kısmı (%12.25) diğer ülkelere yapılmaktadır. Yumurta ihracatı yapılan önemli ülkeler içinde AB ülkelerinin yer almaması dikkate değer bir durumdur.

Tablo 14. Türkiye’nin kabuklu tavuk yumurtası ihracatında önemli ülkeler ve ihracat miktarları (Ton)

Ülkeler	Yıllar							%
	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	
BAE		365	4212	41.154	56.843	92.007	85.077	42.19
Katar		20	1.072	24.881	27.348	31.107	21.259	10.54
Irak	1.656	94.539	168.205	15.449	10.035	17.113	19.459	9.65
Suriye		27.320	24.425	50.545	35.431	9.378	13.254	6.57
Bahreyn	-	21	149	6.567	7.491	8.147	6.758	3.35
Rusya	74	-	947	2.573	8.013	5.627	6.618	3.28
İran		72	944	40	10.850	5.603	5.684	2.82
Türkmenistan	3			127	478	3.595	4.233	2.10
Somali			56	731	1.972	3.784	4.228	2.10
Gürcistan	3.311	7	11	1.087	504	2.144	3.857	1.91
ABD						3.399	1.733	0.86
Umman		46	17	14.853	16.103	13.860	1.443	0.72
Kazakistan				1.258	1.644	1.778	1.284	0.64
Azerbeycan	837	1.291	2.423	4.313	1340	632	947	0.47
Libya				1.209	209	672	554	0.27
Özbekistan	84	91	135	168	198	77	536	0.27
Toplam	5.965	123.772	202.596	164.955	178.459	198.923	176.924	87.75
Diğer Ülkeler	4.799	7.838	15.338	52.953	42.756	22.769	24.710	12.25
Toplam ihracat	10.764	131.610	217.934	217.908	221.215	221.692	201.634	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

Tavuk yumurtası ihracatı yapılan ülkelere ait ihracat değerleri Tablo 15’te verilmiştir. BAE ihracat miktarında olduğu gibi ihracat değerinde de ilk sırada yer almaktadır(Anonim, 2023). İhracat değeri bakımından ikinci sırada Irak bulunurken, bunu Katar, İran ve Rusya takip etmektedir. İhracatta önemli olan ülkelerin ihracat değerleri %88.22’lik paya sahiptir. Bu ülkeler dışında yapılan ihracat değeri oranı ise %11.78’dir. Birleşik Arap Emirliklerine yapılan ihracat yıllara göre önemli bir artış gösterirken, Irak’a yapılan ihracatta tersi durum yaşanmıştır. Bu durum Irak’ın yumurta ithalatına getirdiği kısıtlamalardan kaynaklanmaktadır.

Tablo 15. Türkiye’nin Kabuklu Tavuk Yumurta İhracatında Önemli Ülkeler ve İhracat Değerleri (1000 ABD doları)

Ülkeler	Yıllar							%
	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	
BAE	-	424	5.221	42.289	71.456	129.074	120.181	29.80
Irak	2.408	108.672	194.261	36.984	46.024	58.712	72.250	17.91
Katar	-	20	1.481	24.728	38.248	46.764	34.277	8.50
İran	-	429	1.136	50	24.763	8.161	27.050	6.71
Rusya	65	-	4982	7.569	36.988	26.554	27.022	6.70
Suriye	-	30.257	28.566	46.177	44.803	14.716	24.504	6.08
Bahreyn	-	28	167	6.935	10.024	11.070	11.039	2.74
Türkmenistan	11	-	-	491	3.039	5.719	7.250	1.80
Gürcistan	3.337	38	34	1.778	427	4.529	6.315	1.57
Somali	-	-	64	637	2.337	5.232	6.207	1.54
Kazakistan	-	-	-	5.010	7661	8.706	5.911	1.47
Azerbaycan	2.835	4.757	10.894	6.033	3.954	1.517	3.564	0.88
Umman	-	39	27	20.347	27.097	23.177	3.397	0.84
ABD	-	-	-	-	-	5.013	2.986	0.74
Libya	-	-	-	2.801	1.713	2.275	2.313	0.57
Özbekistan	293	681	776	370	929	238	1.544	0.38
Toplam	8.949	145.345	247.609	202.199	319.463	351.457	355.810	88.22
D.Ülkeler	9.423	10.850	25.698	53.931	55.433	41.624	47.496	11.78
Toplam İhracat	18.372	156.195	273.307	256.130	374.896	393.081	403.306	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

3.9.Türkiye Tavuk Yumurtası İthalatı

Türkiye’nin kabuklu tavuk yumurtası ithalatı yaptığı ülkeler ve miktarları Tablo 16’da verilmiştir. Türkiye’nin tavuk yumurtası ihracatı yaptığı ülkeler arasında AB ülkeleri yer almazken, ithalatın büyük bölümünü Büyük Britanya (%81.83), Macaristan (%6.99) ve İspanya (%3.76) gibi AB ülkelerinden yapmaktadır. Bu ülkeleri sırasıyla; Hollanda (%1.97), Yunanistan (%1.83), Almanya (%1.48), Fransa (%1.14) ve ABD (%1) takip etmektedir.

Tablo. 16 Türkiye'nin Kabuklu Tavuk Yumurtası İthalatında Önemli Ülkeler ve İthalat Miktarları (Ton)

Ülkeler	Yıllar							%
	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	
B.Britanya	347	301	952	1.518	2.079	1.919	1.874	81.83
Macaristan		16		51	72	329	160	6.99
İspanya					55	91	86	3.76
Hollanda			6.5	182	59		45	1.97
Yunanistan						39	42	1.83
Almanya	389			5			34	1.48
Fransa	30						26	1.14
ABD	176	19	11	74	202	126	23	1.00

Kaynak: Anonim, 2023

Türkiye'nin tavuk yumurtası ithalatı değerleri Tablo 17'de verilmiştir. İthalat değeri bakımından ilk sırada Büyük Britanya 37.479.000 ABD doları ile (%85.73) yer alırken, bunu Macaristan (%7.46), İspanya (%2.25), ABD (%1.34) ve Fransa (%1.32) izlemektedir.

Tablo 17. Türkiye'nin Kabuklu Tavuk Yumurtası İthalatında Önemli Ülkeler ve İthalat Değerleri (1000 ABD Doları)

Ülkeler	Yıllar							%
	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023	
Büyük Britanya	3.803	3.487	12.675	28.260	44.832	40.847	37.479	85.43
Macaristan		221		884	1.410	5.235	3.271	7.46
İspanya					676	824	989	2.25
ABD	1.831	306	158	1.243	3.575	2.531	588	1.34
Fransa	274						577	1.32
Hollanda			85	1.745	669		505	1.15
Almanya	4.941			47			397	0.90
Yunanistan						60	67	0.15
Toplam	10.849	4.014	12.918	32.179	51.162	49.497	43.873	100.00

Kaynak: Anonim, 2023

Türkiye'de tavuk yumurtası üretici fiyatları ortalama değerleri ve tüketici fiyatları ortalama değerleri Tablo 18'de verilmiştir. Üretici ortalama fiyatlarının 2024 yılına gelindiğinde göstermiş olduğu değişiklik 2015 yılı baz alınarak hesaplanmıştır. Üretici fiyatları 2024 yılında ortalama 2.33 TL'dir. 2015 yılına göre fiyatlar %871 oranında artmıştır. Tüketici fiyatları da aynı yıllar için değerlendirilmiş ve 2024 yılında %777 oranında artmıştır.

Tablo17’de belirtilen rakamlar cari fiyatlar olup enflasyon etkisinden arındırılmamıştır.

Tablo 18. Türkiye’de Tavuk Yumurtası Üretici ve Tüketici Fiyatları (TL/Adet)

Yıllar	Tavuk yumurtası üretici fiyatları (ort.)	İndeks*	Tavuk yumurtası tüketici fiyatları (ort.)	İndeks*
2015	0.24	100	0.30	100
2016	0.29	121	0.31	103
2017	0.31	129	0.34	113
2018	0.35	146	0.38	127
2019	0.37	154	0.37	123
2020	0.38	158	0.38	127
2021	0.50	208	0.56	187
2022	1.00	417	1.28	427
2023	1.99	829	2.15	717
2024	2.33	971	2.63	877

Kaynak: Anonim, 2024 (*): İndeks (2015=100)

Tablo 19’da Türkiye’de yıllara göre nüfus sayıları ve kişi başına düşen yumurta üretim rakamları verilmiştir. Türkiye’nin nüfusu 2005 yılında 67.743.052 iken, bu sayı 2024 yılında 85.664.944 olarak gerçekleşmiştir. Nüfus artış oranı 2005 yılından 2024 yılına kadar %26.46 olarak gerçekleşmiştir. Kişi başına düşen yumurta sayısı 2005 yılında 17.791 adet iken, 2024 yılında bu miktar 24.695 adete yükselmiştir. Oransal olarak %38.80 artış göstermiştir. Yumurta üretiminin 2005-2024 yılları arasında nüfus artışından daha yüksek bir oranda arttığı görülmektedir.

Tablo 19. Türkiye’de 2005-2024 yılları arasında nüfus ve tavuk yumurtası üretimindeki değişim (TL/adet)

Yıllar	Nüfus	Değişim (%)	Yıllık Tavuk yumurtası üretimi (adet /kişi)	Değişim (%)
2005	67.743.052	100.00	17.791	100,00
2010	73.722.988	108.83	16.061	90.27
2011	74.724.269	110.31	17.337	97.44
2012	75.627.384	111.64	19.716	110.82
2013	76.667.864	113.17	21.517	120.94
2014	77.695.904	114.69	22.067	124.03
2015	78.741.053	116.23	21.244	119.40
2016	79.814.871	117.82	22.674	127.45
2017	80.810.525	119.29	23.860	134.11
2018	82.003.882	121.05	23.955	134.64
2019	83.154.997	122.75	23.929	134.50
2020	83.614.362	123.43	23.666	133.02
2021	84.680.273	125.00	22.789	128.09
2022	85.279.553	125.89	23.228	130.56
2023	85.372.377	126.02	24.174	135.87
2024	85.664.944	126.46	24.695	138.80

Kaynak: Anonim, 2024

Dünya tavuk yumurtası ihracatında Türkiye’nin aldığı pay yıllara göre incelenmiştir. Türkiye kabuklu tavuk yumurtası ihracatında en yüksek oransal payı 2017 yılında elde etmiştir (%15.77). En yüksek ihracat miktarına ise 2018 yılında ulaşmıştır (360.880 ton). Tablo 20’ye göre Türkiye’nin kabuklu yumurta ihracatı giderek düşmektedir. İhracatta meydana gelen düşüşler ithalatçı ülkelerin ithalata karşı yaptıkları bazı kısıtlamalardan kaynaklanmaktadır. İthalata getirilen vergi ve kota gibi kısıtlamalar, ülkedeki ihracatçıları açısından sıkıntı oluşturmaktadır.

Tablo 20. Dünya İhracatında Türkiye’nin Yeri (ton/yıl)

Yıllar	Dünya		Türkiye		Dünya İhracatındaki pay (%)
	İhracat	İthalat	İhracat	İthalat	
2005	1.111.230	1.093.222	10.764	1.350	0.97
2006	1.231.590	1.204.021	11.990	651	0.97
2007	1.414.784	1.466.812	46.736	843	3.30
2008	1.674.065	1.577.495	77.518	725	4.63
2009	1.765.121	1.624.117	89.644	694	5.08
2010	1.826.356	1.675.611	131.610	848	7.21
2011	1.809.381	1.686.218	206.281	1.005	11.40
2012	1.820.873	1.754.082	244.083	507	13.40
2013	1.975.520	1.924.482	281.370	1.238	14.24
2014	2.073.567	2.130.224	289.541	1.967	13.96
2015	2.049.011	2.066.886	217.934	1.770	10.64
2016	1.989.926	2.107.573	289.364	1.861	14.54
2017	2.207.899	2.199.355	348.208	1.714	15.77
2018	2.357.975	2.225.648	360.880	2.865	15.30
2019	2.218.044	2.242.060	275.033	4.110	12.40
2020	2.098.789	2.155.274	217.908	2.191	10.38
2021	2.277.362	2.116.723	221.215	2.645	9.71
2022	1.850.405	2.206.288	221.692	2.591	11.98
2023	2.146.860	2.368.039	201.634	2.291	9.39

Kaynak: Anonim, 2023

Balassa Endeksi kullanılarak, Türkiye’nin belirli ürünlerde karşılaştırmalı üstünlükleri ticaret sonrası verilere dayanılarak ölçülmüştür. Balassa Endeksi; herhangi bir malın ülkenin toplam ihracatındaki payının, söz konusu malın dünyanın toplam ihracatındaki payına oranı ile hesaplanmaktadır (Bashimov, 2016; Güvenç, 2020). Türkiye’nin kabuklu tavuk yumurtası dış ticaretinde karşılaştırmalı üstünlük durumu Tablo 21’de verilmiştir. Türkiye’nin tavuk yumurtasında rekabet gücü yıllara göre orta ve zayıf olarak belirlenmiştir. Rekabet katsayısı 0-1 ise rekabet gücü yoktur, 1-2 arasında olursa zayıf rekabet gücü vardır, 2- 4 arasında olursa orta, 4 ve daha yüksek olursa rekabetin güçlü olduğunu, yani ilgili üründe karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğunu göstermektedir (Hinloopen, ve Marrewijk 2001; Güvenç, 2020). Söz konusu endekse göre bulunan katsayı 0’dan büyük ise, ülke tarım ürünü ihracatında uzmanlaşmış olup, ülkenin söz konusu üründe ticaret performansı yüksektir (Erkan ve ark., 2015; Güvenç, 2020). Tablo 21’e göre

Türkiye ilgili üründe 2005, 2010, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 yıllarında orta derecede karşılaştırmalı üstünlüğe sahip iken 2021, 2022 yıllarında zayıf bir rekabet gücüne sahip olmuş, 2023 yılında ise yeniden orta derece rekabet gücüne ulaşmıştır.

Tablo 21. Türkiye’de Kabuklu Yumurta Toplam İhracat Değeri ve Rekabet Katsayısı (1000 ABD Doları)

Yıllar	Dünya	Türkiye	Türkiye payı (%)	Rekabet katsayısı	Üstünlük Derecesi
2005	1.389.802	18.372	1.32	2.27	Orta
2010	3.222.357	156.195	4.85	2.89	Orta
2015	3.588.271	273.307	7.62	2.36	Orta
2016	3.143.674	289.386	9.21	2.06	Orta
2017	3.568.639	375.790	10.53	2.18	Orta
2018	3.863.266	430.233	11.14	2.15	Orta
2019	3.513.240	296.781	8.45	1.89	Orta
2020	3.476.190	256.130	7.37	2.04	Orta
2021	4.088.418	374.896	9.17	1.85	Zayıf
2022	4.580.618	393.081	8.58	1.75	Zayıf
2023	5.064.506	403.306	7.96	2.01	Orta

Kaynak: Anonim, 2023

(Çizelgedeki yıllara ait verilerden yararlanılarak hesaplamalar yapılmıştır)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de ve dünyada tavuk yumurtası üretiminin mevcut durumu, yıllara göre değişimi, dış ticareti ile Türkiye’nin sektördeki yeri incelenmiştir. Çalışmada, araştırma bulgularına dayanılarak öneriler geliştirilmiştir. Toplam tavuk sayısı 2023 yılında 27.223.471.000 adet ve tavuk yumurtası sayısı da 91.1128.702 milyon ton olarak belirlenmiştir. Kanatlı yumurta üretiminin %93.55’ini tavuk yumurtası oluşturmaktadır. Dünya’da tavuk yumurtası üretiminde Çin birinci ülke konumunda olup, dünya üretiminin %34.01’ine sahiptir. Üretim bakımından Çin’den sonra Hindistan gelmektedir. Türkiye dünya kabuklu tavuk yumurtası üretiminde dokuzuncu sırada yer almaktadır. Toplam üretim içinde almış olduğu oransal pay ise %1.42’dir. İhracat miktarları bakımından, dünyada önde gelen ülkeler iç tüketimlerinin yüksek olması nedeniyle ilk sıralarda yer alamamaktadır. İstatistiklere göre

2023 yılında ihracatta Hollanda birinci ve Polonya ise ikinci sıradadır. Türkiye, %9,39'luk pay ile ihracat yapan ülkeler arasında üçüncü sırada yer almaktadır. İhracat değeri sıralamasında ise Hollanda ilk sırada yer alırken, ABD ikinci ve Polonya üçüncü sırada yer almıştır. Türkiye ise %7.96 oransal payı ile dördüncü sırada bulunmaktadır. Tavuk yumurtası ithalatında Türkiye ön sıralarda yer alan bir ülke konumunda değildir. Tavuk yumurtası ithalatı en yoğun olan ülke Belçika'dır. Bu ülkeyi Almanya ve Hollanda takip etmektedir. Çin dünya üretiminde birinci ülke olmasına karşın, ithalatta da dördüncü sıraya gerilemiştir.

Dünya'da ve Türkiye'de yaşanan kuş gribi salgını nedeniyle 2005-2010 yılları arasında tavuk varlığında düşüşler yaşanmış olup, 2010 yılından sonra ise tavuk sayıları artmaya başlamıştır. Türkiye'deki yumurta tavuğu sayısı 2024 yılı itibarıyla 109.100.202 milyona ve tavuk yumurtası üretimi ise 21.155.089.000 adede ulaşmıştır. Buna göre, 2005-2024 yılları arasında yumurta tavuğu sayısı %81 ve yumurta üretimi ise %75,5 oranında artış göstermiştir. Tavuk yumurtası üretiminde Türkiye'de Ege bölgesi (%29.2) en fazla miktarda üretim yapan bölgedir. İller bazında ise Manisa birinci sırada olup, bunu Afyonkarahisar ve Konya illeri takip etmektedir. Türkiye, 2005-2023 yılları arasında ihracatını miktar bazında %1773, değer bazında ise %2095 oranında arttırmıştır. İthalat oranında bir artış gerçekleşse de, ihracat artışının çok gerisinde kalmıştır. İthalat değeri, 2023 yılında ihracat değerinin yaklaşık %10,88'i kadardır. Türkiye'nin tavuk yumurtası ihracatında en önemli ülke Birleşik Arap Emirlikleridir. Türkiye'nin ihracat yaptığı ülkeler arasında AB ülkelerinin bulunmaması dikkat çekicidir. Türkiye'nin tavuk yumurtası ithalatında en önemli ülke Birleşik Krallıktır. Türkiye'nin dünya yumurta ihracatındaki payı 2017'de %15.77 ile en yüksek düzeye ulaşmıştır. Ancak sonrasında bazı ülkelerin ithalata getirdiği kısıtlamalar nedeni ile düşüş eğilimine girmiştir. Türkiye'nin yumurta ticaretinde Balassa endeksine göre rekabet gücü bulunmaktadır. Ancak orta ve zayıf düzeyde dalgalanmaktadır.

Tavuk yumurtası dış ticaretinde Türkiye, dünya ülkeleri ile kıyaslandığında iyi bir konumdadır. Ancak, belirli ülkelere bağımlılık söz konusudur. Bu durum tavukçuluk sektörünü politik ve ekonomik anlamda kırılgan hale getirmektedir. Bu nedenle ihracat şansının daha fazla artması için değişik ülkeler ve değişik pazarların bulunması ve pazar çeşitliliğine gidilmesi ihracat kayıpları ve belirsizliği olumlu yönde etkileyecektir. Türkiye'nin

ihracat yaptığı ülkeler arasında önemli ithalatçı ülkelerden olan Hollanda, Almanya gibi AB ülkeleri yer almamaktadır. AB ülkelerinin standardı yüksek ürün talebini karşılayabilecek üretim ve pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi sayesinde bu pazarlara girmeyi hedeflemek gerekmektedir. Türkiye'nin dünya ihracatındaki payının giderek düşmesinde etkili olan ithalatçı ülkelerin uygulamış oldukları ticari kısıtlamalar müzakere ve diplomatik girişimlerle aşılmaya çalışılmalıdır. Türkiye tavuk yumurtası ihracatında miktar olarak üçüncü, değer olarak ise dördüncü sırada bulunmaktadır. Bu durum ihraç edilen ürünün ortalama değerinin düşük olmasından kaynaklanabilir. Miktar olarak daha az ihracat yaparken, değer olarak daha fazla gelir elde eden ülkeler gibi kabuklu yumurta ihracatı yanında, yumurtanın katma değeri yüksek ürünlere işlenerek ihracatına önem verilmelidir. Tavuk yumurtası üretici ve tüketici fiyatları incelendiğinde meydana gelen fiyat artışları, enflasyon artışı ve kur farklarından kaynaklanabilmektedir. Önemli olan konu üreticinin maliyetlerini karşılayabilmesi ve tüketicinin de temel besin kaynağı olan yumurtayı uygun fiyatlarla satın alabilmesi için piyasada fiyat istikrarına kavuşulması elzemdir.

5. KAYNAKLAR

- Anonymous (2014). Egg Nutrition Center, <http://www.eggnutritioncenter.org/wp-content/uploads/2012/04/Nutrient-Content-of-1-Large-Egg.Pdf>. Erişim Tar: 21.03.2014
- Anonim (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Erişim tarihi 16.09.2025
- Anonim (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Erişim tarihi 20.09.2025
- Anonim (2024). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Hayvancılık İstatistikleri <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi. 01.10.2025
- Anonim (2025). <https://www.yum-bir.org/Yumurta/id27-Yumurta-Hakkinda>. Erişim tarihi 15.09.2025
- Bashimov, G. (2016). Türkiye'nin Domates İhracat Performansı ve Rekabet Gücü. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences* 31(2): 1-8
- Erkan, B., Arpacı, B.B., Yaralı, F., Güvenç, İ. (2015). Türkiye'nin Sebze İhracatında Karşılaştırmalı Üstünlükleri. *KSÜ Doğa Bil. Dergisi* 18(4): 70-76.
- Göğüş, A.K. (1986). Et Teknolojisi, Yayın No: 991, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, s.243.
- Güvenç, İ.(2020).Türkiye'de Biber Üretimi, Dış Ticareti ve Rekabet Gücü. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 23 (2): 441-445
- Hasipek, S., Aktaş, N. (1997). Türkiye'deki tavuk ürünlerinin insan beslenmesindeki önemi. *Uluslararası Tavukçuluk Fuarı ve Konferansı*, 14-17 Mayıs, İstanbul.
- Hinloopen, J., Marrewijk, C.V. (2001). On the empirical distribution of the Balassa Index. *Review of World Economics*, Vol: 137, No:1, March 2001, P: 13.
- İskender, H; Kanbay, Y. (2014). Üniversite Öğrencilerinin Yumurta Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi.YYU Veteriner Fakültesi Dergisi 5(3): 57-62. Erişim Tarihi 01.09.2025
- Stadelman, WJ., Olson, VM., Shemwell, GA., Pasch, S. (1988). *Egg and Meat Processing*, Ellis Horword Ltd. Chichester (England) s.211.

BÖLÜM 5

SAĞLIĞI DESTEKLEYEN BİR TAHİL OLARAK ARPA (*Hordeum vulgare* L.) VE BESİN BİLEŞİMİ

Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE^{1*}

Prof. Dr. Zeki MUT²

Ömer Sami SARI³

Fatih ŞU⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17680871>

^{1*}Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye. ozgedoganay.erbas@bilecik.edu.tr, orcid id: 0000-0003-0429-3325

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye. zeki.mut@bilecik.edu.tr, orcid id: 0000-0002-1465-3630

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye. bilimvebereket1138@gmail.com, orcid id: 0009-0001-5891-0256

⁴Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye. fatih.su@tarimorman.gov.tr, orcid id: 0009-0004-5613-3379

1. GİRİŞ

1.1. Arpanın beslenmede ve endüstride tarihsel kullanımı

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), insanlık tarihindeki en eski kültür bitkilerinden biridir. Arkeolojik kanıtlar, M.Ö. 12.000 yıllarında Ohalo II (Galile Gölü, İsrail) bölgesinde yabani arpa ve emmer buğdayının toplandığını göstermektedir (Kislev ve ark., 1992). Bu dönem, insanların doğadan topladıkları tahılları ilk kez beslenme amacıyla düzenli biçimde kullanmaya başladıkları sürece karşılık gelir. M.Ö. 8.000–10.000 yıllarına ait Suriye buluntularında, arpanın artık insan yerleşimlerinde temel bir besin olarak değerlendirildiği görülmektedir (Hillman, 1975). M.Ö. 8.000’den itibaren sert başak eksenine sahip arpa formlarının ortaya çıkması, arpanın evcilleştirilip tarımsal üretime alınmaya başladığını göstermektedir (Zohary ve Hopf, 1993). Erken dönemlerde üretilen arpa tipleri iki sıralı kavuzlu, daha sonrakiler ise altı sıralı ve çıplak taneli formlar olduğu belirlenmiştir (Van Zeist ve Bakker-Heeres, 1985). Bu çeşitlilik, arpanın farklı kullanım alanlarına yönelmesini kolaylaştırmıştır. Kavuzlu tipler daha çok hayvan yemi ve bira üretiminde, çıplak taneli tipler ise gıda amaçlı tüketimde kullanılmıştır.

Mısır, Mezopotamya ve Ege uygarlıkları döneminde arpa, ekmek, lapalar ve fermente içecekler için başlıca hammadde haline gelmiştir (Darby ve ark., 1977). Mezopotamya’da (M.Ö. 4. binyıl) arpa, tuzlu ve kurak topraklara dayanıklılığı sayesinde buğdaya göre daha geniş bir tarım alanı bulmuş; aynı zamanda bira üretiminin temel hammaddesi olmuştur (Zohary ve Hopf, 1993). Avrupa’ya yayılışı sırasında arpa, hem temel besin hem de hayvan yemi olarak önem kazanmıştır. Ortaçağ Avrupası’nda arpa ekmeği, halkın temel gıdalarından biri olmuş; iki sıralı arpa daha sonra bira ve malt üretimi için seçilmiştir. Yeni Çağ’da arpa, İspanyol ve İngiliz sömürgeciler aracılığıyla Amerika ve Okyanusya’ya taşınmıştır. Avrupa’dan gelen göçmenler, kendi yöresel arpa çeşitlerini getirerek yerel çevrelere uyumlu tiplerin ortaya çıkmasına katkı sağlamışlardır (Moseman ve Smith, 1981). Günümüzde arpa, gıda sanayisinde malt, bira, kahvaltılık ürünler ve fonksiyonel gıdalar üretiminde; ayrıca yem sanayisi ve biyoteknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla arpa, tarih boyunca hem beslenme alışkanlıklarını şekillendiren hem de tarımsal-endüstriyel gelişmeleri yönlendiren stratejik bir kültür bitkisi olmuştur.

1.2. Arpanın Dünyada ve Türkiye'deki üretim önemi

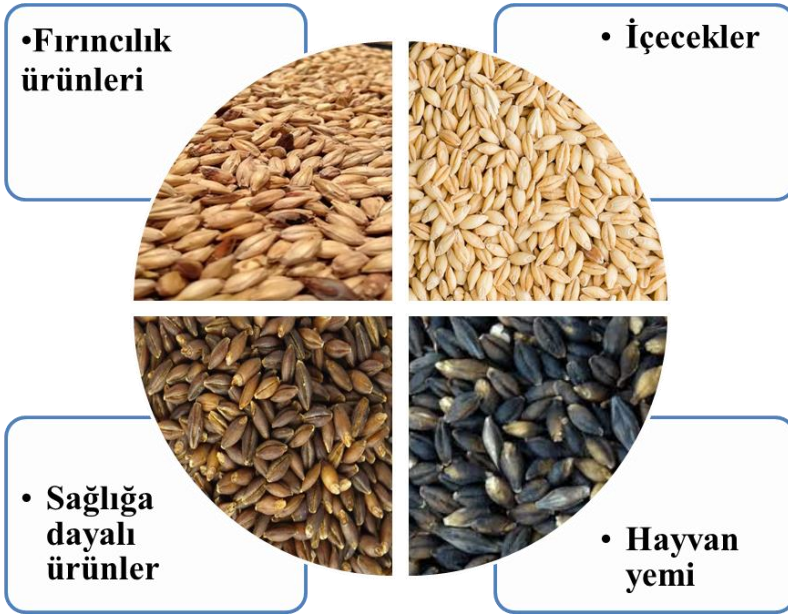
Arpa, buğdaygiller (*Poaceae*) familyasına ait olup, dünyada buğday, çeltik ve mısırdan sonra en fazla üretilen dördüncü tahıl cinsidir (FAO, 2023). En eski kültüre alınan bitkilerden biri olan arpa, tarih boyunca hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi ve endüstriyel hammadde olarak önemli bir yere sahip olmuştur (Gong, 2019). İlk dönemlerde temel besin kaynağı olarak kullanılan arpanın, buğdayın insan beslenmesinde daha yaygın hale gelmesiyle birlikte önemi yemlik ve malt üretimi yönünde artmıştır (Anderson, 2004). Arpa, yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde dünya genelinde farklı iklim koşullarında yetiştirilebilmektedir (Hamdi ve ark., 2017; Hamdi ve ark., 2020). Bu özelliği, onu özellikle kuraklık, düşük sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına dayanıklı bir tahıl haline getirmiştir. Dünya arpa ekim alanı 46 milyon ha, üretimi 14.7 milyon tondur. Rusya ve Avustralya arpa üretiminde önemli paya sahip ülkelerdir (FAO, 2023). Günümüzde dünya genelinde üretilen arpanın yaklaşık %98'i hayvan yemi ve alkollü içecek üretiminde kullanılmakta, yalnızca %2'si doğrudan insan gıdası olarak tüketilmektedir (Gong, 2019). Bununla birlikte, arpanın zengin besin içeriği ve özellikle yüksek β -glukan içeriği nedeniyle, son yıllarda insan beslenmesindeki önemi yeniden artmıştır (Kazimierczak ve ark., 2020).

Türkiye, uygun iklim koşulları ve geniş tarım alanları sayesinde dünyanın önde gelen arpa üreticileri arasında yer almaktadır. Arpa, ülkemizde genellikle hayvan yemi ve malt sanayisinde kullanılmakta olup, buğdaydan sonra en geniş ekim alanına sahip tahıldır. Türkiye'de arpa üretimi özellikle Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmış; bu bölgelerde kuru tarım koşullarında yetiştirilen en önemli tahıl bitkilerinden biri haline gelmiştir. Türkiye'de 2024 yılı verilerine göre arpa ekim alanı yaklaşık 3.25 milyon hektar, toplam üretim miktarı 8.1 milyon ton, ortalama verim ise 2.49 ton/ha olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler, arpanın Türkiye tarımında hem stratejik bir tahıl hem de sanayi hammaddesi olarak önemini koruduğunu açıkça göstermektedir (TÜİK, 2024).

1.3. Arpanın fonksiyonel gıda olarak önemi

Arkeolojik bulgular, arpanın ilk olarak Bereketli Hilal olarak bilinen bölgede - yani günümüzün güney Türkiye, doğu Irak ve batı İran

topraklarında - M.Ö. 7000 yıllarında kültüre alındığını ve buradan Kuzey Afrika, Avrupa ve Asya'ya yayıldığını göstermektedir (Hamaker, 2008). İklim koşullarına yüksek uyum yeteneği sayesinde arpa günümüzde 100'den fazla ülkede yetiştirilmekte ve 46 milyon hektarlık ekim alanıyla dünyanın dördüncü en önemli tahılı konumunda bulunmaktadır (Zhou, 2009). Tarihsel olarak insan beslenmesinde temel bir yere sahip olmasına rağmen, zamanla buğday ve pirinç gibi rafine tahıllara olan talebin artmasıyla arpanın gıda olarak kullanımı azalmıştır (Kazimierczak ve ark., 2020). Ancak son yıllarda arpanın zengin besin içeriği ve biyoaktif bileşenleri, onu yeniden fonksiyonel bir gıda olarak bilimsel ve endüstriyel açıdan ilgi odağı haline getirmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı arpa genotipleri ve arpanın kullanım alanları

Arpa tanesi; nişasta, diyet lifi (özellikle β -glukanlar), protein, mineral, yağ, vitamin ve çeşitli fitokimyasallar (fenolik bileşikler, flavonoidler, tokoller ve karotenoidler) bakımından zengin bir tahıldır (Pontonio ve ark., 2020; Robles-Ramírez ve ark., 2020). Bu biyoaktif bileşenler, bitkide savunma mekanizmalarında rol oynamalarının yanı sıra insan sağlığı üzerinde antioksidan, antiinflamatuvar ve metabolik düzenleyici etkiler göstermektedir

(Deng ve ark., 2020). Özellikle β -glukanların kan kolesterolünü düşürme, glikoz metabolizmasını düzenleme ve bağırsak sağlığını geliştirme gibi önemli fizyolojik etkileri olduğu bildirilmektedir. Arpa ve diğer tam tahılların düzenli tüketimi, kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, obezite ve bazı kanser türleri gibi kronik hastalıkların riskini azaltmaktadır (Aune ve ark., 2016).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, özellikle renkli (pigmentli) ve yüksek yayla arpa çeşitlerinin fenolik bileşik, flavonoid ve antosiyanin bakımından geleneksel beyaz arpalardan daha zengin olduğunu göstermektedir (Yao ve ark., 2022). Bu bileşikler, yalnızca tanelere mavi, mor ve siyah gibi renkler kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda antioksidan kapasiteyi artırarak fonksiyonel değerini de yükseltir (Gordeeva ve ark., 2019). Qinghai-Tibet Platosu gibi yüksek rakımlı bölgelerde yetiştirilen arpa, zorlu çevresel koşullar altında temel karbonhidrat ve besin kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır (Zhu ve ark., 2015; Tianli ve ark., 2020). Arpa genotipleri arasındaki bileşimsel çeşitlilik, fonksiyonel gıda bileşenlerinin geliştirilmesinde geniş bir potansiyel sunmaktadır.

Sağlığı destekleyen, doğal ve fonksiyonel gıdalara olan tüketici talebinin artması, arpayı biyoaktif bileşikler açısından zenginleştirilmiş yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesinde örnek bir model tahıl haline getirmiştir. Bu derlemenin amacı; arpanın besin bileşimi ve sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin mevcut literatürü özetleyerek gelecekteki araştırmalara ışık tutmayı hedeflemektedir.

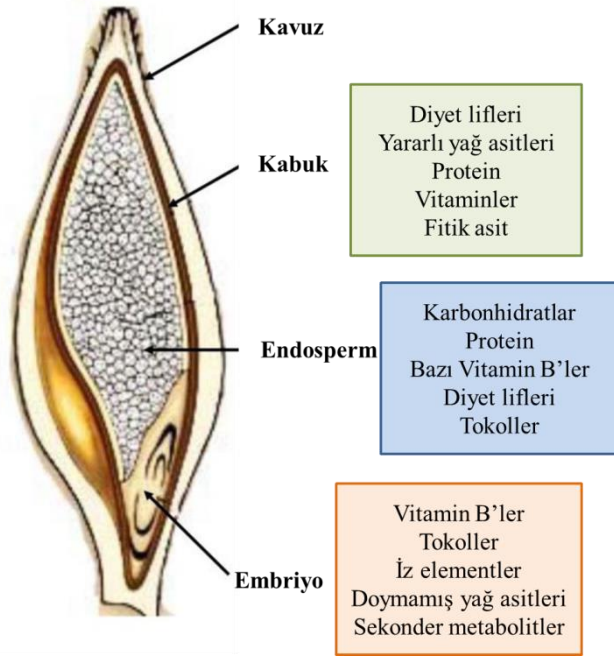
1.4. Arpa Türleri ve Botanik Özellikleri

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), *Poaceae* (*Gramineae*) familyasına ait olup *Triticeae* takımının *Hordeinae* alt takımında yer alan *Hordeum* cinsini temsil eder (Newman ve Newman, 2008). Arpa, fiziksel özellikleri, besin içerikleri ve kullanım amaçlarına göre farklı sınıflara ayrılır ve bu sınıflandırma, tarım ve endüstri alanındaki kullanımını belirler (Shewry ve Ullrich, 2014). Von Bothmer (1992), *Hordeum* cinsine bağlı 32 tür ve 45 takson olduğunu, bunların 4 ana grup altında toplandığını belirtmiştir. Tüm kültüre alınmış arpa çeşitleri ise *Hordeum vulgare* türü içinde değerlendirilir. Kromozom sayılarına göre *Hordeum* cinsi üç gruba ayrılır: diploid ($2n=14$), tetraploid ($2n=28$) ve hekzaploid ($2n=42$). Kültür arpaları diploid veya hekzaploid iken,

yabani arpalar yalnızca diploiddir. Modern kültür arpasının, yabani arpadan türediği kabul edilmektedir (Newman ve Newman, 2008). Arpa tanesi uzun ve silindirik bir formdadır. Tane anatomisi; embriyo, endosperm, aleuron tabakası ile perikarp ve testadan oluşan kabuk olmak üzere birkaç ana bölümden oluşur. Endosperm, tanenin yaklaşık %77'sini oluşturur ve nişasta ile proteince zengindir (Jadhav ve ark., 1998). Çeşide ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak kabuk yaklaşık %13, perikarp ve testa %3.3, aleuron tabakası ise %5.5 oranında bulunur (Şekil 2). Embriyo ise proteinden, yağlardan ve tokoferollerden oluşur ve tanenin %3'ünü oluşturur (Newman ve Newman, 2008; Evers ve ark., 1999).

Arpa, genetik çeşitlilik açısından en zengin tahıllardan biridir ve yetiştirme dönemine göre yazlık veya kışlık; başak yapısına göre iki veya altı sıralı; tane kabuğu bakımından kabuklu veya çıplak olarak sınıflandırılabilir (Sullivan ve ark., 2013). Çıplak arpa, kavuzlu arpalara kıyasla protein, yağ ve çözünür lif açısından daha zengin olup besin değeri daha yüksektir (Oscarsson ve ark., 1996).

Arpa, subarktik (Tayga) iklimlerden subtropikal bölgelere kadar geniş bir adaptasyon kabiliyetine sahiptir. Günümüzde dünyanın bir çok yerinde arpa üretiminin büyük kısmı malt elde etme amacıyla yetiştirilirken, geri kalan kısmı hayvan yemi ve insan yiyeceği olarak kullanılmaktadır. Bazı çeşitler birden fazla amaçla değerlendirilebilir (Baik, 2016). İnsan beslenmesinde arpanın payı sınırlı (% 6 civarı) olmakla birlikte giderek önem kazanmaktadır. Genellikle çorbalara katkı veya un olarak değerlendirilir.



Şekil 2. Arpa tanesinin farklı katmanları ve bunların ana bileşenlerini

Son yıllarda, çözünür diyet lifleri bakımından zengin arpa çeşitlerinin insan beslenmesinde önemi artmaktadır. Ayrıca arpa, tokoferoller ve tokotrienoller gibi fitokimyasallar açısından önemli bir kaynaktır ve bu bileşikler bağışıklığı destekleyici, kardiyovasküler hastalık riskini azaltıcı ve kanser önleyici özellikler gösterir (Lukinac and Juki'c, 2022). Arpa, gıda endüstrisinde genellikle kavuzları alınmış (soyulmuş) ve çıplak formda kullanılır; soyulmuş arpa en yaygın formdur.

2. Arpanın besin bileşimi

Arpa, tahıllar içinde hem insan hem de hayvan beslenmesinde önemli bir yer tutan, yüksek besin değeri ve işlevsel bileşikleriyle dikkat çeken bir türdür. Arpa taneleri başlıca karbonhidrat (%55–65), protein (%8–15), diyet lifi (%10–20), dikkate değer miktarda mineral, yağ ve az miktarda vitamin içermektedir (Lukinac and Juki'c, 2022) (Şekil 1). Ayrıca, renkli arpa çeşitleri, özellikle antosiyaninler, fenolik asitler, tokoferoller ve karotenoidler gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir. Bu özelliklerin ise genotip,

yetiştirme koşulları ve çevresel faktörlerle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Sullivan ve ark., 2013). Bu bileşikler, antioksidan özellikleriyle hücre hasarını önleyerek arpanın potansiyel sağlık yararlarını artırmaktadır (Evers ve ark., 1999; Obadi ve ark., 2021).

Arpa tanelerinin en önemli bileşeni olan nişasta, toplam kuru ağırlığın yaklaşık %60'ını oluşturur. Nişasta, amiloz ve amilopektin olmak üzere iki polisakkaritten oluşmaktadır. Amiloz, düz zincirli bir glukan olup retrogradasyona eğilimlidir, amilopektin ise dallanmış yapısıyla jelatinizasyon özelliklerini belirler (Baik, 2016). Arpa nişastasının granül yapısı, çoğunlukla A (25–30 µm) ve B (3–8 µm) tipi granüller olarak iki farklı boyutta bulunur ve bu granül oranı, arpanın işleme kalitesini, sindirim hızını ve endüstriyel kullanım alanını belirler (Idehen ve ark., 2017). Nişasta kompozisyonu; sıcaklık, toprak nemi ve besin durumu gibi çevresel faktörlerin etkisiyle değişebilmektedir. Bu durum, hem gıda kalitesi hem de endüstriyel uygulamalar (örneğin bira üretimi, nişasta bazlı ürünler) açısından büyük önem taşır (Lukinac and Juki'c, 2022).

Arpa proteinleri, toplam kuru madde içeriğinin % 8–15'ini oluşturan ikinci büyük bileşendir. Başlıca protein fraksiyonları albümin, globülin, prolamin (hordein) ve glutelindir. Hordein, arpa gluten yapısının temel bileşenidir ve bira endüstrisinde köpük oluşumu ve stabilitesi üzerinde etkili olduğu için önemlidir (Idehen ve ark., 2017). Protein miktarı ve bileşimi; çeşit, yetiştirme koşulları, azot gübrelemesi, su durumu ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilenmektedir. Yüksek sıcaklık ve az su koşulları genellikle protein oranını artırırken nişasta sentezini azaltmaktadır (Xie ve ark., 2019). Arpa proteinlerinin amino asit bileşimi, özellikle lizin bakımından sınırlıdır; ancak toplam esansiyel amino asit içeriği bakımından diğer tahıllarla benzer düzeydedir. Renkli arpa çeşitlerinde protein içeriği biraz daha yüksek bulunmuş, bunun fenolik bileşiklerle etkileşim sonucu oluşan yapısal stabiliteden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Jin ve ark., 2022).

Arpa, özellikle β-glukan açısından zengin bir diyet lifi kaynağıdır. Bu çözünür lif, arpa tanesinin endosperm hücre duvarlarında yoğunlaşmıştır ve toplam kuru ağırlığın %3–7'sini oluşturur. Renkli arpa çeşitlerinde β-glukan içeriği genellikle daha yüksektir ve fenolik bileşiklerle sinerjik etki oluşturarak antioksidan kapasiteyi artırmaktadır (Xia ve ark., 2024). Ayrıca, arpadaki diyet lifi sadece β-glukanlardan oluşmaz; aynı zamanda selüloz,

hemiselüloz, arabinoksilan ve lignin gibi bileşenleri de içerir. Bu liflerin oranı, arpanın kabuklu veya kabuksuz olmasına, çeşidine ve işlenme derecesine bağlı olarak değişmektedir (Anderson ve ark., 2008). Tam taneli arpa ürünleri, işlenmiş un ürünlerine göre çok daha yüksek lif ve fenolik bileşik içeriğine sahiptir, bu da onları fonksiyonel gıdalar için uygun hale getirir (Idehen ve ark., 2017).

Genel olarak, arpa tanesi %2–3 oranında yağ içerir ve bu yağında büyük kısmı endospermde yer alır. Arpa tanesindeki başlıca yağ asitleri; linoleik asit (%50–60), palmitik asit (%20–30), oleik asit (%10–15) ve linolenik asit (%4–9) şeklindedir. Arpa tanesinin endosperm kısmı esas olarak linoleik asit (%34) ve palmitik asitten (%46) oluşmaktadır (Raj ve ark.2023). Arpadaki E vitamini miktarı, diğer tahıllara göre daha yüksektir. Ancak kavuzlu arpa, kavuzsuz arpaya göre daha düşük tokol (yağda çözünen) konsantrasyonuna sahiptir. Arpa, özellikle α -tokoferol ve α -tokotrienol bakımından, en yüksek tokol içeriğine sahip tahıllardan biridir (Raj ve ark., 2023).

Tahıl taneleri önemli miktarda mineraller içermekle birlikte bu elementlerin büyük kısmı tanenin dış katmanlarında yoğunlaşmıştır. Bu nedenle, kavuzlu arpa, kavuzssuz arpadan önemli ölçüde daha yüksek mineral konsantrasyonuna sahiptir. Bitki dokularında bulunan her bir mineral türünün miktarına göre, makro ve mikro elementler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Makro elementlerden K (%0.25), Ca (%0.02), P (%0.21) ve Mg (%0.08) ve eser elementlerden Fe (49.9 mg/kg), Cu (12 mg/kg), Mn (13.9 mg/kg) ve Zn (24.4 mg/kg) bakımından oldukça zengindir ve bu oranlar arpa çeşidine ve çevresel faktörlere bağlı olarak farklılıklar göstermekle birlikte, mükemmel bir mineral kaynak olarak kabul edilir (Almendros ve ark., 2019).

3. Arpanın sağlık üzerine faydaları

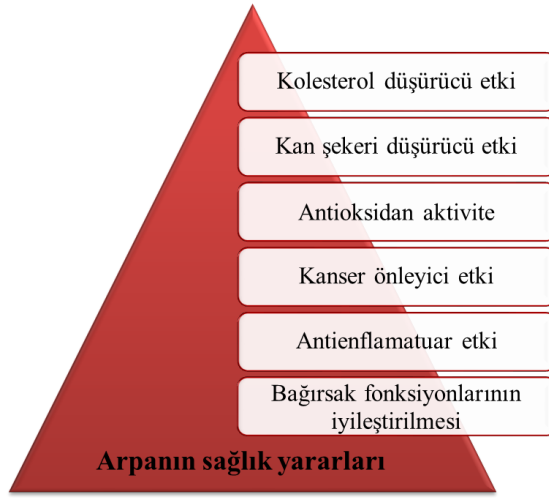
Arpa (*Hordeum vulgare* L.), besin değeri yüksek ve sağlık açısından çok yönlü yararları bulunan önemli bir tahıl türüdür. İçeriğinde yer alan diyet lifi, vitaminler, mineraller ve biyolojik olarak aktif bileşikler sayesinde dengeli beslenmeye katkı sağlar (Şekil 3).

3.1. Kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde etkileri

Arpa, özellikle β -glukan bakımından zengin yapısı sayesinde kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Arpadaki çözünür lifler bağırsaklarda viskoz bir jel oluşturarak safra asitlerinin geri emilimini azaltır. Bu durum karaciğerin daha fazla kolesterol kullanarak yeni safra asidi sentezlemesine neden olur ve serum toplam kolesterol ile düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) düzeylerinde düşüş sağlar (Geng ve ark., 2022). Geng ve ark. (2022), arpadaki β -glukanın bağırsak mikrobiyotası üzerinden lipid metabolizmasını düzenleyerek kolesterol düşürücü etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca arpanın içerdiği fenolik bileşikler, tokoferoller ve arabinoksilanlar güçlü antioksidan özellikleri sayesinde oksidatif stres kaynaklı damar hasarını azaltmakta ve kardiyovasküler sistemi desteklemektedir (Loskutov ve Khlestkina, 2021). Yapılan çalışmalar, düzenli arpa tüketiminin toplam kolesterol, LDL ve trigliserit düzeylerini düşürerek ateroskleroz riskini azalttığını göstermektedir (Li ve ark., 2021). Bu etkiler sonucunda arpa, yağ profilini iyileştirici ve damar sağlığını koruyucu özellikleriyle kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde fonksiyonel bir gıda olarak değerlendirilmektedir.

3.2. Glisemik kontrol ve diyabet yönetimindeki rolü

Arpa, düşük glisemik indeksli bir tahıl olup özellikle β -glukan, arabinoksilan ve dirençli nişasta içeriği sayesinde glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Bu bileşenler sindirim sisteminde viskoziteyi artırarak mide boşalmasını yavaşlatır ve glikoz emilimini geciktirir. Böylece yemek sonrası kan şekeri yükselmesi sınırlandırılır ve insülin yanıtı dengelenir (Geng ve ark., 2022). β -glukan, karbonhidrat sindirimini yavaşlatarak pankreatik α -amilaz ve α -glukozidaz enzimlerinin aktivitesini dolaylı olarak sınırlandırır; bu durum, özellikle Tip 2 diyabetli bireylerde glisemik kontrolün iyileştirilmesine katkı sağlar. Ayrıca arpanın içerdiği fenolik bileşiklerin insülin duyarlılığını artırdığı ve oksidatif stresi azalttığı bildirilmektedir (Loskutov ve Khlestkina, 2021; Idehen ve ark., 2017). Li ve ark. (2022), arpa tüketiminin kan şekeri regülasyonuna yardımcı olduğunu ve uzun vadede diyabet riskini azalttığını rapor etmiştir. Bu nedenle arpa, lif, dirençli nişasta ve polifenollerin sinerjik etkisiyle diyabetin önlenmesi ve yönetiminde önemli bir fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Arpanın sağlığa yararları

3.3. Sindirim sağlığı ve bağırsak mikrobiyotası üzerine etkileri

Arpa, çözünür ve çözünmez liflerin dengeli bir karışımını içermesi sayesinde sindirim sağlığını destekleyen değerli bir tahıldır. Özellikle β -glukan, arabinoksilan ve dirençli nişasta gibi bileşenler prebiyotik özellik göstererek yararlı bağırsak bakterilerinin gelişimini teşvik eder (Geng ve ark., 2022). Bu liflerin fermantasyonu sonucu kısa zincirli yağ asitleri oluşur; bu bileşikler bağırsak mukozasının bütünlüğünü korur, inflamasyonu azaltır ve kolon sağlığını destekler (Li ve ark., 2021). Ayrıca arpa lifi dışkı hacmini artırarak bağırsak geçiş süresini kısaltır, bu da kabızlık gibi sindirim sorunlarının önlenmesine yardımcı olur (Raj ve ark., 2023). Geng ve ark. (2022), β -glukan açısından zengin arpa ürünlerinin tüketiminin Bifidobacterium ve Lactobacillus türlerinin artışı desteklediğini, bu etkinin bağırsak mikrobiyotasının dengesini koruyarak bağışıklık fonksiyonlarını iyileştirdiğini belirtmiştir. Fenolik bileşiklerin de zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek mikrobiyal çeşitliliğin korunmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Loskutov ve Khlestkina, 2021).

3.4. Kilo kontrolü ve obezitenin önlenmesine katkısı

Arpa, yüksek diyet lifi içeriği sayesinde tokluk hissini artırarak enerji alımını azaltır ve kilo kontrolüne katkı sağlar (Geng ve ark., 2022). Özellikle β -glukan, sindirim kanalında jel benzeri bir yapı oluşturarak mide boşalmasını geciktirir, böylece iştahın baskılanmasına yardımcı olur. Bu etki, postprandiyal glikoz ve insülin yanıtlarını düzenleyerek uzun süreli tokluk sağlar (Boukid ve Mefleh, 2024). Geng ve ark. (2022), β -glukan açısından zengin arpa tüketiminin vücut ağırlığı, vücut kütle indeksi ve bel çevresi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Ayrıca arpadaki polifenoller, yağ metabolizmasını düzenleyerek yağ birikimini sınırlar ve obeziteye bağlı inflamatuvar süreçleri azaltır (Loskutov ve Khlestkina, 2021). Bu nedenle arpa, yüksek lif ve biyoaktif bileşen içeriğiyle kilo kontrolü ve obezitenin önlenmesinde etkili bir fonksiyonel besin olarak öne çıkmaktadır.

3.5. Antioksidan ve antiinflamatuvar etkiler

Arpa, polifenoller, tokoferoller, karotenoidler ve selenyum gibi çeşitli antioksidan bileşenler açısından zengindir. Bu bileşikler, reaktif oksijen türlerini nötralize ederek oksidatif stresi azaltır ve hücre zarlarının bütünlüğünü korur (Loskutov ve Khlestkina, 2021). Fenolik asitler, özellikle ferulik ve p-kumarik asit, serbest radikal temizleme kapasitesi sayesinde oksidatif hasarı önleyerek kardiyovasküler, nörodejeneratif ve metabolik hastalıklara karşı koruyucu etki gösterir (Li ve ark., 2022). Geng ve ark. (2022), yüksek polifenol ve flavonoid içeriğine sahip arpa çeşitlerinin güçlü antioksidan özellik sergilediğini ve inflamatuvar yanıtı baskıladığını bildirmiştir. Ayrıca β -glukanın bağışıklık sistemini düzenleyerek proinflamatuvar sitokinlerin üretimini azalttığı belirlenmiştir (Boukid ve Mefleh, 2024). Bu etkiler, arpanın oksidatif stres ve inflamasyon kaynaklı kronik hastalıkların önlenmesinde önemli bir besin kaynağı olduğunu göstermektedir. Lifler ile polifenolik bileşiklerin sinerjik etkisi, arpanın antioksidan ve antiinflamatuvar potansiyelini daha da güçlendirmekte ve bu tahılı fonksiyonel gıda bileşeni olarak ön plana çıkarmaktadır (Loskutov ve Khlestkina, 2021; Boukid ve Mefleh, 2024).

SONUÇ

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), insanlık tarihinin en eski kültür bitkilerinden biri olarak, binlerce yıldır hem beslenmede hem de endüstride önemli bir yere sahip olmuştur. Arkeolojik bulgular, arpanın ilk tarımsal üretim süreçlerinin Bereketli Hilal’de başladığını ve zamanla dünyanın pek çok bölgesine yayıldığını ortaya koymaktadır. Buğday, çeltik ve mısırdan sonra en fazla üretilen tahıl olan arpa, yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde farklı iklim koşullarına kolaylıkla uyum sağlayarak hem kurak hem de soğuk bölgelerde temel bir tahıl kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir. Geleneksel olarak yem ve malt üretiminde öne çıkan arpa, son yıllarda artan bilimsel çalışmalarla birlikte yeniden insan beslenmesinde değer kazanmaya başlamıştır. Arpa tanesinin nişasta, protein, diyet lifi, vitamin, mineral ve özellikle β -glukan, fenolik bileşikler, tokoferoller, flavonoidler ve antosiyaninler gibi biyoaktif bileşenler bakımından zengin içeriği; onu fonksiyonel gıdalar içinde öne çıkan bir tahıl haline getirmiştir. Bu bileşenlerin kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde, glisemik kontrolün sağlanmasında, sindirim sağlığının korunmasında, kilo kontrolünde ve oksidatif stres ile inflamasyonun azaltılmasında önemli rol oynadığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Ayrıca, renkli ve yüksek yayla arpa çeşitlerinin fenolik bileşik ve antioksidan kapasite bakımından daha zengin olduğu saptanmış; bu durum, arpanın yalnızca bir tahıl değil, aynı zamanda doğal biyoaktif bileşik kaynağı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Artan tüketici bilinci ve sağlığı destekleyici gıdalara olan talep, arpanın fonksiyonel gıda formülasyonlarında, tam tahıllı ürünlerde ve sağlık odaklı yeni ürün geliştirme çalışmalarında daha fazla yer almasını teşvik etmektedir.

Sonuç olarak, arpa tarih boyunca hem beslenme alışkanlıklarını hem de tarımsal ve endüstriyel gelişmeleri şekillendiren stratejik bir kültür bitkisi olmuştur. Günümüzde ise zengin besin profili ve kanıta dayalı sağlık yararları sayesinde arpa, sürdürülebilir beslenme ve fonksiyonel gıda üretimi açısından yeniden ön plana çıkmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı arpa genotiplerinin biyoaktif bileşen içerikleri, işlenme teknolojileri ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerine odaklanması, bu tahılın fonksiyonel değerinin daha iyi anlaşılmasına ve endüstriyel uygulamalarının çeşitlenmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Almendros, P., Obrador, A., Alvarez, J. M. & Gonzalez, D. (2019). Zn-DTPA-HEDTA-EDTA application: A strategy to improve the yield and plant quality of a barley crop while reducing the N application rate. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 920–934. doi:10.1007/S42729-019-00090-3
- Anderson, J. W. (2004). Whole grains and coronary heart disease: the whole kernel of truth. *Am. J. Clin. Nutr.*, 80(6), 1459–1460.
- Andersson, A. A. M., Lampi, A. M., Nyström, L., Piironen, V., Li, L., Ward, J. L., Gebruers, K., Courtin, C. M., Delcour, J. A., Boros, D., Fraś, A., Dynkowska, W., Rakszegi, M., Bedo, Z., Shewry, P. R. & Åman, P. (2008). Phytochemical and dietary fiber components in barley varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 56(21), 9767–9776. doi:10.1021/jf802037f
- Aune, D., Keum, N. N., Giovannucci, L., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C., Tonstad, S., Vatten, L. J., Riboli, E. & Norat, T. (2016). Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ*, 353, i2716. doi:10.1136/bmj.i2716
- Baik, B. K. (2016). Current and potential barley grain food products. *Cereal Foods World*, 61, 188–196.
- Boukid, F. & Mefleh, M. (2024). Potential benefits of pigmented barley in human health. In *Pigmented Grains* (pp. 119–133). Academic Press.
- Deng, N., Zheng, B., Li, T. & Liu, R. H. (2020). Assessment of the phenolic profiles, hypoglycemic activity, and molecular mechanism of different highland barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1175. doi:10.3390/ijms21041175
- Evers, A. D., O'Brien, L. & Blakeney, A. B. (1999). Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 629–650.
- FAO. (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat> (accessed January 26, 2025)

- Geng, L., Li, M., Zhang, G. & Ye, L. (2022). Barley: A potential cereal for producing healthy and functional foods. *Food Quality and Safety*, 6, fyac012. doi:10.1093/fqsafe/fyac012
- Gong, L. (2019). Bioactive factors and processing technology for cereal foods. *Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods*, 55–64. doi:10.1007/978-981-13-6167-8
- Gordeeva, E. I., Glagoleva, A. Y., Kukoeva, T. V., Khlestkina, E. K. & Shoeva, O. Y. (2019). Purple-grained barley (*Hordeum vulgare* L.): Marker-assisted development of NILs for investigating peculiarities of the anthocyanin biosynthesis regulatory network. *BMC Plant Biology*, 19(Suppl 1). doi:10.1186/S12870-019-1638-9
- Hamaker, B. R. (2008). *Technology of functional cereal products*. Elsevier, Cambridge.
- Hamdi, K., Brini, F., Kharrat, N., Masmoudi, K. & Yakoubi, I. (2020). Absciscic acid, stress, and ripening (Tt ASR1) gene as a functional marker for salt tolerance in durum wheat. *BioMed Research International*, 2020, 7876357. doi:10.1155/2020/7876357
- Hamdi, K., Salladini, E., O'Brien, D. P., Brier, S., Chenal, A., Yacoubi, I. & Longhi, S. (2017). Structural disorder and induced folding within two cereal ABA stress and ripening (ASR) proteins. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/S41598-017-15299-4
- Hillman, G. C. (1975). The plant remains from Tell Abu Hureyra: A preliminary report. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 41, 70–73.
- Idehen, E., Tang, Y. & Sang, S. (2017). Bioactive phytochemicals in barley. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 148–161. doi:10.1016/j.jfda.2016.08.002
- Jadhav, S. J., Lutz, S. E., Ghorpade, V. M. & Salunkhe, D. K. (1998). Barley: Chemistry and value-added processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 123–171.
- Jin, H. M., Dang, B., Zhang, W. G., Zheng, W. C. & Yang, X. J. (2022). Polyphenol and anthocyanin composition and activity of highland barley with different colors. *Molecules*, 27(11), 3411.
- Kazimierczak, R., Średnicka-Tober, D., Leszczyńska, D., Nowacka, A., Hallmann, E., Barański, M., Kopczyńska, K. & Gnusowski, B. (2020). Evaluation of phenolic compounds and carotenoids content and

- mycotoxins occurrence in grains of seventeen barley and eight oat cultivars grown under organic management. *Applied Sciences*, 10(18), 6369. doi:10.3390/app10186369
- Kislev, M. E., Nadel, D. & Carmi, I. (1992). Epipalaeolithic (19,000 BP) cereal and fruit diet at Ohalo II, Sea of Galilee, Israel. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 73(1–4), 161–166.
- Li, Y., Li, T. & Liu, R. H. (2022). Bioactive compounds of highland barley and their health benefits. *Journal of Cereal Science*, 103(1), 103366. doi:10.1016/j.jcs.2021.103366
- Li, M. D., Geng, L., Xie, S. G., Zhang, G. & Ye, L. (2021). Genome-wide association study on total starch, amylose and amylopectin in barley grain reveals novel putative alleles. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 553. doi:10.3390/ijms22020553
- Loskutov, I. G. & Khlestkina, E. K. (2021). Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*, 10(1), 86. doi:10.3390/plants10010086
- Lukinac, J. & Jukić, M. (2022). Barley in the production of cereal-based products. *Plants*, 11(24), 3519.
- Moseman, J. G. & Smith, D. H. Jr. (1981). Purpose, development, utilization, maintenance and status of the USDA barley collection. In R. N. H. Whitehouse (Ed.), *Barley Genetics IV* (pp. 67–70). University of Edinburgh Press, Edinburgh.
- Newman, R. K. & Newman, C. W. (2008). *Barley for food and health: Science, technology, and products*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Obadi, M., Sun, J. & Xu, B. (2021). Highland barley: Chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications. *Food Research International*, 140, 110065.
- Oscarsson, M., Andersson, R., Salomonsson, A. C. & Åman, P. (1996). Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibre components. *Journal of Cereal Science*, 24, 161–170.
- Pontonio, E., Dingo, C., Di Cagno, R., Blandino, M., Gobbetti, M. & Rizzello, C. G. (2020). Brans from hull-less barley, emmer and pigmented wheat varieties: From by-products to bread nutritional improvers using selected lactic acid bacteria and xylanase. *International*

- Journal of Food Microbiology, 313, 108384.
doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108384
- Raj, R., Shams, R., Pandey, V. K., Dash, K. K., Singh, P. & Bashir, O. (2023). Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100677.
- Robles-Ramírez, M. C., Ortega-Robles, E., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R. & Beltrán-Orozco, M. C. (2020). Barley bread with improved sensory and antioxidant properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100279.
doi:10.1016/j.ijgfs.2020.100279
- Shewry, P. R. & Ullrich, S. E. (2014). *Barley: Chemistry and technology* (2nd ed.). Elsevier, St. Paul, MN.
- Sullivan, P., Arendt, E. & Gallagher, E. (2013). The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 124–134.
- Tianli, G., Carla, H., Ling, C., Jin, C. & Bo, Z. (2020). Understanding the nutrient composition and nutritional functions of highland barley (Qingke): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 109–117.
- TÜİK. (2024). Turkish Statistical Institute. URL: <https://www.tuik.gov.tr> (accessed January 25, 2025)
- Van Zeist, W. & Bakker-Heeres, J. A. H. (1985). Archaeological studies in the Levant 1: Neolithic sites in the Damascus Basin: Aswad, Ghoarife, Ramad. *Paleohistoria*, 24, 165–256.
- Von Bothmer, R. (1992). *Barley: Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology* (P. R. Shewry, Ed.). CAB International, Wallingford, UK.
- Xia, H., Yu, B., Yang, Y., Wan, Y., Zou, L., Peng, L. & Ren, Y. (2024). The quality evaluation of highland barley and its suitability for Chinese traditional tsampa processing. *Foods*, 13(4), 613.
- Xie, M., Liu, J., Tsao, R., Wang, Z., Sun, B. & Wang, J. (2019). Whole grain consumption for the prevention and treatment of breast cancer. *Nutrients*, 11, 1769.

- Yao, X., Yao, Y., An, L., Li, X., Bai, Y., Cui, Y. & Wu, K. (2022). Accumulation and regulation of anthocyanins in white and purple Tibetan hulless barley (*Hordeum vulgare* L. var. nudum Hook. f.) revealed by combined de novo transcriptomics and metabolomics. *BMC Plant Biology*, 22(1). doi:10.1186/s12870-022-03699-2
- Zhou, M. (2009). Barley production and consumption. In *Genetics and improvement of barley malt quality*, 1–17. Springer, Heidelberg.
- Zhu, F. M., Du, B. & Xu, B. J. (2015). Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fibre from Qingke (Hull-less barley) grown in Qinghai-Tibet Plateau, China. *Journal of Cereal Science*, 65, 43–47.
- Zohary, D. & Hopf, M. (1993). *Domestication of plants in the Old World* (2nd ed.). Clarendon Press, Oxford.

BÖLÜM 6

SERADA SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN ÖNEMİ VE UYGULAMALARI

Prof. Dr. Halil DEMİR¹

Arş. Gör. Ömer ÖNEL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17681119>

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye.
hdemir@akdeniz.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2237-5439

² Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye.
omeronel@akdeniz.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1333-8751

GİRİŞ

Tarımsal üretim sürecine tarihi bir pencereden bakıldığında, en büyük değişimlerin 20. Yüzyılın son yarısında olduğunu görürüz. Dünya nüfusu 1950 yılından 2011 yılına kadar 2.5 milyardan 7 milyara ulaşmış, büyüme çağı denilebilecek bu dönemde dünya ekonomisi 7 kat büyümüştür. Tarımsal üretimi artırmada uygulanan politikalar; topraklar, sular, ormanlar, köylü nüfusu, okyanuslar, denizler ve hayvanlar gibi pek çok alanda ekolojik yıkım ortaya çıkarmıştır (Yılmaz, 2015).

Dünya nüfustaki hızlı artış, beslenme sorununu beraberinde getirmekte ve soruna sürdürülebilir bir çözüm bulma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler raporuna göre 2024 yılı dünya nüfusu yaklaşık 8.2 milyara ulaşmıştır. Nüfusun 2080 yılında 10.3 milyara ulaşması beklenmektedir. Artan nüfusun beslenebilmesi için gıda üretiminin de artırılması gerekmekte, 2050 yılına gelindiğinde %50-60 daha fazla gıda elde edilmesi gerektiği ön görülmektedir (UNDESA, 2024). Değişen iklim koşullarını da dikkate alarak üretim artışına çözümler bulunması beslenme sorununu azaltabilecektir. Ancak geleneksel tarım yöntemleri günümüzde tam olarak yeterli olamamaktadır (Kirmikil & Ertaş, 2020).

Dünyada tarımsal üretimin büyük bir kısmı yoğun şekilde kullanılan girdilerle sürdürülmekte, yoğun girdilerin olumsuz etkileri her geçen gün artmakta ve acil önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle artan tüketim ve serbest piyasa koşulları daha fazla verim elde etmeyi zorlamaktadır. Böylece üreticiler çevreye zarar veren çok fazla uygulamayı hayata geçirmektedir (TEMA Vakfı, 2004). Bu da sürdürülebilirlik tartışmalarını doğurmaktadır.

Sürdürülebilirlik, anlaşılması nispeten kolay olsa da uygulamada tanımlanması zor bir kavramdır (Vanclay & Lawrence, 1994, 1995). Sürdürülebilirlik başlangıçta çevre (Pezikoğlu, 2012) ve arazi sorunları açısından düşünülürken, zaman içinde enerji kullanımı, gübreler, tarımsal kimyasallar, yapay girdiler, sürdürülebilir tarım ve şimdi de iklim değişikliğinin dahil olduğu bir dizi başka sorunları ele almak zorunda kalmıştır (Fleming & Vanclay, 2010). Bu temel konuların tam ortasında tarım yer almaktadır.

Sürdürülebilir tarım; uzun yıllar boyunca çevreye zarar vermeden, doğal kaynakları koruyarak, tarıma entegre olmuş teknolojilerin kullanıldığı,

insanların gıda ihtiyacını karşılayabilen çevreye duyarlı tarımsal faaliyetlerin yürütülmesini sağlayan bir üretim modelidir. Bu model ile hem birim alandan daha fazla ürün elde edilebilir, hem de kırsal kesimden kentlere göçlerin önüne geçilebilir (Balcı Akova & Tapan, 2022). Kısaca, sürdürülebilir tarıma yönelik politikaların doğru şekilde geliştirilmesi ve uygulanması, yeterli miktarda sağlıklı besinleri tüketmemize, kendine yetebilen hale gelmemize, sektörler arasında bir denge oluşmasına neden olabilecektir (Gençler, 2009).

Tarımsal üretimin devamlılığı açısından seracılık faaliyetleri başlı başına sürdürülebilir tarımın esas ayaklarından birisini oluşturmaktadır. Sera tarımı, gıda üretimini yoğunlaştırmada etkinliğini kanıtlamış bir tarımsal yönetim sistemidir. Bu sistemler, 21. yüzyılda insanlığın karşılaştığı en büyük zorluklardan biri olan gıda arzını sağlamak için uygulanabilir bir alternatif oluşturmaktadır (Aznar-Sánchez ve ark., 2020). Sera endüstrisi, sınırlı üretim koşullarını aşmak, seracılığın çevresel etkilerini azaltmak ve yeni pazar gereksinimlerine uyum sağlamak için sürekli yeni stratejiler ve teknolojiler geliştirmektedir (Fernández ve ark., 2018).

Sıcak ve ılıman iklime sahip bölgelerde, yaz aylarının başında seracılık faaliyetleri sona yaklaşırken, rakımı yüksek yerlerde serada sebze yetiştiriciliğinin hazırlıkları başlamaktadır. Akdeniz sahil kesiminde üretim sonlandırıldığında yayla bölgeleri denilen rakımı yüksek bölgelerde üretime devam edilmektedir. Bu durum da serada sebze yetiştiriciliğinin sürdürülmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin TÜİK'in 2021 yılı verilerine göre yaklaşık 1100 metre ve üzeri rakıma sahip Antalya'nın Elmalı ilçesinde yaklaşık 13 bin dekar sera varlığı bulunmaktadır. Türkiye'nin birçok farklı bölgesinde benzeri üretim faaliyetleri hızlanmıştır.

Bu bölümün temel amacı, artan nüfus ve sınırlı doğal kaynaklar bağlamında özellikle serada sürdürülebilir tarım yaklaşımlarını değerlendirmek, üretim sistemleri içindeki yerini, potansiyel katkılarını ve çevresel etkilerini irdelemektir.

1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Seracılık faaliyetleri dünya genelinde yaygın olmakla birlikte, ılıman iklim kuşağındaki ülkeler, özellikle kış aylarında yüksek sıcaklıklar sayesinde düşük ısıtma maliyetleriyle kârlı seracılık yapabilmektedir. Akdeniz

kıyısındaki İspanya, Türkiye, İtalya ve Yunanistan bu alanda öne çıkarken, Türkiye seracılık için büyük bir potansiyele sahiptir. Serin iklim kuşağındaki Avrupa ülkeleri (Hollanda, İngiltere, Danimarka, Almanya, Romanya, Bulgaristan, Rusya) seracılıkta önemli rol oynamaktadır. Özellikle Hollanda, cam sera alanı ve üretim teknikleri açısından öne çıkmaktadır. İki iklimin etkili olduğu ülkelerde cam ve plastik seralar birlikte kullanılırken, Akdeniz ülkelerinde de bu yapı görülmektedir. ABD ve Japonya ise plastik seralarda yüksek teknoloji uygulamalarıyla dikkat çekmektedir (Şimsek & Dağdelen, 2020).

Seracılık sektöründeki gelişmeler sera varlıklarının artmasıyla birlikte hız kazanmıştır. Bunların yanında örtü malzemeleriyle ilgili gelişmelerde oldukça hızlı ve etkilidir. Özellikle Polietilen örtülü (PE) örtü malzemelerindeki uzun süre dayanıklılık, farklı katkı maddeleri gibi gelişmeler önemli ivme kazandırmıştır.

Türkiye’de denizden yüksekliği 1700 metre civarında olan Van ili ve çevresinde serada sebze üretimi yapılabilmektedir. Bu bölgede açık alanda sebze üretimi yapılmasına rağmen, vejetasyonunun kısa olmasından dolayı üreticiler daha az kazanmaktadır. Özellikle iklim koşullarının sert olduğu dönemlerde zarar etmektedirler. Polietilen örtülü seraların yaygınlaşmasıyla çiftçiler, ilkbahar ve sonbaharın soğuk dönemlerinde sera içi sıcaklığını gece 2-5 °C ve gündüz ise 10-12 °C arttırabilmekte ve gece oluşan don tehlikesinin önüne geçmektedir. Gündüz ise sıcaklıklar güneşin etkisiyle dış koşullardan 12 °C daha yüksek olduğundan, eylül ve ekim aylarında domateslerde olgunlaşma süreci devam edebilmektedir (Kabay, 2019).

Serada yapılan yetiştiricilik, açık alan yetiştiriciliğine göre daha fazla enerji, su, gübre ve zirai mücadele ilaçlarına gereksinim göstermenin yanında çok miktarda atık ve karbon emisyonu da ortaya çıkarmaktadır (Baytorun & Gügercin, 2015).

Bitkisel üretimde çevre kontrollü sistemlerin en yaygın ve etkili biçimi olan seracılık sektöründeki yenilikler, sürdürülebilirliği sağlama çabalarıyla birlikte gelişmektedir. Örneğin, seralarda kaliteli ve yüksek verim elde edebilmek için ısıtma şarttır. Isıtma maliyetleri toplam üretim giderlerinin %20-60’ını oluşturabilir. Bu nedenle seralarda sürdürülebilirlik, enerji verimliliğinin artırılmasıyla mümkündür (Baytorun ve ark., 2016). Modern seracılıkta, üretim sürecinde istenilen koşulların sağlanabilmesi için yüksek enerji maliyetlerine

katlanılmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları seracılıkta önemli bir rol oynamaktadır. Bazı araştırmacılara göre, fosil yakıtların kullanıldığı ısıtmada toplam seracılık giderlerinin %60-70'ini oluşturmaktadır (Heidari & Omid, 2011; Shen ve ark., 2018; Tataraki ve ark., 2020). Bu nedenle seracılıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması neticesinde maliyetler azaltılmakta, ürün kalitesi arttırılmakta ve fosil yakıtı dayalı çevresel maliyetler de giderilmiş olmaktadır (Karaca, 2013).

Seracılık da dahil olmak üzere tarımda yaygın olarak kömür, petrol, doğal gaz ve odun gibi fosil yakıtlar kullanılmakta; ancak bu enerji kaynakları çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. Artan enerji tüketimi, tarım sektöründe sürdürülebilir enerji politikalarını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise çevreye zarar vermeden çözüm sunmaktadır. Sera gazlarının başlıca kaynağı olan CO₂ salınımı, fosil yakıtların yanmasıyla oluşmaktadır (Karaca, 2013; Öztürk ve ark., 2010). Türkiye'de biyokütle genellikle doğrudan yakılarak verimsiz biçimde değerlendirilmektedir (Topal & Arslan, 2008).

Türkiye'den bir örnek vermek gerekirse, Van ve çevresinde seracılık faaliyetlerinde kömür, odun ve petrol ürünlerinin aşırı pahalı olması nedeniyle ısıtmalı üretim yapılamamaktadır. Fakat son yıllarda doğal enerji kaynakları ile seralar ısıtılmaya başlanmıştır (Kabay, 2019). Van'da bir araştırma serasının doğal gaz sistemi ile ısıtılması buna önemli bir örnektir. Bu sayede 12 ay boyunca bilimsel araştırmalar ve projeler rahatlıkla yürütülmektedir (Kabay, 2019).

Enerji ihtiyacının biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, kırsal alanlardaki bitkisel ve hayvansal atıkların değerlendirilmesini sağlamaktadır. Günümüzde birçok ülke, bu atıklardan yararlanarak biyogaz ve organik gübreler elde etmektedir. Amerika'da hayvan çiftliklerinde kurulan 186 orta ölçekli biyogaz tesisi, Çin ve Hindistan'da kurulan küçük ölçekli biyogaz tesisleri buna örneklerdir. Bu tesisler hem yakıt ihtiyacını karşılamakta hem de elde edilen yan ürünler tarımsal üretimde gübre olarak değerlendirilmektedir (Food and Agriculture Organization [FAO], 2011; United Nations Development Programme [UNDP], 2011).

İklimsel nedenlerle tarımsal üretimin sınırlandığı, seracılık faaliyetlerinin yapılamadığı bölgelerde rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları ile hem o yörelerde yaşayanların refah düzeyi gelişebilir, hem

de tarımsal üretim artışı sağlanabilir (Güney Ege Kalkınma Ajansı [GEKA], 2012). Jeotermal, güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjileri seracılık faaliyetlerinde yenilenebilir alternatif enerji kaynakları olup, maliyet ve etkinlik açısından en uygun olanı jeotermal enerjidir. Türkiye'deki jeotermal kaynakların %95'i ısıtmaya uygundur. 172 jeotermal kaynak 30 °C'den fazla sıcaklığa sahiptir (Kendirli & Çakmak, 2009). Buna karşın ülkemizde seraların sadece %0.47'si jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır (GEKA, 2012).

Birçok tarımsal faaliyette jeotermal enerjiden faydalanılabilir. Üretim ve ürün işleme endüstrisi doğrudan kullanılabilir başlıca alanlardır. Dünya'da tarımsal faaliyetlerde jeotermal enerjinin en fazla (%14) kullanıldığı alan seraların ısıtılmasıdır (Karaca, 2013).

Jeotermal enerji kullanımıyla ilgili bazı zorluklar da vardır. Jeotermal kaynağın yerinde kullanılabilir olması ve en fazla 100 m gibi uzun mesafelere naklinin zor olması (Özyurt & Dönmez, 2005), Türkiye'de bu enerjinin kullanımını sınırlandırmaktadır. Fakat gerekli altyapının oluşturulması halinde jeotermal kaynağa yakın tüm alanları ısıtmak ve elektrik ihtiyacını karşılamak mümkündür. Bazı belediyeler hem verimlilik hem de kırsal istihdam amacıyla kendi bölgelerindeki jeotermal kaynakları seracılık faaliyetlerine tahsis etmektedir (Karaca, 2013).

Türkiye, jeotermal enerji kaynakları bakımından dünyanın yedinci, Avrupa'nın ise birincisi konumundadır. Jeotermal kaynaklar; elektrik üretimi, termal turizm, konut ısıtması, seracılık, meyve-sebze kurutma ve balıkçılık gibi çok farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Dolayısıyla jeotermal kaynakların verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır (Çoban, 2020). Jeotermal enerjiden yararlanılan seraların Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerine yaygın olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki illerde ısıtmada kullanılarak topraksız tarım koşullarında üretim yapılmaktadır. Topraksız koşullarda en fazla domates üretilmektedir. Ortalama sera büyüklüğü ise yaklaşık 21 dekar civarında olup seralar PE ile örtülüdür (Çoban, 2020).

Jeotermal kaynakların kullanımının rekabet edebilirliği incelenmiş, jeotermal kaynaklar ile Aydın'da yapılacak seracılık büyük avantaja sahip bulunmuştur. Fakat aynı şekilde Kütahya'da yapılan jeotermal ısıtmalı domates üretimi Antalya ile başabaş rekabet edebilmektedir. Kütahya'da seranın yan duvarları çift kat ısı perdeli PE plastik olması ve ithal kömürün kullanılması halinde ortaya çıkan CO₂ emisyonu 199.4 kg/m² iken, Aydın'da

aynı koşullarda ithal kömür kullanıldığında CO₂ emisyonu 74.4 kg/m², Antalya'da 55.5 kg/m²'dir. Yani sera ısıtmasında jeotermal kaynakların kullanılması, Akdeniz Bölgesi'ndeki seracılığa nazaran büyük avantajlar sağlamaktadır (Baytorun ve ark., 2016).

Serada sürdürülebilir üretim için gelişen teknolojinin sunduğu yeniliklerden de faydalanmak gerekir. Güneş enerjisiyle çalışan su pompaları, elektrik üretimi, seralar, güneş kurutucuları ve sıcak su ısıtıcıları gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Bu teknolojiler, özellikle uzak tarım alanlarında ve soğuk iklimlerde ekonomik ve çevre dostu çözümler sunabilir (Chel & Kaushik, 2011).

2. SU YÖNETİMİ VE SU TASARRUFUNDA YENİ STRATEJİLER

Seralar, tarla koşullarına göre önemli miktarda su tasarrufu sağlamasına rağmen su verimliliğinin yetersiz olduğunu göstermektedir (Chen ve ark., 2022). Serada yapılan üretimler, geleneksel tarım yöntemleriyle kıyaslandığında, daha az su tüketimiyle sürdürülebilir gıda üretimini mümkün kılmaktadır (Badji ve ark., 2022); Czyzyk ve ark., 2014). Özellikle sera ortamında gerçekleştirilen üretim süreçleri, tarımsal su kullanımında %50-90 arasında tasarruf sağlayabilir. Modern sera yetiştiriciliğinde, sulama suyunun önemli bir kısmı derin toprak sızıntısı ve toprak buharlaşması yoluyla kaybedilmektedir (Chen ve ark., 2022). Bunun temelinde, seralarda uygulanan hava nemlendirme teknikleri yer almaktadır. Uzun dalga radyasyon soğutması sayesinde ortam nemi artırılmakta, bu da evapotranspirasyon (buharlaşma ve bitki terlemesi yoluyla su kaybı) oranını %60-85 düzeyinde azaltmaktadır (Badji ve ark., 2022; Czyzyk ve ark., 2014; Li ve ark., 2024; Mpusia, 2006).

Başka bir açıdan bakıldığında da örneğin, gölgeleme ağları veya yalnızca fotosentetik olarak aktif radyasyona (PAR) izin veren seçici gölgeleme gibi gölgeleme mekanizmaları, bitki su gereksinimlerini etkili bir şekilde azaltır (Abdel-Ghany ve ark., 2012). Bu nedenle, sürdürülebilir seracılığın ilerlemesi için, terleme kaynaklı kayıpları ele alırken sulama verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi stratejiler geliştirmek kritik öneme sahiptir (Zou ve ark., 2025).

Yeni bir yaklaşım olarak atmosferik su hasadı ve deniz suyu arıtımı gibi ek su kaynakları, sera tarımının su ihtiyacını karşılamak için önemlidir (Ma ve

ark., 2019). Seralarda geleneksel havalandırma ve nem alma yöntemi, su buharını dışarı atmaya içerir ve bu da önemli miktarda seranın su buharı israfına neden olur. Bazı araştırmalarda havalandırma yerine nem kontrolü için seralarda nemi yüzeyinde tutan malzemeler kullanılmıştır (Yang ve ark., 2020). Yani seralarda etkili ve sürdürülebilir su hasadı için, merkezi buhar arıtımına ek olarak, seranın çeşitli bölümlerine pasif atmosferik su hasatı sistemleri kurulabilir.

Seralarda yeraltı damla sulama sistemleri, yüzey damla sulamaya (SDI) göre su verimliliğini belirgin şekilde artırmaktadır. Araştırma sonuçları, toprak altı damla sulama uygulamasının domates bitkilerinin boyunu önemli ölçüde artırdığını, gömülü boruların toprak altı damla sulamada kök/sürgün oranını, yüzey damla sulama yöntemlerine göre %8-18 oranında yükselttiğini göstermektedir. Toprak altı damla sulama yöntemleri kullanılarak elde edilen verimler, yüzey damla sulama yöntemleri kullanılarak elde edilenlere göre biraz daha düşük olmasına rağmen, domates kalitesi ve su verimliliği önemli ölçüde iyileşmektedir. Toprak altı damla sulama yöntemleri, farklı toprak nem seviyelerinde su verimliliğini %8.5-21.8 oranında artırmakta ve klorofil içeriğini %9.1-17.3 oranlarında yükseltmektedir (Wan ve ark., 2024). Bu artışın temel nedeni yeraltı damla sulamanın suyu doğrudan kök bölgesine ileterek yüzey buharlaşmasını ve drenaj kayıplarını azaltmasıdır. Ayrıca toprak yüzeyi kuru kaldığı için yabancı ot gelişimi ve tuz birikimi azalır (Camp, 1998; UGA Extension, 2022). Sera koşullarında yeraltı damla sulamanın özellikle sıcak ve nemli ortamlarda su kaybını azaltmada etkili olduğu, domates, biber ve marul gibi sebzelerde 8–15 cm derinlikte uygulandığında en iyi sonuçları verdiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2016; UGA Extension, 2022). Ancak sistemin tıkanma riski, kurulum maliyeti ve bakım gereksinimi yüzey sistemlerine göre daha yüksektir (Camp, 1998). Buna rağmen sensör destekli otomasyon ve iyi filtrasyonla yönetildiğinde sürdürülebilir sera tarımında hem su tasarrufu hem de verim artışı sağlayan etkili bir sulama yöntemidir (Li ve ark., 2016; Wan ve ark., 2024).

Birçok sera sulama sistemi hâlâ manuel olarak çalışmakta ve bu durum su israfı ve verimsizliğe yol açmaktadır. Gerçek zamanlı izleme ve otomasyon eksikliği önemli bir kısıtlamadır. Bunların sağlanmasıyla hassas sulama ve su tasarrufu sağlama açısından büyük potansiyel taşır (El-Sheshny ve ark., 2025).

Suyun sürdürülebilirliği yalnızca tüketimi azaltmakla değil, su kalitesinin korunmasıyla da ilgilidir. Yüksek tuzluluk veya düşük kaliteli su, ürün verimini düşürür ve toprağı bozabilir. Bu nedenle sürdürülebilir bahçecilik sistemleri, alternatif ve düşük tuzlulukta su kaynaklarının kullanımını entegre etmelidir (Ferreira ve ark., 2024).

Doğa temelli çözümler (malçlama, organik katkı maddeleri, hidrojel vb.) sulama ihtiyaçlarını hafifletmektedir. Yeni ve geri dönüştürülmüş su kaynakları (örneğin arıtılmış atık su, tuzdan arındırma), doğal su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için umut verici yollar gibi görünse de bu kaynaklar iyi yönetilmezse çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Kısmi kök bölgesi kurutma ve kontrollü açık sulama gibi sulama uygulamaları, su kullanım verimliliğinde kayda değer iyileştirmeler sağlar, ancak verimli uygulama için önemli deneyim gerektirmektedir (Ferreira ve ark., 2024).

Yağmur suyu hasadının da serada sürdürülebilir yetiştiricilik açısından değerlendirilmesi önemlidir. Yapılan araştırmalar bu konunun önemini ortaya koymaktadır.

Tarımda yağmur suyu hasadı, son yıllarda farklı disiplinler tarafından araştırılan umut verici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak henüz yeterli düzeyde değildir. Yağmur suyu hasadı sistemlerinin farklı tarımsal üretimlerde sulama ihtiyaçlarını karşılama kapasitesi, çiftçilerin bu sistemleri benimsemesi, ekonomik ve finansal fizibilite ve küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına katkıları üzerine araştırmaların artırılması gerekmektedir (Velasco-Muñoz ve ark., 2019).

Bu konuda yürütülen bazı araştırmalarda mevcuttur. Örneğin, Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Antalya ve Adana illerinde seralarda ortalama birim alan başına tüketilen su miktarı sırasıyla 1173.52 ve 1109.2 L m⁻² yıl⁻¹ olarak bildirilmektedir. Karasal iklimin hâkim olduğu Afyonkarahisar ve Kırşehir illerinde ise bu değerler sırasıyla 1479.11 ve 1370.77 L m⁻² yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Depolama hacimleri Antalya, Adana, Afyonkarahisar ve Kırşehir illeri için sırasıyla 438.39 L m⁻², 122.71 L m⁻², 42.12 L m⁻² ve 43.65 L m⁻² olarak bulunmuştur. Bitkilerin su tüketiminin yağmur suyu hasadı ile karşılama oranı ise Antalya’da %80.79, Adana’da %54.27, Afyonkarahisar’da %27.47 ve Kırşehir’de %25.16 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde sulama suyu ihtiyacı fazla olsa da yağmur suyu hasadı ile bitkilerin ihtiyacının karşılama oranı daha yüksek olacaktır. Bu

durum, sera işletmelerine su tasarrufu sağlama ve sulama maliyetlerini azaltma açısından katkı sağlayacaktır (Boyacı ve ark., 2024).

Serada yapılan üretimlerde su tasarrufu sağlayan bazı uygulamalar, su yönetimi açısından dikkat çekicidir. Bunlar arasında geleneksel kısıntılı sulama ve yarı ıslatmalı sulama uygulamaları yer almaktadır. Yapılan araştırmalarda %25-50 oranlarında su tasarrufu sağlanabileceği ortaya konulmuştur (Demir ve ark., 2024).

3. YETİŞTİRİCİLİK TEKNİKLERİ

Yeterli miktarda ve kalitede sürdürülebilir üretim, etkili kaynak kullanımını, çevre duyarlılığını ve kirlilik kaynaklarını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Modern tarım teknolojileri bakımından dikkate alınması gereken sürdürülebilir tarım, geleneksel metotların neden olduğu maliyet ve çıktıları dikkate alarak yapısal dönüşümü ifade etmektedir (Karaca, 2013). Akdeniz Havzası'nda kuraklık ve aşırı sıcak günlerin artması beklenmektedir. Bu durum, ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi ve seraları da kapsayan tarım topraklarının korunması için acil önlemler gerektirmektedir (Ayaşlıgil & Çelik, 2022). Bu önlemler içerisinde yetiştiricilik teknikleri önemlidir.

Bütün dünyada genel olarak sentetik girdiler, olumsuz sonuçları düşünülmeden kullanılmaya devam etmektedir (Turhan, 2005). Türkiye'de olduğu gibi bazı seracılık ülkelerinde de durum böyledir. Bu durumda serada yetiştiriciliğin terbiye edilmesi gerektiğini, iyi tarım uygulamaları gibi kimyasal tüketimi azaltan uygulamaları ön plana çıkarmaktadır. Entegre mücadele (IPM) yöntemleri de bunlardan birisidir. Entegre mücadele ile seralarda pestisit kullanımında %30–50 azalma olduğu belirtilmektedir (Lenteren & Nicot, 2020).

Seralarda sürdürülebilirlik açısından gölgeleme ve havalandırma teknikleri, sıcaklık kontrol yöntemleri son derece önemlidir. Hastalık ve zararlı çıkışının kontrolünde aktif öneme sahiptir. Ayrıca bitki büyüme-gelişmesi ve dolayısıyla verim ve kalite açısından ışıklandırma da ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda bu konudaki gelişmeleri mutlaka dikkate almak gerekir (Dayıoğlu & Silsileli, 2012; Yu ve ark., 2021).

Ayaşlıgil & Çelik (2022)'in yaptığı incelemelere göre, İspanya'nın Almeria bölgesindeki üretim sistemi sürdürülebilir değildir. Farklı bir bakış açısıyla İspanya'nın, su ihtiyacı yüksek domates ve hıyar gibi sebzeleri üreterek

ihraç ettiği, aslında suni olarak oluşturulan düşük bir fiyata sanal (var olmayan) su ihraç edildiği belirtilmektedir. Aynı kaynakta yağışların azaldığı, su kaynaklarının azalmasıyla yapılan üretim sisteminin sürdürülebilir olmadığı vurgulanmıştır.

Seracılığın sürdürülebilirliği bakımından topraksız tarım yöntemleri kullanılabilmektedir. Günümüzde çevreye duyarlı sürdürülebilir tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle toprak kullanılmaması nedeniyle dezenfeksiyon ortadan kalktığından önemli bir alternatif haline gelmiştir. Topraksız tarım dünyanın pek çok ülkesinde çiftçiler tarafından da benimsenmiştir. Topraksız tarım, su kültürü (hydroponic) ve ortam kültürü (substrat) olmak üzere iki şekilde sürdürülmektedir (Engindeniz, 2002).

Yapılan değerlendirmelerde hidroponik seracılık teknolojisinin rahatlıkla kullanılabileceği, yetiştirilen ürünlerin verim ve kalitesini yıl boyunca önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğu ve birçok faydası olduğu sonucuna varılmıştır (Khan ve ark., 2018). Husarova (2016), İspanya'daki tüm sebze seralarının yaklaşık %8'inde hidroponik yöntem kullanıldığını, tüm hidroponik endüstrisinin yaklaşık %54'ünün ise Almeria'da bulunduğunu bildirmiştir. Modern hidroponik sistemlerde suyun geri dönüşümü olduğu, küçük bitkilerin geri dönüştürülmüş suyu kullanamadıkları, en az iki hidroponik seranın kullanılması gerektiği, bir serada küçük bitkilerin, diğer serada büyük bitkilerin bulunması gerektiği vurgulanmıştır.

Modern topraksız seralarında ısıtma, ışıklandırma, havalandırma ve karbondioksit ihtiyaçlarının optimum olarak sağlanması yıl boyu üretimi mümkün kılmaktadır. Teknolojinin kullanılması kontrollü yetiştiriciliği sağladığından hastalık ve zararlılarla karşılaşma oranı çok düşüktür (Çoban, 2020). Hidroponik sera yetiştiriciliğinin en büyük avantajı, doğal ışığın verimli kullanılmasıdır. Meyvenin gelişmesinde ışık önemli bir rol oynar. Hidroponik serada, bitkinin hem üst hem de alt kısmına ışık düşer. Işığın eşit dağılımı nedeniyle hem üst hem de alt meyve aynı anda gelişir (Despommier, 2009).

4. TOPRAK YÖNETİMİ, ORGANİK İYİLEŞTİRİCİLER VE GÜBRELEME ETKİNLİĞİ

Bitkisel üretimde aşırı miktarda pestisit ve kimyevi gübre kullanımı toprak, su ve hava kirliliğine neden olmaktadır (Parlakay ve ark., 2015). Ortaya çıkan bu sorunlar, tarımda üretimde sürdürülebilirliği sınırlandırmaktadır

Dolayısıyla hem üretimde kullanılan kimyasalların hem de hayvansal kökenli gübre ve atıkların iyi yönetilmesi gerekmektedir (Bellitürk, 2016). Tarımsal üretimin önemli girdilerinden gübreler, yeteri kadar kullanılmadığında verim ve kalitede kayıpları oluşurken, aşırı miktarda uygulandığında ise azot ve fosforlu gübrelerin yıkanması ile yerüstü ve yeraltı su kaynakları kirlenmektedir (Güler, 2004).

Örneğin, Antalya’da seralarda aşırı gübre kullanımına dayalı sorunlar fazla gündeme gelmese de önceki araştırmalar gereğinden fazla gübre kullanımını işaret etmektedir (Anaç & Eryüce 2003; Atılğan ve ark., 2007). Antalya’da gübre kullanım ortalaması, Türkiye ortalamasından daha yüksektir. Türkiye ortalaması 11.35 kg/da iken, Antalya’nın ortalaması 13.75 kg/da olarak belirlenmiştir (Atılğan ve ark., 2007). Ayrıca, Antalya’da seralarda yoğun şekilde üretim yapılan yörelerde, kuyu sularında yüksek nitrat içeriği tespit edilmiştir (Sönmez ve ark., 2008). Toprak kirliliğini önlemek ve üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için en iyi tedbirlerden birisi gübrelemenin toprak ve bitki analizlerine göre yapılmasıdır (Guo ve ark., 2006).

Tarımda sürdürülebilirlik ve yüksek verimlilik için toprağın muhafazası en önemli faktörlerdendir. Yıllardır süregelen bilinçsiz yetiştiricilik teknikleri, toprakların organik madde içeriğinin tüketilmesine sebep olmuştur. Entansif tarımın yapıldığı yerlerde, toprak verimliliği için mutlaka yeterli organik madde ilavesi yapılmalıdır. Ülkemizde, toprakların büyük bir kısmında organik madde oldukça düşüktür ve zamanla daha da azalması ile toprağın tekstür, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin olumsuz etkileneceği tahmin edilmektedir (Demirtaş, 2004). Toprak canlılığının korunmasında organik madde içeriği önemli bir etkidir (Önal ve ark., 2003). Organik materyallerin kullanılması toprağın fiziksel yapısını iyileştirmede ve atıkların yok edilmesinde çevre dostu bir yöntemdir (Nazlı ve ark., 2016).

Çiftlik gübresi hem açık alan hem de örtü altı koşulları için en ideal organik maddelerden birisidir. Ancak çiftlik gübresinin yüksek maliyetli olması, bazı hastalık ve zararlıları barındırması, temin etmede yaşanan güçlükler kullanımını giderek azaltmaktadır. Çiftlik gübresi için bazı alternatifler üzerinde çalışılmakta, bunun için hasat atıklarının girdi olarak değerlendirilmesi yaygınlaşmaktadır. Bitkisel atıkların veya tarıma dayalı endüstriyel atıkların başarılı bir şekilde üretimde değerlendirilebileceği yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir (Benito, 2006; Özenç, 2004).

Biyogaz üretimiyle elde edilen ve daha sağlıklı olan fermente gübre bir başka alternatif olup, tarımsal uygulamalarda kullanılması verimi yaklaşık %25 oranında artırmaktadır. Ayrıca biyogaz üretiminde hayvan gübrelerinin kokusu kaybolmakta, insan sağlığını tehdit eden birçok etmen yok edilmektedir (Kumbur ve ark., 2005).

Vermikompost solucanlar tarafından üretilen, toprak düzenleyicisi ve gübre olarak kullanımı giderek yaygınlaşan organik materyallerden birisidir (Kıran, 2019). Vermikompostun elde edilmesinde toprak solucanlarından faydalanılmaktadır (Dominguez, 2004). Solucan gübresi olarak da isimlendirilen bu materyaller solucanların sindirim sisteminden geçirilmesiyle elde edilir (Ceritoğlu ve ark., 2019). Yapılan araştırmalar, her geçen gün artan organik atıkların geri dönüştürülmesi ve gübre kullanımının azaltılması için uygulanabilecek bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır (Blouin ve ark., 2019). Vermikompostun içerdiği faydalı mikroorganizmalar, rizosfere yerleşerek çeşitli antibiyotik, enzim (üreaz, fosfataz, β -glikosidaz vb.) ve bitki gelişim düzenleyicileri (oksin, sitokinin, giberellik asit vb.) salgılamaktadır (Maltaş ve ark., 2017). Dolayısıyla vermikompostlar; yüksek gözenekli, su tutma kapasitesi iyi, mikrobiyal aktiviteye sahip, ince, parçalanmış torf benzeri bir toprak düzenleyicisidir (Atiyeh ve ark., 2001).

Sera atıklarının zararsız şekilde uzaklaştırılması üreticiler için ciddi bir problemdir. Atıkları yakarak yok etmek çevreye zararlıdır ve bu şekilde potansiyel faydalarından yararlanılamamaktadır. Kompostlama alternatif bir bertaraf etme yöntemidir ve son yıllarda önem kazanarak birçok bilimsel araştırmaya konu olmaktadır (Çerçioğlu, 2018). Sönmez ve ark. (2002) Antalya'nın Kumluca ilçesinde, domates seralarından yaklaşık 57 500 ton/yıl, Antalya genelinde ise 330 625 ton/yıl bitki atığının seralardan uzaklaştırılarak çevreye gelişigüzel atıldığını veya yakılarak yok edildiğini rapor etmiştir.

Başka bir kaynağın belirtğine göre Türkiye'de üretim sonrasında yaklaşık 12.8 milyon ton/yıl organik atık ortaya çıkmaktadır (Başçetinçelik ve ark., 2006). Özellikle seracılık faaliyetlerinin yoğunlaştığı Antalya'da, cam ve plastik sera alanlarından yıllık yaklaşık 1 182 bin ton yaş, 176 bin ton kuru bitkisel atık elde edilmektedir. Bu rakamlar ülkemiz genelinden seralardan ortaya çıkan atıkların yaklaşık %70'ine denk gelmektedir (Bilgin, 2013).

Sera atıklarından elde edilen kompostların yüksek besin içeriklerine sahip olmalarının yanında fiziksel özelliklerinin de çok iyi olduğu bildirilmiştir.

Domates gibi zengin içeriğe sahip sebze atıklarından elde edilen kompostlar, çayır ve çim bitkilerinden elde edilen kompostlara nazaran daha pratik ve ekonomiktir (Roe & Cornforth, 2000). Bununla ilgili yapılan bir araştırmada, talaş yerine sera atıklarına dayalı kompost yetiştirme ortamı olarak kullanıldığında %10 verim artışı elde edildiği bildirilmektedir (Cheuk, 2003; Karaca, 2017).

Çerçioğlu ve ark. (2017), Kütahya-Simav yöresinden elde edilen topraksız tarım atıklarını yığın tipi kompostlama metodu ile kompost haline getirmiş, biber verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre 40 ton ha⁻¹ ve 80 ton ha⁻¹ kompost oranlarının toprağın organik maddesi, makro element içeriği ve bitkisel verimi arttırdığını belirlemişlerdir.

Son yıllarda bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin kullanımı da yaygınlaşmıştır. Toprak tuzluluğu, kuraklık, kimyasal gübre tasarrufu, kimyasal gübrelerden etkin şekilde yararlanma, hastalık ve zararlılara karşı önlem amacıyla çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur.

Sürdürülebilir gıda üretiminde biofertilizer olarak adlandırılan mikrobiyal aşılayıcıların (Alori ve ark., 2017) kullanımı, bitkilerin azot ve fosfor gibi mineral elementleri etkin bir şekilde kullanmasını sağlar. Fosfor, bitkilerin ihtiyaç duyduğu önemli bir mineraldir ve eksikliği bitki gelişimini azaltabilir. Arbusküler mikorizal (AM) birliktelikleri, birkaç bitkinin rizosferik topraklardan yeterli miktarda fosfor elde ettiği araçlardır. AM simbiyotik ilişkisi, bitkilerde bitki büyümesini ve fosfor seviyesini arttırdığı için özellikle fosfordan yoksun ortamlarda büyüyen bitkiler için önemlidir. Jel elektroforezi ve ultrasitokimya yoluyla alkalın fosfataz (ALP), AM için fonksiyonel ve faydalı bir enzim olarak kabul edilmiştir. ALP, son derece gelişmiş arbusküllerin vakuollerindeki varlığı ultrasitokimyasal çalışmalarla ortaya konduğundan, bitkiler tarafından fosfor alımından sorumludur (Abdel-Fattah ve ark., 2014).

Dünya'da 950 milyon hektardan fazla alanda toprak tuzluluğu sorunu vardır ve hızla artmaktadır (Arora ve ark., 2017). Toprak tuzluluğu sera alanlarında da büyük sorun oluşturmaktadır. Bitkilerde abiyotik stres faktörü olarak ortaya çıkan bu tuzluluğun azaltılmasında, bazı biyo organik iyileştiricilerden yararlanılmaktadır. Mısır'da, sera koşullarında mısır yetiştiriciliğinde bira atığı buğday danelerinin ve *Azospirillum brasilense*

bakterisi kullanımının abiyotik stresi hafiflettiği, mısır bitkisinin gelişimini ve verimini artırdığını, topraktaki Na⁺ içeriğini azalttığı rapor edilmiştir (Hafez ve ark., 2022).

Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), N-fiksasyonu yoluyla bitki büyümesini olumlu yönde etkiler ve fosfor mevcudiyetini artırır. PGPR, mineral gübreleri ikamesi etmek için çeşitli yollar sunar, böylece çevre kirliliğini azaltır ve gıda güvenliğini artırır. Bu nedenle, PGPR, sürdürülebilir tarım ve gelecekteki tarımsal gelişmeler için potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir. Rizosfer bakterilerinin yaklaşık %2 ila %5'i PGPR özelliğine sahiptir (Güneş ve ark., 2014; Negm & Abu-hashim, 2019).

Hastalıklara karşı bitkileri dirençli hale getirerek topraktaki eksik durumda bulunan besin maddelerinin emilimini sağlayan, dolayısıyla bitkilerin farklı abiyotik stres faktörlerini tolere etmesine yardımcı olan mikroorganizmaların aktivitelerini sağlamak gıda üretimi için önemlidir. Rizosferdeki mikrobiyal çeşitlilik ve etkileriyle ilgili yeni bilgilere ihtiyaç vardır. Biyogübreler; düşük maliyetli olmaları, toksik etki yaratmamaları, yeraltı sularını kirlilememeleri ve toprak asitliğini artırmamaları gibi avantajlarının yanı sıra, bitki gelişimini destekleyen hormonlar üreterek büyümeyi teşvik eder (Hubbel & Kidder, 1998).

Sürdürülebilir tarımın gelişmesinde, biyolojik azot fiksasyonu (BNF) alternatif bir gübre kaynağı olarak dikkate değerdir. Böylece insan ihtiyaçlarının karşılanması, çevreye olumlu etkilerinin artırılması, doğal kaynakların korunması ve erozyonun azaltılması sağlanabilir. Bitki gelişimini teşvik ederek artıran *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella* ve *Staphylococcus* gibi bakterilerin, bazı *Aspergillus* ve *Penicillium* funguslarının biyo gübre olarak kullanımı üzerine çok fazla araştırma yapılmakta ve faydalı çıktılar elde edilmektedir (Çakmakçı, 2002; Sudhakar ve ark., 2000).

Yapılan araştırmalarda biogübre olarak kullanılması halinde marulda ve brokolide %25'den fazla NPK gübre kullanımını azalttığı bildirilmiştir (Demir ve ark., 2023; Demir ve ark., 2024).

Sürdürülebilir tarımsal üretim için başka bir yenilikçi yaklaşımda biostimulantların uygulanmasıdır. Suyun az olduğu koşullarda, doğal kaynakların tükenmesi ya da azalması halinde, çevresel stres faktörleri ve iklim değişikliği gibi çeşitli sınırlamalarla karşı karşıya kalındığında kullanılabilecek

çevre dostu bir yaklaşımdır (Rouphael ve ark., 2018; Van Osten ve ark., 2017; Craigie, 2011; Tejada ve ark., 2011). Son yıllarda biostimulant olarak birçok ürün üzerinde araştırmalar yoğunlaşmış durumdadır. Bunlardan birisinde; Rouphael ve ark. (2018) örtüaltı koşullarında ıspanak bitkisine yapraktan baklagillerden elde edilen hydrolysate proteinini, deniz yosunu ekstraktını, bitkisel yağlar ile *Ascophyllum nodosum* ekstraktını uygulamışlar, kullanılan tüm ürünlerin daha yüksek klorofil içeriği, daha geniş yaprak oluşumu ve daha yüksek taze verim üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu gelişmeler hormon aktivitesinin etkisiyle kök gelişiminin iyileştirilmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Yapraklı sebzelerde *Ascophyllum nodosum* kullanımının, marul bitkilerinde potasyum eksikliğinin olumsuzluklarını azalttığı, biyostimülanların ve biyogübrelerin uygulanması ile su stresi altında yetiştirilen ıspanak bitkilerinin kimyasal bileşimini ve biyoaktif özellikleri üzerinde olumlu etkiler yaptığı bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2019). Başka bir kaynakta, sürdürülebilir sebze üretimi için protein hidrolizatları ve kahverengi makro alglerin (*Ascophyllum nodosum* ve *Ecklonia maxima*) yenilikçi ve uygun maliyetli yaklaşımlar olduğu değerlendirilmiştir. Amino asitler ve peptitler içeren bitki hidrolizatları stres koşulları altında yetiştirilen bitkiler üzerinde etkili biyostimülanlar olarak kabul edilmiştir (Petropoulos, 2020).

5. HASTALIK VE ZARARLI YÖNETİMİ

Kimyasal pestisit kullanımı eskiye nazaran azalmış olsa da hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların neden olduğu problemlerle mücadele etmek oldukça zordur ve insan güvenliği için büyük kaygılara neden olmaktadır. Dolayısıyla doğayla uyumlu sağlıklı tarımsal mücadelenin geliştirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle kimyasal olmayan alternatifler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Serada sürdürülebilirlik açısından kimyasal pestisitlere alternatiflerden en önemlisi biyolojik mücadeledir. Organik tarımda da uygulanan bu yöntem, biyolojik mücadeleye uygun diğer mücadele metotları ile birlikte çok daha etkili olmaktadır (Azizoğlu ve ark., 2012). Biyolojik mücadelede üç temel yaklaşım vardır (Agrios, 2005; Uneke, 2007).

- **Klasik biyolojik mücadele:** Biyolojik mücadele ajanlarının orijinal yerlerinden getirilip üretim bölgesine yerleştirilmesidir.

• **Koruyucu biyolojik mücadele:** Bulunduğu yerde mevcut olan yararlı türlerin korunmasını içermektedir.

• **Kitlesel biyolojik mücadele:** Faydalı türün üretiminin yapılarak mücadele yapılacak bölgeye bırakılmasıdır.

Biyolojik mücadelede kullanılan alternatiflerden birisi entomopatojen biyoinsektisitlerdir. Yetiştirilen bitkilerdeki zararlıları kontrol etmek için entomopatojen biyoinsektisitler dikkate alınarak uygun bir yetiştiricilik ve rotasyon planlanmalıdır. Zararlılarla mücadelede bakteri, virüs, fungus, protozoa ve nematodlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Entomopatojen biyoinsektisitler türlere özel etki gösterdiğinden diğer doğal düşmanlara göre daha avantajlıdır. Bu da onları diğer biyolojik ve mineral kaynaklı pestisitlerden ayıran bir özelliktir (Azizoğlu ve ark., 2012; Zehnder, 2007).

Sera ürünlerindeki kırmızı örümcekler avcı akarlar ile başarılı bir şekilde kontrol edilirken (Conte ve ark., 2000), sera beyaz sineğine karşı parazitoid arılar kullanılmaktadır (Siongers & Coosemans, 2003). Yetiştiricilik yapılan alanlarda parazitoidlerin bırakılması lepidopter zararlılarının kontrolünde de etkili olmaktadır (Lorenz ve ark., 2003).

Bitki Gelişimini teşvik eden rhizobakteriler (PGPR) bitkilerin gelişimini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. PGPR uygulamalarıyla çimlenme, kök ve gövde gelişimi, büyüme özellikleri, susuzluğa tolerans artarken, yaprakların yaşlanması gecikmekte, bu gelişmelerle birlikte bazı hastalıklara dayanıklılık sağlanmaktadır. Bunların yanında toprağın pH değişimleri, yüksek sıcaklık, nem ve besin noksanlığı gibi koşullar mikroorganizma kolonizasyonunu azaltmaktadır (Şahin ve ark., 2004; Dobbelaere ve ark., 2001).

Bazı besin elementlerinin bitkiler tarafından alımını teşvik eden PGPR, fitopatojenik organizmaları dolaylı olarak engellemektedir. Mikroorgaizmalar antibiyosis, rekabet, parazitizm, detoksifikasyon ve inhibisyon vb. etkileriyle bitki gelişimini etkilemektedir (Van Loon ve ark., 1998).

PGPR'ler siderofor üretimini artırarak patojenlerin çoğalmasını sınırlandırmaktadır. Toprak patojenlerinin kontrolünde *Mycorrhizae*, *Streptomyces*, *Enerobacter*, *Verticillium*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Aspergillus* ve *Trichoderma* cinslerine ait farklı türlerden etkili

şekilde yararlanılabilmektedir. Yaygınlığı en fazla olan biyoinsektisit, *B. thuringiensis* veya böcekleri zehirleyen *Bt* proteini üreten bakterilerdir. *B. thuringiensis*'in sebzelerde kullanımı, kimyasal ilaçlamalar kadar etkindir (Saber, 2001). Başka bir araştırmaya göre *A. niger* ve *Fusarium*'un neden olduğu kök çürüklüğü hastalığı *B. subtilis* ile önlenabilmektedir (Podile & Prakash, 1996). Yine *P. putida* ile domatesteste *Fusarium* hastalığının kontrol ettiği kaydedilmiştir (Glick, 1995). PGPR üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen olumlu sonuçların da etkisiyle, kimyevi gübre ve pestisit kullanımının azaltılması amacıyla PGPR'lerin biyo gübre olarak kullanımı artmaktadır (Burdman ve ark., 2000).

6. SONUÇ

Günümüzde serada tarımsal üretimde sürdürülebilirlik tercih değil, zorunluluk haline gelmiştir. İklim değişikliğinin getirdiği olumsuzluklar, buna bağlı olarak su kaynaklarının azalması, enerji maliyetlerinin artışı gibi faktörler seralarda üretim tekniklerinin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda ele alındığında; su yönetiminde damlama sulama, yağmur suyu hasadı, atmosferik su hasadı ve hidroponik sistemlerin kullanımı temel bileşenlerden birisini oluşturmaktadır. Enerji verimliliği açısından yenilenebilir enerji kaynakları, ısı geri kazanım sistemleri ve LED aydınlatma teknolojileri bir diğer bileşendir. Yetiştirilen bitkileri koruma stratejilerinde entegre zararlı yönetimi ve biyolojik mücadele uygulamaları önemli bir başka bileşeni oluşturur. Atık yönetimi, organik materyal ve organik gübreleme uygulamaları çevreye duyarlı üretime katkı sunan bir başka unsurdur. Serada sürdürülebilirliğin ekonomik çıktısı bakımından ticari boyutuna katkı sağlayan sertifikalandırma ise önemli etkenlerden bir başkasıdır. Ayrıca, sensör tabanlı otomasyon sistemleri ve yapay zekâ destekli iklim kontrolü gibi dijital teknolojilerin entegrasyonu, kaynak kullanımını optimize ederek hem üretim verimliliğini hem de çevresel performansı artırabilir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir sera tarımı, yalnızca mevcut üretim süreçlerinin iyileştirilmesini değil, aynı zamanda uzun vadede çevreyle uyumlu hale getirilmesini, gelecekte artan gıda talebini karşılayabilmek için seralarda sürdürülebilir üretim modellerinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Fattah, G., Asrar, A., Al-Amri, S., Abdel-Salam, E. (2014) Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycine max* L.) plants. *Photosynthetica*, 52:581–588
- Abdel-Ghany, A. M., Al-Helal, I. M., Shady, M. R., & Abdel-Razik, E. M. (2012). Covering materials incorporating radiation-preventing techniques to meet greenhouse cooling challenges in arid regions: A review. *The Scientific World Journal*, 2012, 906360. <https://doi.org/10.1100/2012/906360>
- Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology, pp.922, (5th ed.) Elsevier Academic Pres, London.
- Alori, E.T., Dare, M.O., Babalola, O.O. (2017) Microbial inoculants for soil quality and plant health. *Sustainable Agriculture Reviews*, 281–307.
- Anaç D., Eryüce N. (2003). Nutrient management in protected cropping in Turkey. *The International Fertilizer Society, Proceedings*, 522, 19-34.
- Antón, M. A., Muñoz, P., Castells, F., Montero, J. I., & Soliva, M. (2005). Improving waste management in protected horticulture. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(4), 447–453. <https://doi.org/10.1051/agro:2005045>
- Arora, S., Singh, A. K., & Singh, Y. P. (2017). *Bioremediation of salt affected soils: An Indian perspective*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48257-6>
- Atılğan, A., Çoşkan, A., Saltuk, B., & Erkan, M. (2007). Antalya yöresindeki seralarda kimyasal ve organik gübre kullanım düzeyleri ve olası çevre etkileri. *Ekoloji Dergisi*, 21(82), 1–8.
- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2001). Pig manure as a component of a horticultural bedding plant medium: Effect on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78(1), 11–20. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00172-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00172-3)
- Ayaşlıgil, T. E., & Çelik, Y. E. (2022). *Avrupa'nın arka bahçesi: Almeria örneğinde sürdürülebilir tarım ve sera alanları*. In Akdeniz 7th International Applied Sciences Congress (ss. 110–125). ISBN 978-625-7341-94-3

- Azizoğlu U., Bulut, S., Yılmaz, S. (2012). Organik tarımda biyolojik mücadele; entomopatojen biyoinsektisitler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5):375-381
- Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., López-Felices, B., Román-Sánchez, I. M. (2020). An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 664; <https://doi.org/10.3390/ijerph17020664>
- Badji, A., Diarra, A., Ba, A., Sow, A., & Ndiaye, M. (2022). Design, technology, and management of greenhouse: A review. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753>
- Balcı Akova, S., & Tapan, İ. (2022). Sürdürülebilir tarım kapsamında iyi tarım uygulamalarının değerlendirilmesi: Malatya ili örneği. *Coğrafya Dergisi*, 44, 151–167. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-987872>
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K., & Karaca, C. (2006). Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımını geliştirme olanakları. *VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 25–26 Mayıs, Isparta.
- Baytorun, A. N. Gügercin, Ö. (2015). Seralarda Enerji Verimliliğinin Artırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2): 125-135.
- Baytorun, A. N., Önder, D., & Gügercin, Ö. (2016). Seraların ısıtılmasında kullanılan fosil ve jeotermal enerji kaynaklarının karşılaştırılması. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(10), 832–839. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i10.832-839.863>
- Bellitürk, K. (2016). Sürdürülebilir tarımsal üretimde katı atık yönetimi için vermikompost teknolojisi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 1–5.
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., & De Antonio, R. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology*, 97(16), 2071–2076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.011>
- Bilgin, S., Ertekin, C., & Kürklü, A. (2013). Alternatif yakıt olarak sera bitki atığı briketlerinin yakılması ve baca gazı emisyon değerlerinin

- belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 11–17.
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Boyacı, S., Atılğan, A., Kocięcka, J., Liberacki, D., & Rolbiecki, R. (2024). Use of rainwater harvesting from roofs for irrigation purposes in hydroponic greenhouse enterprises. *Atmosphere*, 15, 884. <https://doi.org/10.3390/atmos15080884>
- Burdman, S., Jurkevitch, E., Okon, Y. (2000). Recent advances the use of plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in agriculture. In *Microbiol Interactions in Agriculture and Forestry*. Subba, R.N., Dommergues, Y.R.(eds). Vol II Chp. 10, 29-250. Pub. Inc. UK.
- Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353–1367. <https://doi.org/10.13031/2013.17309>
- Ceritoğlu, M., Şahin, S., & Erman, M. (2019). Vermikompost üretim tekniği ve üretimde kullanılan materyaller. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 230–236. <https://doi.org/10.19159/tutad.440783>
- Chel, A., & Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 91–118. <https://doi.org/10.1051/agro/2010029>
- Chen, B., Li, X., Wang, J., Zhang, H., & Liu, Y. (2022). The climate cost of saving water by different plastic mulching patterns. *Journal of Cleaner Production*, 359, 132011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132011>
- Cheuk, W., Lo, K. V., Branion, R. M. R., & Fraser, B. (2003). Benefits of sustainable waste management in the vegetable greenhouse industry. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 38(6), 855–863. <https://doi.org/10.1081/PFC-120025565>
- Conte, L., Chiarini, F., Dalla, M.L. (2000). Comparison between Two Methods for Biological Control of *Aphis gossypii* Glover (Rhynchota, Aphididae) in Organic Greenhouse Melons, 13th, Basel, pp. 126, Proc. IFOAM Sci. Conf., Frick, Swtitz, vdf., Hochschulverlag.

- Craigie, J. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23, 371–393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Czyzyk, K. A., Patel, V., & Smith, J. (2014). Quantifying water savings with greenhouse farming. In *Proceedings of the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 325–332). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2014.6970300>
- Çakmakçı, R. (2002). Azot fiksasyonu ve fosfat çözücü bakteri aşılamaalarının şeker pancarı verim ve kalitesine etkisi. II. Şeker Pancarı Üret. Semp., Verim, Kalit. Yük., 257-270.
- Çerçioğlu, M. (2018). Sürdürülebilir atık yönetiminde sera atıklarının kompost olarak değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 167–177.
- Çerçioğlu, M., Yağmur, B., Kara, R. S., & Okur, B. (2017). Agro-endüstriyel kompost ve ahır gübresinin biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştiriciliğinde toprağın bazı kimyasal özellikleri ile verim üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 71–77. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.297969>
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2004). *Türkiye çevre atlası*. Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı.
- Çoban, E. (2020). *Jeotermal seracılık fizibilite raporu ve yatırımcı rehberi*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Dayıoğlu, M. A., & Silsileli, H. (2012). Seralar için yapay aydınlatma sistemi tasarımı: Günlük ışık integrali yöntemi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 233–240.
- Demir, H., Saka, A. K., Uçan, U., Akgün, İ. H., & Yılmaz, A. (2024). Impact of effective micro-organisms (EM) on the yield, growth and biochemical properties of lettuce when applied to soil and leaves. *BMC Plant Biology*, 24, 1189. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05980-y>
- Demir, H., Kaman, H., Sönmez, İ., Uçan, U., & Akgün, İ. H. (2024). Yield and yield parameters response of cabbage to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agronomy*, 14, 2721. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112721>

- Demir, H., Sönmez, İ., Uçan, U., & Akgün, İ. H. (2023). Biofertilizers improve the plant growth, yield, and mineral concentration of lettuce and broccoli. *Agronomy*, 13, 2031. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082031>
- Demirtaş, İ. E. (2004). Kentsel katı atık kompostunun tarımda kullanımı. *Derim*, 21(2), 27–34.
- Despommier, D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American*, 301(5), 80–87. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1109-80>
- Dominguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In C. A. Edwards (Ed.), *Earthworm ecology* (pp. 401–424). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039719.ch20>
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-Gonzalez, C., Caballero Mellado, J., Aguirre, J.F., Kapulnik, Y., Brener, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S., Okon, Y. (2001). Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28, 871-879.
- El-Sheshny, A. A., Abdel-Hameed, A. M., Al-Rajhi, M. A., & Al-Harbi, M. (2025). Optimizing water management in greenhouse farming through an IoT-enabled monitoring system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24, 33. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00039-2>
- Engindeniz, S. (2002). Serada topraksız kültürle sebze yetiştirmenin ekonomik yönden değerlendirilmesi. *Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi* (ss. 163–169), 18–20 Eylül, Erzurum.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *AgSTAR anaerobic digester database*. <https://www.epa.gov/agstar/projects/index.html>
- Fernández, J.A., Orsini, F., Baeza, E., Oztekin, G.B., Muñoz, P., Contreras, J., Montero, J.I. (2018). Current trends in protected cultivation in Mediterranean climates. *European Journal of Horticultural Science*, 83, 294–305.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). *Energy-smart food for people and climate*. Rome. <https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e00.pdf>
- Ferreira, C. S. S., Soares, P. R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M. T., Malamiri, H., Duarte, A. C., Kalantari, Z., & Ferreira, A. J. D. (2024). Sustainable water management in horticulture: Problems,

- premises, and promises. *Horticulturae*, 10, 951. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090951>
- Fleming, A., & Vanclay, F. (2010). Farmer responses to climate change and sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 11–19. <https://doi.org/10.1051/agro/2009028>
- Güney Ege Kalkınma Ajansı. (2012). *Jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımının önündeki engellerin tespiti projesi araştırma raporu*. GEKA.
- Gençler, F. F. (2009). *AB ve Türkiye’de sürdürülebilir tarım uygulamalarının incelenmesi ve Türkiye’de sürdürülebilir tarıma yönelik politikaların geliştirilmesi üzerine bir araştırma: Zeytin örneği* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Glick, B.R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41, 109-117.
- Guo, H., Li, G., Zhang, D., Zhang, X., & Lu, C. (2006). Effects of water table and fertilization management on nitrogen loading to groundwater. *Agricultural Water Management*, 82, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.033>
- Güler, S. (2004). Dünya’da ve Türkiye’de gübre tüketiminde yaşanan gelişmeler. In M. R. Karaman & A. R. Brohi (Eds.), *Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi: Tarım–Sanayi–Çevre* (pp. 47–54). Tokat.
- Güneş, A., Turan, M., Güllüce, M., & Şahin, F. (2014). Nutritional content analysis of plant growth-promoting rhizobacteria species. *European Journal of Soil Biology*, 60, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.10.010>
- Hafez, M., Abdullah, A. M., Mohamed, A. E., & Rashad, M. (2022). Influence of environmental-friendly bio-organic ameliorants on abiotic stress to sustainable agriculture in arid regions: A long term greenhouse study in northwestern Egypt. *Journal of King Saud University – Science*, 34, 102212. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102212>
- Heidari, M. D., & Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy*, 36, 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.048>
- Hubbel, D.H., Kidder, G. (1998). Biological Nitrogen Fixation. Soil and Water Sci. Dep., Florida Coop. Ext. Serv., University of Florida.

- Husarova, K. (2016, January 11). *The plastic sea in Almeria*.
<https://environmentfmv.wordpress.com/2016/01/11/the-plastic-sea-in-Almeria/>
- Kabay, T. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Van ve çevresindeki seraların ısıtılmasında kullanımı. *3rd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management* (pp. 134–139). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
<https://doi.org/10.33793/acperpro.02.02.18>
- Karaca, C. (2013). Türkiye’de sürdürülebilir tarım politikaları: Tarım sektöründe atıl ve yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 19(1), 1–11.
- Karaca, C. (2017). Antalya’da seracılık biyokütle artıklarının potansiyelinin haritalanması ve enerji üretim amacıyla değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(1), 21–25.
- Kendirli, B., & Çakmak, B. (2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtılmasında kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 95–103. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000029
- Khan, F. A., Kurklu, A., Ghafoor, A., Ali, Q., Umair, M., & Shahzaib. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 2(2), 59–66. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18010>
- Kıran, S. (2019). Vermikompost uygulamalarının kuraklık stresi altındaki kıvrıcık salatanın (*Lactuca sativa* var. *crispa*) mineral içerikleri üzerine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(Ek Sayı 1), 133–140. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.569012>
- Kirmikil, M., & Ertaş, B. (2020). Tarım 4.0 ile sürdürülebilir bir gelecek. *ICONTECH International Journal of Surveys, Engineering and Technology*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.46291/ICONTECHvol4iss1pp1-12>
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., & Avcı, E. D. (2005). Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi (YEKSEM 2005)*, 19–21 Ekim, Mersin, 32–38.
- Li, J., Zhang, Z., Wang, X., Chen, Y., Liu, H., & Zhao, Q. (2024). A photosynthetically active radiative cooling film. *Nature Sustainability*.

- Advance online publication. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01350-6>
- Li, J., Zhang, J., Li, Y., & Li, P. (2016). Effect of aerated subsurface drip irrigation on tomato yield and fruit quality under greenhouse conditions. *Agricultural Water Management*, 163, 158–165.
- Lorenz, N., Zimmermann, O., Hassan, S.A. (2003). Use of Trichogramma Parasitoids Against The Leek Moth (*Acrolepiopsis assectella*, Lep., Plutellidae) for The Solution of Plant Protection Problems in Organic Farming, DGAAE Nachr., 17-19.
- Ma, D., Wang, S., Wang, X., Li, J., Lu, H., & Gao, Q. (2019). Greenhouse environment modeling and simulation for microclimate control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.013>
- Maltaş, A. Ş., Tavalı, İ. E., Uz, İ., & Kaplan, M. (2017). Kırmızı baş lahanası (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) yetiştiriciliğinde vermikompost uygulaması. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2), 155–161.
- Mpusia, P. T. O. (2006). *Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation* (Master's thesis). ITC.
- Nazlı, R. I., Inal, I., Kusvuran, A., Demirbas, A., & Tansi, V. (2016). Effects of different organic materials on forage yield and nutrient uptake of silage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 39(7), 912–921. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109103>
- Negm, A. M., & Abu-hashim, M. (2019). *Sustainability of agricultural environment in Egypt: Part II*. In *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95357-1>
- Önal, M. K., Topcuoğlu, B., & Arı, N. (2003). Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi: II. Gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 97–106.*
- Özenç, N. (2004). *Fındık zırfu ve diğer organik materyallerin fındık tarımı yapılan toprakların özellikleri ve ürün kalitesi üzerine etkileri* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, H. H., Yaşar, B., & Eren, Ö. (2010). Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. In *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII*.

- Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı* (ss. 909–932). TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara.
- Özyurt, M., & Dönmez, G. (2005). Alternatif enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. In *YEKSEM 2005: III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu* (19–21 Ekim). Mersin.
- Parlakay, O., Çelik, A. D., & Kızıltuğ, T. (2015). Hatay ilinde tarımsal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm önerileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 17–26.
- Pereira, C., Dias, M.I., Petropoulos, S.A., Plexida, S., Chrysargyris, A., Tzortzakis, N., Calhelha, R.C., Ivanov, M., Stojkovic, D., Sokovic, M., Borros, L., Ferreira I. C. F. R. (2019). The Effects of Biostimulants, Biofertilizers and Water-Stress on Nutritional Value and Chemical Composition of Two Spinach Genotypes (*Spinacia oleracea* L.). *Molecules*, 24, 4494.
- Petropoulos, S. A. (2020). Practical applications of plant biostimulants in greenhouse vegetable crop production. *Agronomy*, 10, 1569. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101569>
- Pezikoğlu, F. (2012). Sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma kavramı içinde tarım-turizm-kırsal alan ilişkisi ve sonuçları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 14(22), 83–92.
- Podile, A.R., Praash, A.P., 1996. Lysis and biological control of *Aspergillus niger* by *Bacillus subtilis* AF 1. *Canadian Journal of Microbiology*, 42, 533–538.
- Roe, N. E., & Cornforth, G. C. (2000). Effects of dairy lot scrapings and composted dairy manure on growth, yield, and profit potential of double cropped vegetables. *Compost Science and Utilization*, 8(4), 320–327. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10702005>
- Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275–289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Saber, M.S.M. (2001). Clean Biotechnology for sustainable farming. *Engineering in Life Sciences*, 1, 217–223.

- Shen, Y., Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy consumption prediction of a greenhouse and optimization of daily average temperature. *Energies*, 11, 65. <https://doi.org/10.3390/en11010065>
- Siongers, C., & Coosemans, J. (2003). Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with fungal insecticides. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 68(4 Pt A), 239–247. PMID: 15149114
- Sönmez, İ., Kaplan, M., & Sönmez, S. (2008a). Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 24–34.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Orman, Ş., & Sönmez, İ. (2002). Antalya-Kumluca yöresi domates seralarında hasat sonrası bitkisel atıklarla kaldırılan besin maddeleri miktarları ve bu atıkların değerlendirilmesi ile ilgili öneriler. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1), 19–25.
- Sudhakar, P., Chattopadhyay, G.N., Gangwar, S.K., Ghosh, J.K. (2000). Effect of foliar application of Azotobacter, Azospirillum and Beijerinckia on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *The Journal of Agricultural Science*, 134, 227–234.
- Şahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F. (2004). Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant and Soil*, 265, 123–129.
- Şimşek, G., & Dağdelen, N. (2020). Aydın yöresindeki örtüaltı işletmelerinin üretim sistemleri açısından irdelenmesi. *ADÜ Ziraat Dergisi*, 17(1), 61–69. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.687213>
- Tataraki, K., Giannini, E., Kavvadias, K., & Maroulis, Z. (2020). Cogeneration economics for greenhouses in Europe. *Energies*, 13, 3373. <https://doi.org/10.3390/en13133373>
- Tejada, M., Benítez, C., Gómez, I., & Parrado, J. (2011). Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community. *Applied Soil Ecology*, 49, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.009>
- TEMA Vakfı. (2004). *Dünyanın durumu 2004: Sürdürülebilir toplum için Worldwatch Enstitüsü raporu* (Yayın No. 44). Safa Matbaacılık.
- Topal, M., & Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. In *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008, 17–19 Aralık, İstanbul*.

- Turhan, Ş. (2005). Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 4(11), 13–24.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2022). *Bitkisel üretim istatistikleri*. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- UGA Extension. (2022). *Using shallow subsurface drip irrigation in vegetable production* (University of Georgia Cooperative Extension Bulletin).
- Uneke, C.J. (2007). Integrated Pest Management for Developing Countries, pp. 203, A Systemic Overview, Nova Publishers.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2024). *World population prospects 2024*. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf
- United Nations Development Programme. (2011). *Small-scale bioenergy initiatives: Lessons learned from Asia, Latin America and Africa*. UNDP. <https://www.undp.org/publications/small-scale-bioenergy-initiativesvan>
- Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., Pieterse, C.M.J. (1998). Systemic resistance induced by Rhizosphere bacteria. *Annual Review Phytopathology*, 36, 453–483.
- van Lenteren, J. C., & Nicot, P. C. (2020). Integrated pest management methods and considerations concerning implementation in greenhouses. In M. L. Gullino, R. Albajes, & P. C. Nicot (Eds.), *Integrated pest and disease management in greenhouse crops* (Plant Pathology in the 21st Century, Vol. 9, pp. 177–193). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_6
- van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- Vancley, F., & Lawrence, G. (1994). Farmer rationality and the adoption of environmentally sound practices: A critique of the assumptions of traditional agricultural extension. *European Journal of Agricultural Education and Extension*, 1(2), 59–90. <https://doi.org/10.1080/13892249485300061>

- Vancly, F., & Lawrence, G. (1995). *The environmental imperative: Ecosocial concerns for Australian agriculture*. Central Queensland University Press.
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Batlles-de-laFuente, A., & Fidelibus, M. D. (2019). Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. *Water*, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/w11071320>
- Wan, L., Jian, Y., Zhang, M., Tong, J., Rebi, A., & Zhou, J. (2024). Improving water productivity using subsurface drip irrigation in the Southwest Monsoon area in Yunnan Province of China. *Agronomy*, 14, 679. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040679>
- Yang, J., Fan, X., He, F., Zhang, Z., Zhang, L., & Wang, R. (2020). A moisture-hungry copper complex harvesting air moisture for potable water and autonomous urban agriculture. *Advanced Materials*, 32, e2002936. <https://doi.org/10.1002/adma.202002936>
- Yılmaz, S. (2015). *Sürdürülebilir tarım mümkün mü? Yeşil Politika Kitaplığı*. ISBN: 978-605-5895-327.
- Yu, L. M., Gao, W. L., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y. Z., Zhang, Y. J., & Su, G. L. (2021). Review of research progress on soil moisture sensor technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(4), 32–42. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211404.6404>
- Zehnder, G., Gurr, G. M., Kühne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D., Wyss, E. (2007). Arthropod Pest Management in Organic Crops, *Annual Review of Entomology*, 52, 57–80.
- Zou, H., Wang, F., Zeng, Z., Zhu, J., Zha, L., Huang, D., Li, J., & Wang, R. (2025). Next-generation water-saving strategies for greenhouses using a nexus approach with modern technologies. *Nature Communications*, 16(1), 2091. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57388-3>

BÖLÜM 7

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.)’UN ÖNEMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDAKİ ROLÜ

Prof. Dr. Mehmet ÖTEN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17681299>

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü,
mehmetoten@subu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-3737-2356>

Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyarı aşacağı öngörülmektedir (United Nations, 2013). Artan nüfus, kentleşme ve gelir düzeylerindeki yükseliş, özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıdalara olan talebi önemli ölçüde artırmaktadır. Nüfus artışıyla birlikte son yıllarda iklim değişikliği, kuraklık ve su kıtlığı gibi çevresel sorunlar tarımsal üretimi tehdit eden başlıca faktörler hâline gelmiştir. IPCC (2001) raporuna göre, küresel sıcaklıkların 2100 yılına kadar 1-3,5 °C arasında artması beklenmektedir. Sıcaklık artışı, toprak neminde azalma ve bitkilerde evapotranspirasyonun yükselmesiyle birlikte su stresine yol açmakta, bu da özellikle suya duyarlı bitkilerde verim kayıplarına neden olmaktadır (Öztürk, 2002). Özellikle mısır, soya fasulyesi, pirinç ve buğday dahil olmak üzere dünyadaki başlıca ürünlerde yaklaşık %33 verim kaybı küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Karasawa ve Marli, 2021). Bu durum, gıda ve beslenme güvenliği için yalnızca bu ürüne bağımlı olan bölgeler için tehlike oluşturmaktadır (Lynch, 2021). Kuraklığa dayanıklılık ve yüksek verim genellikle ters orantılı özellikler olduğundan, modern bitki ıslahı çalışmaları her iki özelliği bir arada taşıyan çeşitlerin geliştirilmesine yönelmiştir (Karaali, 2018). Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye’de yaz aylarında yağış yetersizliği ve sulama olanaklarının sınırlılığı, birçok bitki türünün potansiyel verimini düşürmektedir (Kırbaş, 2012). Bu nedenle su kısıtının yaşandığı yarı kurak bölgelerde, farklı gelişme dönemlerinde su stresine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesi ve yetiştirilmesi stratejik önem taşımaktadır (Tiryaki, 2016).

Bu bağlamda, kuraklığa ve sıcağa dayanıklı özellikleriyle öne çıkan sorgum (*Sorghum bicolor* L.), sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Sorgum; düşük su ve gübre ihtiyacı, tuzlu ve besince fakir topraklara uyum yeteneği ve yüksek sıcaklıklara toleransı sayesinde yarı kurak bölgelerde başarıyla yetiştirilebilmektedir (Awika ve Rooney, 2004; Li ve ark., 2010). Strese dayanıklı olduğu bilinmesine rağmen, kuraklık ve ısı stresi, sorgumun da verimliliğini ve besin kalitesini tehdit etmektedir (Abreha ve ark., 2022). Ancak yine de mısırla karşılaştırıldığında, sorgum aynı miktarda su ile yaklaşık iki kat daha fazla biyokütle üretebilmekte ve ortalama %45 daha az su, %30 daha az azot kullanmaktadır (Sanchez ve ark., 2002; Bean ve ark., 2002). Ayrıca bitkinin uzun süre yeşil kalma özelliği, sınırlı su koşullarında dahi yüksek verim elde edilmesine olanak tanımaktadır (Borrell

ve ark., 2000). Tüm bu özellikleri nedeniyle sorgum, özellikle silaj üretiminde suya duyarlı olan mısırın yerine kullanılabilecek en uygun yem bitkilerinden biridir (Çakır, 2004).

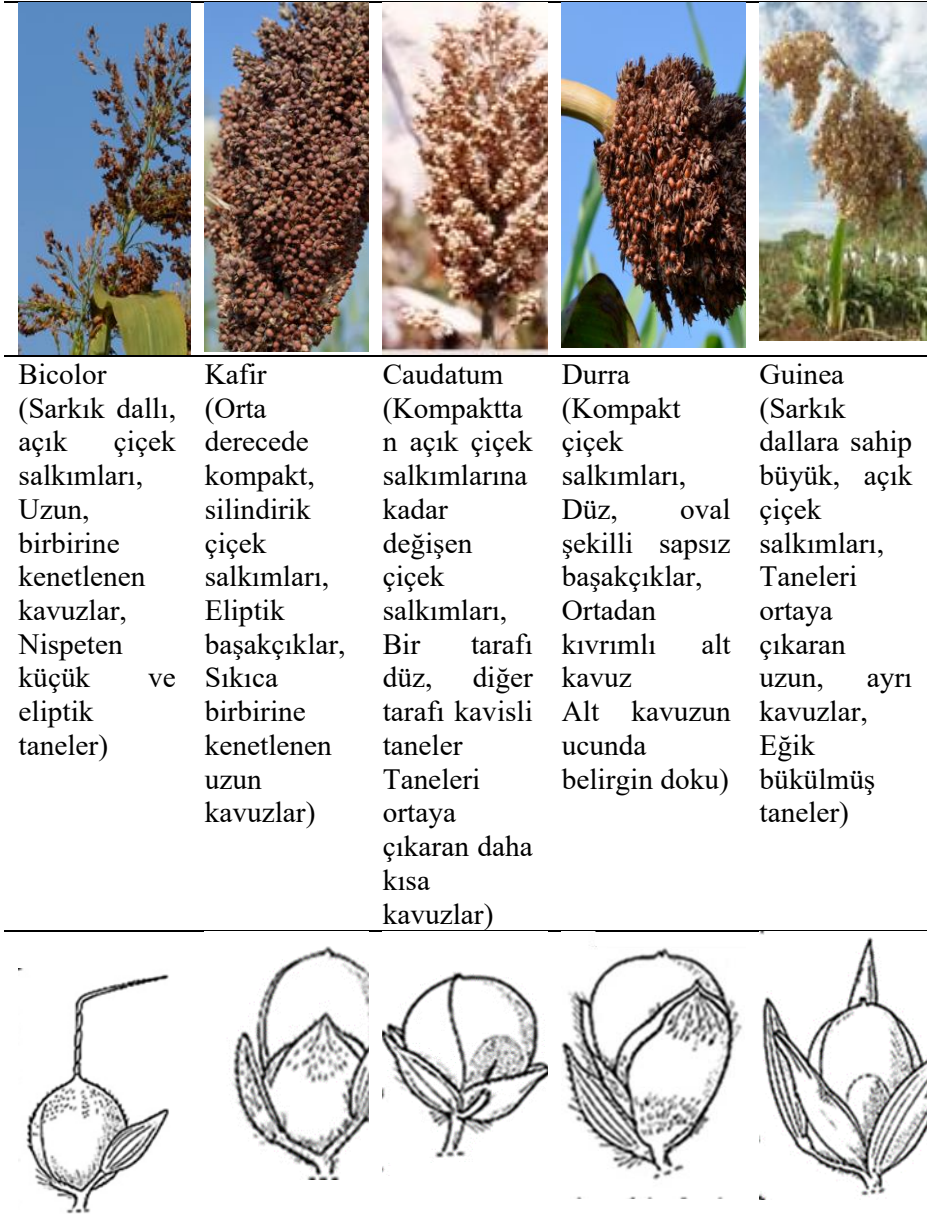
Sorgum, farklı coğrafyalarda çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Genellikle taneleri öğütülerek un hâline getirilir ve bu un, çeşitli geleneksel yiyeceklerin hazırlanmasında kullanılır. Asya ve Afrika'nın bazı bölgelerinde sorgum unu, mayalı veya mayasız hamurla ekmek yapımında değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra Afrika'da yaygın olarak tüketilen sorgum lapası, ayrıca patlak tanesi, kek, bisküvi, tortilla cipsi ve erişte gibi pek çok gıda ürününde de sorgum kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2012).

Sonuç olarak, artan nüfus ve iklim değişikliğine bağlı olarak su kaynaklarının giderek kısıtlandığı günümüzde, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için kuraklığa dayanıklı alternatif bitkilere yönelmek kaçınılmazdır. Bu çalışma kapsamında, sorgum yetiştiriciliğinin iklim değişikliği koşullarında önemi, ekolojik avantajları ve tarımsal üretim sistemlerindeki potansiyel rolü ele alınmıştır.

1. Sorgumun Morfolojik Özellikleri

Botanikçilerin ve arkeologların kökeni konusunda fikir ayrılığına düştüğü sorgum Afrika ve Asya'nın kurak bölgelerinden dünyaya yayılmış bir bitkidir. Arkeolojik kazılarda MÖ 8000 yılında yabani sorgum türlerine ait kanıtlar bulunmuştur (Smith ve Frederiksen, 2000). Kültüre alınması ve yayılışı ile ilgili genel kanı; MÖ 4000 civarında Doğu Sudan savanında 100'den fazla ülkeye taşındığı ve tüm dünyada insan ve hayvan gıdası olarak yetiştirildiğidir.

Sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], Poaceae familyasına ait, kendine tozlaşan, diploid ($2n = 2x = 20$) bir türdür (Barkworth 2006). Genom büyüklüğü mısırın yaklaşık %25'i kadardır. *S. bicolor*'un tanınan üç alt türü vardır: subsp. *bicolor*, subsp. *Verticilliflorum* ve subsp. *drummondii* (Wiersema ve Dahlberg 2007). Ülkemizde de yetiştirilen *Bicolor* alt türünün de içinde bulunduğu Şekil 1'de gösterilen beş interfertil ırk (*Bicolor*, *Kafir*, *Caudatum*, *Durra* ve *Guinea*), çiçek morfolojisine göre aralarındaki melezleşmeler sonucunda 10 ara ırka (geçiş tipi) ayrılır (Morris ve ark., 2013).



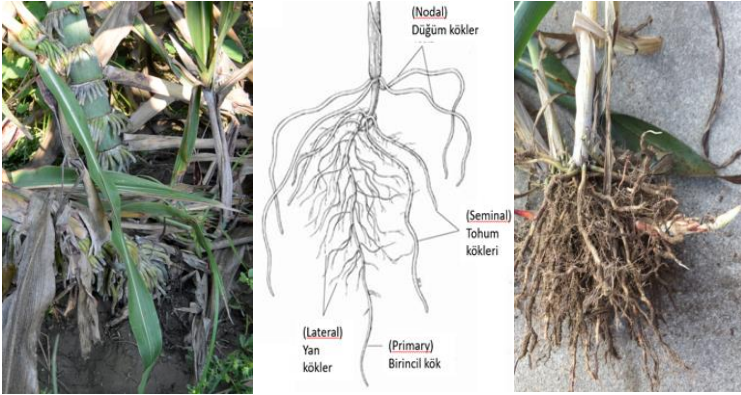
Şekil 1. Sorgum ırklarının başak ve tohum yapısı

Ülkemizde kültürü yapılan *Sorghum bicolor* subsp. bicolor olarak sınıflandırılan sorgum; silajlık sorgum, tane sorgum, tatlı sorgum, sudan otu ve süpürge darısı gibi tarımsal türlerle temsil edilmektedir (Berenji ve Dahlberg 2004). Daha yüksek fotosentez verimliliğine ve daha yüksek abiyotik stres toleransına sahip, C4 fotosentez yolunu kullanan sorgum, marjinal alanlara

yüksek adaptasyon göstermekte, azot kullanım etkinliğinin yüksekliği nedeniyle aşırı miktarda biyokütleyle sahip olmasından dolayı dünyada en fazla ekimi yapılan tahıllardan biridir (Xu ve ark., 2018).

1.1. Sorgumun kök yapısı

Sorgum bitkileri, Buğdaygiller (Poaceae) familyasına özgü lifsi bir kök sistemine sahiptir ve bu sistem 1,5 ila 2,4 metre derinliğe kadar uzanabilmektedir (Kimber, 2000). Sorgumun kök sistemi iki aşamada gelişir: embriyonik (seminal) kökler ve adventif taç (nodal) kökler (Şekil 2). Seminal kökler, çimlenen tohumun radikulasından gelişir ve bitkinin erken büyüme evresinde su ve besin alımında görev yapar. Ancak bu köklerin işlevsel ömrü yaklaşık üç hafta ile sınırlıdır. Büyümenin ilerleyen dönemlerinde, adventif taç kökler (ya da nodal kökler) koleoptil nodundan ve bazen bu nodun üzerindeki birkaç yaprak nodundan ortaya çıkar. Bu kökler, hem yatay hem de dikey yönde dallanarak bitkinin su ve besin alım kapasitesini belirleyen geniş kapsamlı bir sekonder kök sistemi oluşturur (Singh *et al.*, 2010). Sorgum bitkisi; birincil kök, tohum kökleri, yan kökler ve üç tip düğüm kökü (taç, destek ve havai kökler) geliştirebilir. Birincil kök, embriyodan gelişir ve erken dönemlerde su ile besin taşınımında ana iletim kanalı olarak görev yapar. Yan kökler, kök dokusundan çıkarak kök sisteminin toplam yüzey alanını artırır ve toprakla etkileşimi güçlendirir. Sorgumun geniş ve dallanmış kök sistemi, su stresi koşullarında bitkinin dormansi (uyku) durumuna geçebilme yeteneğiyle birlikte, kuraklığa dayanıklılığının temel nedenlerinden biridir. Ayrıca kök endodermisinde biriken silika, kuraklık stresi altında köklerin mekanik çökmesine karşı koruma sağlar (York ve ark., 2022). Kök sisteminin uzunluğu, yoğunluğu, açısı ve biyokütlesi, bitkinin toprakta ne kadar derine ve geniş bir alana yayılabileceğini belirleyerek, kuraklık toleransını doğrudan etkiler (Singh *et al.*, 2010). Özellikle nodal kök açısı, köklerin toprak içinde yatay veya dikey yayılımını belirleyen kritik bir morfolojik özelliktir. Bu özellik, bitkinin su alım kapasitesi ve yeşil kalma davranışı ile yakından ilişkilidir (Mace *et al.*, 2012). Araştırmalar, dar kök açısına sahip sorgum genotiplerinin, köklerini toprakta daha derine yönlendirerek yeraltı su kaynaklarına daha iyi eriştiğini ve bu nedenle kuraklığa karşı daha dayanıklı olduklarını göstermiştir (Manschadi *et al.*, 2008).



Şekil 2. Sorgumun kök yapısı

1.2. Sorgumun başak yapısı

Sorgumun salkımı (panikülü) genellikle 5-60 cm uzunluğunda ve 3-30 cm genişliğinde olup, açık (gevşek) veya sıkı (kompakt) yapıda olabilir. Birincil panikül dalları, uç kısımlarında 2 ila 7 başakçık çifti içeren bileşik rasemlerle (başakçık dizileri) sonlanır. Sapsız (sessil) başakçıklar iki eşeyli (hermafrodit) olup 3-9 mm uzunluğundadır. Glumaları (dış kavuz yaprakları), dokusal olarak derimsi (koryasöz) ile zar gibi (membranöz) arasında değişir; yüzeyleri ise tüysüz (glabrous), yoğun kıllı (hirsüt) veya hafif tüylü (pübesens) olabilir. Glumaların ortasındaki sırt (keel) genellikle kanatçıktır. Üst lemma (iç kavuz yaprağı), bazı durumlarda kılçıksız (awnsuz), bazen de bükülmüş ve dizli (genikulat) yapıda, 5-30 mm uzunluğunda bir kılçık taşıyabilir. Anterler (erkek organlar) 2-3 mm uzunluğundadır. Pediseller (başakçık sapçıkları) 1-3 mm uzunluktadır. Saplı (pedisellat) başakçıklar genellikle 3-6 mm uzunluğundadır ve çoğunlukla sapsız başakçıklardan daha kısadır. Bu saplı başakçıklar, yalnızca erkek çiçekli (staminat) olabileceği gibi kısır (steril) de olabilir. Salkım morfolojisi, ürün adaptasyonu ve veriminin önemli bir bileşenidir (Cooper ve ark., 2014). Başağın morfolojisi, başaktaki dalların sayısına ve uzunluğuna bağlıdır. Yetiştirilen sorgum, esas olarak salkım ve başakçık özelliklerine dayanarak beş ana ırka (bicolor, gine, caudatum, durra ve kafır) ayrılır (Şekil 1). Kompakt bir salkım yapısı sorgumun kültüre alınma oranını gösteren tipik bir özelliğidir (Brown ve ark., 2006), yabani türlerin gevşek salkımlara sahip olma olasılığı daha yüksektir. Kompakt salkımların hastalık ve zararlı istilasına daha yatkın olduğu bilinmektedir. Sorgumda 12

farklı başak sistemi vardır ancak kültürü yapılan çeşitlerde, genellikle sıkı, yarı seyrek ve seyrek tip başak yaygındır (Şekil 3).



Şekil 3. Sorgumun başak yapısı

1.3. Sorgumun tane özellikleri

Sorgumun olgun taneleri, genellikle hasat veya harman sırasında çıkarılan kavuzlarla kısmen kaplıdır. Tohumlar şekil açısından ovalden yuvarlağa kadar değişebilir ve renkleri kırmızı, beyaz, sarı, kahverengi veya bunların farklı tonlarında olabilir. Sadece perikarp renkliyse, tohum genellikle sarı veya kırmızı renkte olur. Hem perikarp hem de testadaki pigmentler ise koyu kahverengi ya da kırmızımsı kahverengi bir görünüm verir. Sorgum tanesi temel olarak testa, embriyo ve endosperm olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Sorgum taneleri, çekirdek rengi, tanen ve polifenol içeriğine göre beyaz, sarı, kırmızı, kahverengi ve siyah olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır (Şekil 4). Diğer pigmentli genotipler ise değişken fenolik ve tanen içeriklerine sahiptir. Beyaz sorgumun protein sindirilebilirliği yüksektir.



Şekil 4. Sorgumun tane renkleri

Ayrıca, beyaz sorgumdan un, çay, makarna, ekmek veya evcil hayvan maması gibi ürünlerin üretiminde de kullanılabilir. Bunun yanı sıra, beyaz sorgumdan üretilen biralara, arpadan daha yüksek fenolik içerik ve antioksidan kapasiteye sahip olup, glütensiz bira üretimi açısından çölyak hastaları için uygun bir alternatif sunmaktadır (Xiong ve ark., 2019). Genel olarak, sorgum tanelerindeki tanen konsantrasyonu, tane rengi ile ilişkili görünmekle birlikte, bu ilişki mutlak değildir; kırmızı ve kahverengi taneler genellikle daha yüksek tanen içeriği gösterir (Kumari ve ark., 2021). Yoğunlaştırılmış tanenler dışında, sorgum taneleri, perikarpta bulunan fenolik asitler ve flavonoidler gibi çeşitli fenolik bileşikler içerir; bu bileşikler tanelerdeki renklenmeden sorumludur. Klasik genetik çalışmalar, tane rengi ve testa pigmentasyonunun birkaç lokustan etkilendiğini göstermektedir (Dykes, 2019).

Sorgum tohumunda dormansi özelliği, sorgumun ıslah sürecinde kaybolan bir diğer özelliktir (Cook ve ark., 2005). Sorgumda, çoğu çeşit için hasattan yaklaşık üç ay sonra dormansi özelliği kaybolur. Ayrıca depolama sıcaklığı da dormansiyi etkilemekte olup, düşük sıcaklıklar bu süreyi uzatmaktadır.

1.4. Sorgumun gövde ve yaprak yapısı

Sorgumun gövdesi, boğumlar (nodes) ve boğumarası (internodes) bölümlerinden oluşur. İç kısmı genellikle dolgun veya süngerimsi öz dokulu, dış kısmı ise selüloz ve ligninle güçlenmiş sert bir kabukla çevrilidir. Bitkiye mekanik destek sağlar, onu dik tutar. Su, mineral ve fotosentez ürünlerinin (özellikle karbonhidratların) kökten yapraklara ve başa taşınmasını sağlar. Gövde, özellikle tatlı sorgum (sweet sorghum) türlerinde yüksek şeker (sakkaroz) içerir. Kuru madde birikimi ve biyokütle üretimi açısından en önemli bitki organıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Sorgum bitkisine ait görseller

Sorgum yaprakları, gövdeyi saran bir kılıf ve gövdenin yanlarından dışarı doğru uzanan ve güneş ışığını kesen uzun bir yapraktan oluşur. Kılıf ve yaprağın birleştiği yer yakadır. Yaprakların ana damarları paraleldir. Yapraklarda kulakçıklar yoktur, ancak ligüller bulunur. Gövdedeki son yaprak yaprağına (en yüksek yaprak) bayrak yaprağı denir. Bayrak yaprağı, çiçek salımının hemen altındaki yapraktır (Şekil 5).

2. Sorgumun Ekolojik İstekleri

2.1. Sıcaklık isteği

Sorgum, çimlenme ve büyüme için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyan, sıcak iklim bitkisidir. Düşük sıcaklıklar, tane sorgumun başarılı bir şekilde üretilmesini engelleyebilir. Çimlenme için minimum sıcaklık 7 ila 10 °C arasında değişir. Ekim zamanındaki toprak sıcaklığı, sorgum için kritik öneme sahiptir. Çimlenme için önerilen sıcaklık 17-18°C'dir; daha düşük sıcaklık ise çimlenmeyi uzatır (Wylie, 2010). Sıcaklık sadece çimlenme için değil aynı zamanda normal büyüme ve gelişme için önemlidir. Bitkinin optimum büyüme ve gelişmesi için 27 ila 30°C sıcaklık gereklidir, ancak ürün 21°C'nin altında bile, büyüme ve verim üzerinde önemli bir etki olmaksızın hayatta kalabilir. Olağanüstü yüksek sıcaklıklar verimde düşüşe neden olur. Gece sıcaklıkları,

sorgumun gelişimini etkiler; 13°C'nin altı ve 31°C'nin üstündeki gece sıcaklıkları verimi düşürür. Bitkinin yaşam döngüsü boyunca sürekli düşük sıcaklıklara maruz kalması çiçeklenmeyi geciktirir, erkek kısırlığına neden olur ve başaklarda az sayıda veya hiç tohum oluşmamasına yol açar (Tiryaki ve Andrews 2001).

2.2. Toprak ve gübreleme isteği

Sorgum, pH değeri 6 ila 7,5 arasında olan, orta düzeyde organik madde içeren, iyi drene edilmiş topraklarda en iyi şekilde yetişir. Sulak ve taban suyu yüksek yerler sorgum yetiştiriciliği için uygun değildir (Espinoza ve Ross, 2005). Tuz ve alüminyum toksisitesine karşı bir miktar toleransı vardır. Asit karakterli topraklar yetiştiricilik açısından uygun değildir ancak, kireçleme yoluyla toprakların iyileştirilmesi sorgum yetiştiriciliği açısından uygun ortam yaratılmasını sağlamaktadır.

Sorgumun marjinal alanlarda yetiştirilme imkanı olmasına rağmen tarımı yapılacak topraklarda büyüme ve verim potansiyelini karşılamak için yeterli besin maddesi içermesi gereklidir (Wylie 2008). Özellikle ihtiyaç duyduğu iki temel besin maddesi azot (N) ve fosfordur (P). Çiçeklenme başlangıcından önce genellikle N uygulaması gereklidir. Azot, amino asit ve protein üretimi, klorofil oluşumu, vitaminlerin bir bileşeni olması ve bitkideki enerji ilişkilerini etkilemesi de dahil olmak üzere birçok bitki fonksiyonunda önemli bir elementtir. Sorgumda azot eksiliğinde; kuru madde ve başak sayısında azalma, açık yeşilden sarıya dönen renk değişimi, alt yaprakların uçtan başlayarak sararması ve nekrozu, birincil kardeşlenmede gecikme, çiçeklenme 10-14 günlük gecikme ve tane proteininde düşüş ortaya çıkmaktadır (Şekil 6). Fosfor ekim sırasında şerit halinde uygulanmalıdır. Fosfor uygulamasında dikkatli olunmalıdır, çünkü Zn eksikliğine neden olabilir ve bu da N alımını azaltır (QDAF 2011). Özellikle çiçeklenme döneminde bitki besin maddesi ihtiyacı maksimum seviyededir, hızlı bitki büyümesinin olduğu bu dönemde yapılacak gübrelemede ki hata sonraki aşamalarda düzeltilemez. Yetiştirildiği bölgeye ve toprak yapısına göre değişmekle birlikte genel olarak dekara 25 kg. Azot, 10 kg. Fosfor, 10 kg. Potasyum tavsiye edilmektedir. Azotun yarısı ekim öncesi diğer yarısı ise bitki boyu 35-40 cm'ye ulaştığı zaman verilmelidir. Sulamanın yetersiz olduğu koşullarda azotlu gübreleme azaltılmalıdır.

Sorgumda önemli besin elementlerinin eksikliğinde görülen semptomlar:



Azot eksikliğinin belirtileri zayıf bitki gelişimi, soluk yeşil/sarı yapraklardır. Sararma genç bitkilerde başlar ve daha olgun bir aşamada, karakteristik ters V şekliyle, önce yaşlı yapraklar sararmaya başlar.



Fosfor eksikliğinde genç bitkilerin yaprakları koyu yeşil, kenarları ve uçları kırmızımsı-mor renge dönüşmektedir.



Potasyum eksikliği ilk olarak alt yapraklardan başlayarak üst yapraklara doğru yayılan, yaprak kenarlarında sararma veya nekrotik görünümle fark edilir.

Şekil 6. Sorgumun besin maddesi eksikliklerine karşı tepkileri

2.3. Su isteği

Sorgum kuraklığa dayanıklı bir bitkidir ve az yağış alan bölgelerde de iyi yetişir, ancak suyun mevcut olduğu koşullarda daha yüksek performans gösterir. Normal şartlarda sorgum üretimi için 450-800 mm yağış yeterlidir (FAO 2015). Kurak koşullarda kökleri nem elde etmek için daha fazla miktarda toprağa nüfuz eder (Manschadi ve ark., 2006). Çiçeklenme döneminde su ihtiyacı en üst seviyeye ulaşır. Sorgumun yeşil kalma özelliği, bitkiyi kurumaktan koruyan mumsu yapraklar ve gövdeler sayesinde olmaktadır. Sıcak ve kuru koşullarda su kaybını sınırlamak için yapraklar katlanır ve stomalar hızla kapanır. Yeşil kalma mekanizması, kardeşlenmeyi azaltma, alt yaprakların boyutunu artırma, üst yaprakların boyutunu sınırlama ve sap başına yaprak sayısını azaltma şeklinde olmaktadır. Bu, çiçeklenme öncesi su ihtiyacının azalmasına ve dolayısıyla tane dolumu sırasında su bulunabilirliğinin ve dolayısıyla tane veriminin artmasına neden olur (Borrell ve ark., 2014). Sorgum ayrıca olağan üstü olumsuz koşullarda uykuda kalma pozisyonuna geçmekte ve koşullar uygun hale gelir gelmez büyümeye devam etmektedir. Bu tür olumsuz şartlarda ana gövde zarar görse de, bitkinin suya ulaşması halinde yeni yan sürgünler gelişebilmekte ve tohum oluşturabilmektedir.

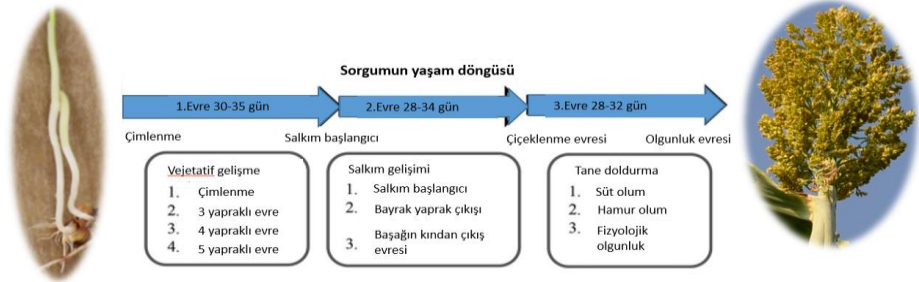
Yapılan çalışmalarda sorgum bitkisinin, kısa periyotta daha düşük su stresini tolere edebildiğini, ancak uzun dönemde ciddi stres altında kaldığında bitki gelişimini ve verimi etkileyebilen sorunlarla karşılaştığını göstermiştir. Çiçeklenme periyodundan sonra ortaya çıkan su eksikliğinin, ilk hasattaki ürün miktarını etkilediğini bildirilmiştir (AbdelMatagaly, 2010). Kuraklık stresi, değişik bitkilerde yaprak sıcaklığı, yaprak klorofil içeriği, stoma iletkenliği, solunum ve fotosentez gibi fizyolojik olayları etkilemektedir (Silva ve ark., 2007). Küresel iklim değişikliği nedeniyle su kıt ve değerli kaynak haline gelmekte ve bu nedenle sorgum son derece değerli bir yem kaynağı olmaktadır. Sorgum bitkisinin, su tüketimi ve dane verimi arasındaki ilişkileri incelemek (Ebenezer, ve ark., 2004) ayrıca sorgum bitkisinin orta ve fazla su kısıtı seviye (Farre ve Faci (2006) performansını ortaya koymak için yaptıkları çalışmada sorgum bitkisinin kısıntılı sulama şartlarına uygun bir bitki olabileceğini belirlemiştir.

2.4. Gün uzunluğu isteği

Sorgum, kısa gün bitkisi olduğu için ılıman bölgelerden tropikal bölgelere getirilen çeşitler, fotoperiyodizm nedeniyle tohum geliştiremez. Çiçek oluşumunu sağlayacak optimum fotoperiyot 10 ila 11 saat arasındadır. 12 saatten uzun fotoperiyotlar vejetatif büyümeyi teşvik eder. Sorgum bitkisinde fotoperiyoda en duyarlı dönem, çiçeklenme başlangıcıdır. Yetiştirilecek çeşitlerin bu özelliği araştırılarak çeşit seçimi gerçekleştirilmelidir.

3. Sorgumun gelişim evreleri

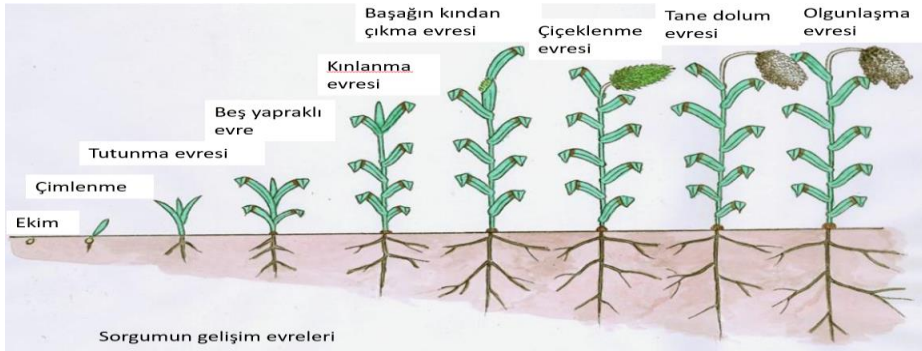
Sorgumun 3 gelişim evresi bulunmaktadır. Vejetatif Evre, çiçek tomurcuğu oluşumuna kadar olan dönemi ifade eder. Çiçeklenme Evresi, salkımın (başak) gelişiminden çiçeklenmenin başlamasına (anterez) kadar olan dönemi içerir. Tane Doldurma Evresi ise çiçeklenmeden fizyolojik olgunluğa kadar devam eder (Şekil 7). Her bir evrenin süresi ve zamanı, sorgum çeşidine, yetiştirme yerine, yetiştirme amacına (Silajlık, tane amaçlı) ekim zamanına ve mevsimsel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte, yaşam döngüsü genellikle 50 ila 180 gün arasındadır (Mocoeur ve ark., 2015).



Şekil 7. Sorgumun yaşam döngüsü

Çimlenme, koleoptilin ilk kez toprak yüzeyini kırmasıyla gerçekleşir ve genellikle ekimden 3-10 gün sonra meydana gelir. Yaprak gelişimi, gövde üzerinde oluşan yaprak sayısına göre tanımlanan bir dizi evrede gerçekleşir. Üçüncü yaprak tamamen ortaya çıktığında kök sistemi hızla gelişir ve bitki, olgunluğa kadar devam eden hızlı kuru madde birikimiyle karakterize edilen hızlı bir büyüme dönemine girer (Spenceley ve ark. 2005). Vejetatif Evreden Çiçeklenme Evresine geçiş, üretim döngüsünün üçte biri tamamlandığında gerçekleşir. Bu noktada toplam yaprak sayısı belirlenmiş olur ve son üç veya

dört yaprak hariç tüm yapraklar, toplam yaprak alanının yaklaşık %80'i gerçekleşmiş olur. Alttaki birinci ila üçüncü yapraklar bu noktada kaybolabilir. Bu noktadan sonra gövde büyüme hızlıdır ve toplam büyümenin yaklaşık beşte biri bu dönemde gerçekleşir. Salkımın yaprak kılıfı içinde geliştiği ve henüz dışarı çıkmadığı, çiçeklenme öncesi evrede, tüm yapraklar maksimum yaprak alanı ve ışık kesintisi sağlayacak şekilde tamamen genişlemiştir. Salkım neredeyse tam boyuttadır ve bayrak yaprak kılıfıyla çevrilidir. Gövde, başak sapı hariç, gelişimini büyük ölçüde tamamlanmıştır (Vanderlip 1993). Tane doldurma aşamasında gövde ağırlık kaybetmeye başlar ve alt yapraklar dökülürken, gövdenin üst kısmında sekiz ila on iki işlevsel yaprak kalır. Tane olgunlaşmaya devam ettikçe gövde ağırlığı kaybı devam eder ve olgunluğa gelindiğinde kalan işlevsel yapraklar yeşil kalabilir veya kahverengiye dönebilir ve ölebilir. Tohum gelişimi, tozlaşmayı takip eden yedi gün içinde başlar. Tohumlar, maksimum ağırlığa ulaşır, tane üzerinde koyu bir nokta oluşturdularında fizyolojik olgunluğa ulaşırlar. Çiçeklenmeden fizyolojik olgunluğa kadar geçen süre, yetiştirme koşullarına ve çeşide göre farklılık göstermekle birlikte 25 ila 55 gün arasında değişmektedir (Spenceley ve ark. 2005).



Şekil 8. Sorgum gelişim evreleri

4. Sorgumun kullanım alanları

Tarımsal avantajlarının yanı sıra, sorgum tanesi glütensizdir, yüksek dirençli nişasta içerir ve zengin bir besin kaynağıdır; en önemlisi de çeşitli biyoaktif fenolik bileşikler içerir (Dykes ve Rooney, 2007). Çimlendirme, fermentasyon, pişirme, ıslatma ve buharlama gibi çeşitli teknolojik işleme yöntemleri kullanılarak, sorgumdan bira gibi içecekler ve fırın ürünlerinde gıda

katkı maddesi olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır (Duodu ve ark., 2019). Tatlı sorgum, ekmek ve et ürünlerinin hazırlanması veya kaplanması dahil olmak üzere birçok gıda ürününde kullanılmaktadır (Winger ve ark., 2014). Aynı zamanda insan beslenmesinin yanı sıra hayvan yemi olarak, alkolü içecekler, şeker, biyoyakıt, şurup ve yüksek kaliteli kağıt üretiminde kullanılan çok yönlü bir bitkidir. Esas olarak kümes hayvanı yemi, sığır yemi, alkol üretimi gibi gıda dışı kullanımlar için uzun mesafelerde ticarete konu olmaktadır (Marsland ve Parthasarathy., 1999). Sorgum, birçok etnik ve geleneksel yemeğin yapılabileceği nişasta veya irmik üretmek için kullanılabilir. En yaygın ürünler mayalı ve mayasız ekmekler ve kuskus gibi buharda pişirilmiş ürünlerdir. Sorgum unu ayrıca balık, tavuk ve sığır eti için mükemmel bir kızartma kaplaması niteliğindedir. Çeşitli atıştırmalıkların hazırlanmasında, patlatma, çiğneme ve maltlama amacıyla da kullanılmaktadır.

4.2. Dane Sorgum (Grain Sorghum)

Tane amaçlı sorgum (*Sorghum bicolor*), silajlık veya kombine çeşitlere kıyasla genellikle daha kısa ve kompakttır; bitki boyu çoğunlukla 180 cm'nin altındadır. Besin içeriği açısından zengin bir tahıl olan tane sorgum, ortalama olarak %69-72 nişasta, %9-14 ham protein, %3 ham yağ, %2 ham selüloz ve yaklaşık %1,5 ham kül içermektedir. Yüksek tane verimi ve besin kalitesi sayesinde, sorgum diğer yemlik tahıllara kıyasla önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Akdeniz ve ark., 2003).

Gelişmekte olan ülkelerde sorgumun yaklaşık %56'sı insan gıdası olarak tüketilirken, gelişmiş ülkelerde bu oran yalnızca %2'dir. Buna karşılık, hayvan yemi olarak kullanımı gelişmekte olan ülkelerde üretilen sorgumun %32'si iken, gelişmiş ülkelerde bu oran %94'e yükselmektedir (Akdeniz ve ark., 2003).

Sorgum tanesi glütensiz olup, dirençli nişasta ve çeşitli biyoaktif fenolik bileşikler açısından zengindir (Dykes & Rooney, 2007). Bu benzersiz fenolik profil, sorguma oksidatif stresin azaltılması ve bazı kanser türlerine karşı potansiyel koruyucu etkiler sağlama kapasitesi kazandırmaktadır. Tane rengi ise kullanım amacını belirler: beyaz taneler insan gıdası olarak tüketilirken, kahverengi ve kırmızı taneler tanenler gibi biyoaktif bileşikler içerdiği için beslenme ve bira üretiminde tercih edilmektedir (Shen et al., 2018). Yapılan analizler, sorgumun fosfor, potasyum, magnezyum ve kalsiyum gibi değerli

mineraller açısından zengin olduğunu göstermektedir (Afify ve ark., 2012). Bu mineraller, insan ve hayvan sağlığı açısından önemli işlevler üstlenir: fosfor kemik mineralizasyonu ve asit-baz dengesinin korunmasında, potasyum ve sodyum vücuttaki ozmotik dengede, kalsiyum ise hücre duvarı ve membran yapısının oluşum ve stabilitesinde rol oynar. Demir, kırmızı kan hücrelerinin işlevi için gereklidir ve eksikliği anemiye yol açabilir (Serna & Bergwitz, 2020).

Üstün tarımsal özellikleri ve sağlık potansiyeli nedeniyle sorgum, son yıllarda akademik çalışmalar ile gıda ve ilaç sektörlerinde artan bir ilgi görmektedir.

4.3. Yem (Silaj) Sorgum

Son yıllarda, silaj sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), dünyanın yarı kurak bölgelerinde azalan su kaynakları nedeniyle mısırın (*Zea mays* L.) yerini alan önemli bir yem bitkisi olarak popülerlik kazanmaktadır (Mutava ve ark., 2011). Silaj sorgum aynı miktarda sulama suyuyla mısırdan %25 daha fazla üretime sahip olurken, %27 daha az buharlaşma gerçekleştirmektedir (Howell ve ark., 2008). Mısır, kuru madde üretmek için silaj sorgumdan iki kat daha fazla sulamaya (550 mm'ye karşı 250 mm) ihtiyaç duymaktadır (Miron ve ark., 2007). Silaj sorgum farklı iklim ve toprak koşullarına uyum sağlamak için daha güçlü bir dirence sahiptir (Qu ve ark., 2014). Sorgumun bir avantajı da, özellikle gübreleme yapıldığında, biçildikten sonra yeniden büyüme kabiliyetidir (Afzal ve ark., 2012). Bu nedenle, yeniden sorgum ekimine gerek kalmadan silaj üretmek mümkündür.

Silaj amaçlı yetiştirilen sorgumlar, yaprak orta damarının rengine göre; beyaz yeşil ve kahverengi orta damarlı populasyonlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Beyaz orta damarlı yaprağa sahip çeşitlerde kuru gövde özü bulunur, yaprak orta damarı yeşil olanlarda sulu gövde özü bulunurken, kahverengi yaprak orta damarına sahip çeşitlerde sulu gövde özü ile birlikte karakteristik kırmızimsı kahverengi renklenmeyi sergiler, ancak renklenmenin yoğunluğu ve kalıcılığı farklı genotiplerinde değişiklik gösterir (Saballos ve ark., 2008). Beyaz ve yeşil orta damarlı çeşitlerde ortak sorun, tipik olarak mısırdan daha yüksek lignin içeriğine sahip olmaları ve lignindeki karmaşık bağlantıların geniş getirenler tarafından sindirilebilirliği olumsuz etkilemesi ve sonuçta kuru madde alımını ve süt üretimini sınırlamasıdır (Oliver ve ark.,

2005). Kahverengi orta damarlı özelliktekiler ise adaptasyon ve biyokütle verimi açısından olumsuz ilişkilidir ve bu nedenle üreticiler bu çeşitleri daha az tercih etme eğilimindedirler (Contreras-Govea ve ark., 2010).

Sorgum bitkileri, parçalandığında hidro siyonik asit (HCN) açığa çıkarabilen dhurrin adlı bir bileşik içerir (Undersander, 2003). Hidro siyonik asit, don, çürüme, kuraklık stresi ve mekanik hasar sırasında bitki tarafında salınır (Dover, 2004). Hidro siyonik asit zehirlenme belirtileri, hayvanlar tarafından tüketildikten sonra 5 dakika içinde ortaya çıkabilir ve 15 dakika içinde hayvan ölebilir (Stichler ve Reagor, 2001). Dhurrin içeriği sorgum 45–50 cm boya ulaşmadan en yüksek düzeyde bulunur. Bu nedenle, bitkiler otlatma yapılmaması veya yeşil olarak biçilmemesi önerilir. Kuraklık dönemlerinden sonra bitkiler yeni sürgünler oluşturabilir; bu durumda hayvanlar genellikle daha yaşlı, uzun bitkiler yerine bu taze ve genç sürgünleri tercih eder. Ancak bu genç sürgünlerde dhurrin birikimi yüksek olacağından, otlatma zehirlenmesi riski artar. Ayrıca, şiddetli don olaylarından sonraki 10 gün boyunca sorgumların otlatılmaması veya yeşil olarak biçilmemesi gerekir. Yüksek azotlu gübreleme veya çiftlik gübresi uygulamaları, hem prusik asit zehirlenmesi hem de nitrat zehirlenmesi riskini artırır. Çok koyu yeşil renkli bitki gelişimi genellikle daha yüksek prusik asit içerir.

4.4. Şeker Sorgum

Tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. sweet sorghum), sapında yüksek oranda şeker bulundurması nedeniyle yaklaşık 150 yıldır bilimsel araştırmalara konu olmaktadır. Özellikle, diğer şeker üretim kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde bu özelliğiyle önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Yolcu, 2019). Tatlı sorgum ve enerji sorgumu, farklı üretim amaçlarına sahip çeşitleri ifade eder. Enerji sorgumu, biyoyakıt üretimine uygun yüksek lignoselülozik biyokütle elde etmek amacıyla yetiştirilirken; tatlı sorgum (tatlı saplı sorgum olarak da bilinir), sapında çözünür şekerleri biriktiren genotipleri ifade etmektedir (Codesido ve ark., 2013).

Şeker sorgum bitkisi 6 metreye kadar uzayabilmekte ve tane sorgumuna kıyasla oldukça yüksek biyokütle verimi sağlamaktadır. Tatlı sorgum sapsı, diğer sorgum çeşitlerine göre daha kalın ve etli olup, buna karşın tohum verimi nispeten düşüktür (Whitfield ve ark., 2012). Şeker sorgum tohumdan

yetiştirilebilir, üretimi tamamen mekanizedir, nişasta hem sürgünlerden hem de tanelerden elde edilir ve enerji üretiminin yan ürünleri kağıt hamuru ve hayvan yemi olarak kullanılır (Fernandez ve Curt, 2005).Yapılan araştırmalara göre, tatlı sorgumun toplam biyokütlesinin yaklaşık %70–75'i sap, %10–15'i yaprak, %7'si tane ve %10'u kök kısmından oluşmaktadır. Bu tür, diğer sorgum türlerine göre belirgin biçimde daha yüksek şeker içeriğine sahiptir. Şekerin en fazla bulunduğu organ saplar olup, toplam şekerin yaklaşık %78,7'si sapta, %2,99'u salkımda ve %2,54'ü yapraklarda yer almaktadır. Sap kısmında 14'ten fazla şeker türü belirlenmiştir; bunlardan en yaygın olanları sakkaroz (~%75), fruktoz (~%2,6) ve eser miktarda bulunan glikozdur (Hatıl, 2019; Regassa ve ark., 2014).

Tatlı sorgum, toplam biyokütlesinin %78'ine kadar özsu (juice) biriktirebilmekte olup, Brix değeri genellikle %14 ile %23 arasında değişmektedir (Vinutha ve ark., 2014). Tatlı sorgum saplarındaki şeker konsantrasyonu, çözünebilir şeker oranını ifade eden Brix birimiyle ölçülür. Brix değeri; çeşide, çevresel koşullara, internod uzunluğuna, yetiştirme dönemine ve hasat aşamasına göre değişiklik göstermektedir (Qazi ve ark., 2012). Saplarda çözünebilir şeker birikimi, genellikle boğum arası uzamanın sona erdiği çiçeklenme döneminde artış göstermektedir. Bu nedenle tatlı sorgum, genellikle çiçeklenme başlangıcından yaklaşık 30 gün sonra hasat edilmektedir (Hoffmann-Thoma ve ark., 1996). Bununla birlikte, maksimum şeker birikimi çeşide bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bazı genotipler, hamur veya fizyolojik olgunluk aşamasında en yüksek şeker içeriğine ulaşırken; bazıları fizyolojik olgunluktan yaklaşık 15 gün sonrasına kadar şeker biriktirmeye devam etmektedir (Kumar ve ark., 2011).

4.5. Enerji ve Süpürge Sorgumu

Biyokütle sorgumu, sadece şeker veya etanol üretimi için değil, aynı zamanda doğrudan yakılarak ısı ve elektrik üretmek için de yetiştirilebilen çok amaçlı bir enerji bitkisidir. Bu nedenle enerji sektöründe alternatif ve sürdürülebilir bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Biyokütleden yenilenebilir yakıt üretimi, fosil yakıtlara olan aşırı bağımlılığı azaltmanın bir yolu olarak kabul edilmiştir (Taha ve ark., 2016). Biyoyakıt üretimi için ideal bir enerji ürünü olan tatlı sorgum, hızlı büyüyen ve yüksek biyokütle üreten tek yıllık bir C4 bitkisidir (Ahmad ve ark., 2018).

Süpürge darısı (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *technicum* (Körn.), uzun lifli, esnek ve sağlam yapıda panikulaya sahip olan ve süpürge yapımında kullanılan sorgum türüdür. Süpürge darısı günümüzde çiçek salkımı panikullarından süpürge yapmak için yetiştirilmektedir. Taneleri, özellikle kanatlı hayvanların beslenmesinde, sap ve yaprakları ise kâğıt sanayinde kullanılmaktadır (Balkan ve Gençtan., 2008)

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sorgumun biyolojik gelişimi, bitkisel özellikleri ve kullanım alanları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bulgular, sorgumun verim, besin içeriği ve çok yönlü kullanım açısından önemli bir bitki olduğunu göstermektedir. Sorgum, vejetatif evre, çiçeklenme ve tane doldurma evrelerinden geçerek, yaklaşık 50-180 günlük bir yaşam döngüsünü tamamlamakta olup, evrelerin süresi çeşit, ekim zamanı ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Taneleri glütensiz, dirençli nişasta ve çeşitli biyoaktif fenolik bileşikler açısından zengin olan sorgum, aynı zamanda fosfor, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve demir gibi minerallerle besin değeri yüksek bir tahıldır. Bu özellikleri ile insan beslenmesinde önemli bir kaynak olmasının yanı sıra, hayvan yemi, biyoyakıt, şeker üretimi ve endüstriyel amaçlarla da değerlendirilebilmektedir. Dane sorgum daha çok gıda ve yem amaçlı kullanılırken, silaj sorgum kurak ve yarı kurak bölgelerde mısırın yerini alabilecek bir yem kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Tatlı sorgum ise saplarındaki yüksek şeker oranı nedeniyle enerji ve şeker üretiminde değerlidir. Enerji ve biyokütle amaçlı sorgum çeşitleri ise yenilenebilir enerji üretiminde alternatif bir kaynak sunmakta, süpürge darısı ise sanayi amaçlı lif üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca sorgumun düşük su gereksinimi, farklı iklim koşullarına adaptasyonu ve yeniden büyüme kabiliyeti, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu doğrultuda, sorgumun potansiyelinden daha etkin yararlanılabilmesi için çeşit geliştirme, sulama ve gübreleme stratejilerinin optimize edilmesi, işleme tekniklerinin geliştirilmesi ve tarımsal eğitim programlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Ayrıca, kurak ve yarı kurak bölgelerde sorgum üretiminin teşvik edilmesi, hem su kullanımını azaltmak hem de ekonomik ve besinsel olarak sürdürülebilir üretim sağlamak açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Sonuç olarak, sorgum, besin ve enerji kaynağı olarak yüksek potansiyele sahip, çok yönlü bir bitki olup, uygun yetiştirme ve işleme yöntemleri ile sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği alanında önemli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Motagally, F. M. F. (2010). Evaluation of water use efficiency under different water regimes in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *World Journal of Agricultural Science*, 6(5), 499–505.
- Abreha, K. B., Enyew, M., Carlsson, A. S., Vetukuri, R. R., Feyissa, T., Motlhaodi, T., Ng'uNi, D., & Geleta, M. (2022). Sorghum in dryland: Morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*, 255, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03697-y>
- Afify, A. M. R., El-Beltagi, H. S., & Abd El-Salam, S. M. (2012). Effect of soaking, cooking, germination and fermentation processing on proximate analysis and mineral content of three white sorghum varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 40(2), 92-98. <https://doi.org/10.15835/nbha4027930>
- Afzal, M., Ahmad A. Ahmad, A.U.H. (2012). Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sorghum forage (*Sorghum bicolor* (L.) Moench Cv.) Under Three Cutting System. *Cercetări Agronomice în Moldova*. 4 (152). DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/v10298-012-0065-y>
- Ahmad Dar, R., Ahmad Dar, E., Kaur, A., & Gupta, P. U. (2018). Sweet sorghum—a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 4070-4090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>
- Akdeniz, H., Karşlı, M. A., Nursoy, H., & Yılmaz, İ. (2003). Tane sorgum çeşitlerinin besin madde kompozisyonu ve sindirilebilir kuru madde veriminin belirlenmesi. *Turk Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 27, 1349-1355.
- Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199-1221.
- Balkan, A., & Gençtan, T. (2008). Trakya bölgesinde yetiştirilen süpürge darısı (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *technicum* (Körn.)) genotiplerinin bazı agronomik özellikler yönünden değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(2), 163-168.
- Barkworth, M. E. (2006). The grass manual on the web. Utah State University. <http://www.herbarium.usu.edu/grassmanual/>

- Bean, B., McCollum, T., Ppietsch, D., Rowland, M., Porter, B., & Vanmetter, R. (2002). Texas Panhandle forage sorghum silage trial. The Agriculture Program of Texas A&M University System.
- Berenji, J., & Dahlberg, J. (2004). Perspectives of sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 332-338.
- Borrell, A. K., Hammer, G. L., & Henzell, R. G. (2000). Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. *Crop Science*, 40, 1037-1048.
- Borrell, A. K., Mullet, J. E., & George-Jae, B. (2014). Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. *Journal of Experimental Botany*, 65(21), 6251-6263.
http://jxb.oxfordjournals.org/open_access.html
- Brown, P. J., Klein, P. E., Bortiri, E., Acharya, C. B., Rooney, W. L., Kresovich, S. Inheritance of inflorescence architecture in sorghum, *Theoretical and Applied Genetics* 113(5), 931-942
- Codesido, V., Vacas, R., Macarulla, B., Gracia, M. P., & Igartua, E. (2013). Agronomic and digital phenotyping evaluation of sweet sorghum public varieties and F1 hybrids with potential for ethanol production in Spain. *Maydica*, 58, 42-53.
- Contreras-Govea, F. E., Marsalis, M. A., Lauriault, L. M., & Bean, B. W. (2010). Forage sorghum nutritive value: A review. *Forage and Grazinglands*, 25 January 2010.
- Cooper, M., Ghossein, C., Leafgren, R., Tang, T., & Messina, C. (2014). Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: Discovery to product. *Journal of Experimental Botany*, 65, 6191-6204.
- Çakır, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89, 1-6.
- Duodu, K. G., & Awika, J. M. (2019). Phytochemical-related health-promoting attributes of sorghum and millets. In *Sorghum and millets* (pp. 225-258). AACC International Press.
- Dykes, L. (2019). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Methods in Molecular Biology*, 1931, 121-140.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9039-9_9

- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2007). Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52(3), 105–111.
- Fernandez, J., & Curt, M. D. (2005). New energy crops for bioethanol production in the Mediterranean region. *International Sugar Journal*, 107(1283), 622-627.
- Hatıl, C. (2019). Sorgum otunun Kraft yöntemiyle kağıt hamuru üretim koşullarının belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Hoffmann-Thoma, G., Hinkel, K., Nicolay, P., & Willenbrink, J. (1996). Sucrose accumulation in sweet sorghum stem internodes in relation to growth. *Physiologia Plantarum*, 97(2), 277-284.
- IBPGR & ICRISAT. (1993). *Descriptors for sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]*. International Board for Plant Genetic Resources; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Karaali, A. (2018). Gıda güvenliği ve güvenilirliği. <https://aktasdis.com/blog/2018/10/12/artemiskaraali-ile-soylesi>
- Kırbaş, R. (2012). Samsun ekolojik koşullarında yetiştirilen bazı silajlık sorgum x Sudanotu çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kimber, C. T. (2000). Origins of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. In C. W. Smith & R. A. Frederiksen (Eds.), *Sorghum: Origin, history, technology, and production* (pp. 3-96). Wiley Series in Crop Science, New York.
- Kumari, P., Kumar, V., Kumar, R., & Pahuja, S. (2021). Sorghum polyphenols: Plant stress, human health benefits, and industrial applications. *Planta*, 254, 47. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03697-y>
- Li, R., Zhang, H., Zhou, X., Guan, Y., Yao, F., Song, G., Wang, J., & Zhang, C. (2010). Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 1-15.
- Liu, L., Herald, T. J., Wang, D., Wilson, J. D. D., Bean, S. R., & Aramouni, F. M. (2012). Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system. *Journal of Cereal Science*, 55, 31-36.

- Lynch, J. P. (2021). Root biology in the 21st century: Challenges and opportunities. *Annals of Botany*, 128, I–II. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab143>
- Marsland, N., & Parthasarathy Rao. (1999). Marketing of rainy and postrainy-season sorghum in Andhra Pradesh, Karnataka and Maharashtra. Working paper series no. 1, Socioeconomics and Policy Program, Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Miron, J., Zuckerman, E., Adin, G., Soloman, R., Shoshani, E., Shoshani, E., & Halachmi, I. (2007). Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 139, 23-39.
- Mocoeur, A., Zhang, Y. M., Liu, Z. Q., Shen, X., Zhang, L. M., Rasmussen, S. K., & Jing, H. C. (2015). Stability and genetic control of morphological, biomass and biofuel traits under temperate maritime and continental conditions in sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). *Theoretical and Applied Genetics*, 128(9), 1685-1701.
- Morris, G. P., Ramu, P., Deshpande, S. P., Hash, C. T., Shah, T., Upadhyaya, H. D., Riera-Lizarazu, O., Brown, P. J., Acharya, C. B., & Mitchell, S. E. (2013). Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(2), 453-458.
- Mutava, R. N., Prasad, P. V. V., Tuinstra, M. R., Kofoid, K. D., Yu, J. (2011). Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. *Field Crops Research*, 123, 10-18.
- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 47-65.
- Qazi, H. A., Paranjpe, S., & Bhargava, S. (2012). Stem sugar accumulation in sweet sorghum—activity and expression of sucrose metabolizing enzymes and sucrose transporters. *Journal of Plant Physiology*, 169(6), 605–613.
- QDAF. (2011c). Sorghum-Nutrition, irrigation and harvest issues. Queensland Department of Agriculture and Fisheries.

- Saballos, A., Vermerris, W., Rivera, L., & Ejeta, G. (2008). Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Bioenergy Research*, 1, 193-204.
- Serna, J., & Bergwitz, C. (2020). Importance of dietary phosphorus for bone metabolism and healthy aging. *Nutrients*, 12(10), 3001. <https://doi.org/10.3390/nu12103001>
- Silva, M. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. G., & Sharma, V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3), 193-201.
- Singh, V., Oosterom, E., Jordan, D., Messina, C., Cooper, M., & Hammer, G. (2010). Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize. *Plant and Soil*, 333, 287-299. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0343-0>
- Spenceley, J., Butler, G., Nicholas, A., Simpfendorfer, S., Holland, J., & Kniepp, J., et al. (2005). Grain sorghum. NSW Department of Primary Industries.
- Stichler, C., and Reagor, J.C. (2001). Nitrate and prussic acid poisoning, Amerillo, Texas Agricultural Extension Service Nr-L 5231 0601 4 Seiten.
- Taha, M., Foda, M., Shahsavari, E., Aburto-Medina, A., Adetutu, E., & Ball, A. (2016). Commercial feasibility of lignocellulose biodegradation: Possibilities and challenges. *Current Opinion in Biotechnology*, 38, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.02.012>
- Tiryaki, İ. (2016). Yoncada (*Medicago sativa* L.) kuraklık stresi ve toleranlık mekanizması. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(3), 296-305.
- Tiryaki, İ., & Andrews, D. J. (2001). Germination and seedling cold tolerance in sorghum. *Agronomy Journal*, 93, 1391–1397.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2013). *World population prospects: The 2012 revision, Volume II, Demographic profiles*.
- Undersander, D. J. ; Smith, L. H. ; Kaminski, A. R. ; Kelling, K. A. ; Doll, J. D., (2003). Sorghum forage. In: Alternative Field Crop Manual, University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension

- Vinutha, K. S., Rayaprolu, L., Yadagiri, K., Umakanth, A. V., Patil, J. V., & Srinivasa Rao, P. (2014). Sweet sorghum research and development in India: Status and prospects. *Sugar Tech*, 16(2), 133-143.
- Whitfield, M. B., Chinn, M. S., Veal, M. W. (2012). Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 362–375.
- Wiersema, J. H., & Dahlberg, J. (2007). The nomenclature of *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Gramineae). *Taxon*, 941-946.
- Wylie, P. (2010). Managing sorghum for high yields: A blueprint for doubling sorghum production. Grains Research and Development Corporation.
- Xiong, Y., Zhang, P., Warner, R. D., & Fang, Z. (2019). Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 2025–2046. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>
- Xu, H., Ding, A., Chen, S., Marowa, P., Wang, D., Chen, M., & Zhou, G. (2018). Genome-wide analysis of sorghum GT47 family reveals functional divergences of MUR3-like genes. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1773.
- York, L. M., Cumming, J. R., Trusiak, A., Bonito, G., von Haden, A. C., Kalluri, U. C., et al. (2022). Bioenergy underground: Challenges and opportunities for phenotyping roots and the microbiome for sustainable bioenergy crop production. *Plant Phenomics Journal*, 5, e20028.

BÖLÜM 8

TUZLULUĞUN TARIMSAL ÜRÜN KALİTESİ VE VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİRKA¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17681380>

¹ Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri bölümü, Orcid No: 0000-0001-6506-7407, Email: m_cirka@hotmail.com

GİRİŞ

Toprak tuzluluğu, özellikle tarımsal üretim açısından ciddi bir tehdit oluşturan çevresel stres faktörlerinden biridir. Küresel iklim değişikliği, yanlış sulama uygulamaları, drenaj yetersizliği ve yoğun tarımsal faaliyetler sonucunda topraklarda biriken tuzlar, tarım topraklarının verimliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, sadece mahsul veriminde düşüşe yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda gıda güvenliğini, çiftçilerin ekonomik refahını ve kırsal kalkınmayı da tehdit etmektedir (FAO, 2021). Tuzluluk, toprakta suda çözünmüş tuzların (özellikle sodyum, klorür, sülfat ve karbonat bileşikler) birikmesi sonucu meydana gelir. Bu birikim, bitkilerin su ve besin alımını sınırlandırmakta; ozmotik stres, iyon toksisitesi ve besin dengesizlikleri gibi çeşitli fizyolojik sorunlara neden olmaktadır (Munns ve Tester, 2008).

Tuzluluk sorunu dünya genelinde yaygın bir durumdadır. FAO'ya göre dünya genelinde yaklaşık 830 milyon hektar arazi tuzluluk sorunuyla karşı karşıyadır ve bu arazilerin büyük bir kısmı tarımsal üretim amacıyla kullanılmaktadır (FAO, 2021). Bu arazilerin yaklaşık 76 milyon hektarı sulanan tarım arazileridir ve bu oran küresel sulanan alanların %20'sini oluşturmaktadır (Qadir ve ark., 2014). Özellikle Hindistan, Çin, Pakistan, İran, Avustralya ve Orta Doğu ülkeleri gibi yarı kurak bölgeler, tuzluluk sorununun en yoğun yaşandığı alanlardır. Tuzluluk, sadece doğal süreçlerin sonucu olarak değil, aynı zamanda insan etkisiyle de gelişmektedir. Özellikle kontrolsüz ve aşırı sulama, suyun buharlaşması ile birlikte yüzeyde tuz birikimini teşvik eder. Ayrıca yer altı su seviyesinin yükselmesi, tuzlu yer altı sularının kapiler hareketle yüzeye çıkmasına neden olarak sorunu daha da derinleştirir (Rengasamy, 2010). Bu durum, tuzluluğun sadece çevresel değil, aynı zamanda yönetsel bir sorun olduğuna işaret eder.

Bu kitap bölümünde, tuzluluğun tarım ve tarım ürünleri üzerindeki etkileri çok boyutlu olarak ele alınacaktır. İlk olarak tuzluluğun toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilecek, ardından bitki gelişimi, verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkiler incelenecektir. Son olarak, tuzluluğa dayanıklı bitki çeşitleri, ıslah çalışmaları ve tuzlulukla mücadele stratejilerine yer verilecektir. Amaç, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için tuzluluğa dair bütüncül bir bakış açısı sunmaktır.

1. TUZLULUĞUN TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Toprak tuzluluğu, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Tuzluluk, özellikle suda çözünmüş tuzların (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- vb.) toprak çözeltisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmasıyla ortaya çıkar. Bu durum, toprak yapısını bozar, su geçirgenliğini azaltır ve bitki gelişimi için elverişsiz bir ortam yaratır

(Marschner, 2012). Tuzluluğun toprak özelliklerine etkileri, çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerde değişikliklere yol açarak toprak kalitesini ve tarımsal üretkenliği önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle, toprak tuzluluğu, organik karbon konsantrasyonlarını, mikrobiyal topluluk yapısını ve toprak enzim aktivitelerini etkiler (Xue ve ark., 2020; Li ve ark., 2022). Organik karbon, toprak yapısının ve su tutma kapasitesinin korunmasına yardımcı olur. Ancak, artan toprak tuzluluğu, organik karbon seviyelerini düşürebilir. Yükselen tuzluluk seviyeleri, toprağın fiziksel yapısını bozarak, kumlu topraklarda organik karbonun azalmasına ve bitki biyokütlesinin düşmesine neden olabilir (Xue ve ark., 2020).

Tuzluluğun bir diğer önemli etkisi, toprak mikrobiyal kompozisyonu üzerinedir. Tuz stresi, bakteriyel çeşitliliği düşürür ve degradasyon genlerinin ve toprak enzim aktivitelerinin baskılanmasına yol açar. Bunun sonucunda, toprak biyolojik aktivitesi ve genellikle bitki büyümesi olumsuz etkilenir (Li ve ark., 2022). Ek olarak, tuzlu topraklar üzerinde spesifik tuz-toleranslı mikroorganizmaların kullanılması, toprak kalitesini ve bitki büyümesini artırabilir. *Trichoderma harzianum* gibi mikroorganizmaların kompost ile beraber kullanılması, tuzlu toprakların mikrobiyal kalitesini iyileştirerek, bu tür toprakların restorasyonu ve rehabilitasyonunda etkili olabilir (Mbarki ve ark., 2016). Ayrıca, yüksek tuzluluk seviyeleri, toprak parçacıklarının flokülasyon ve yerleşim özelliklerini de etkiler. Tuzluluğun artışı, parçacıkların flocculation süresiyle daha hızlı yerleşmesine yol açabilir, ancak yüksek tuzluluk seviyeleri bu süreci kısıtlayarak toprak yapısını ve sağlık koşullarını olumsuz etkileyebilir (Zhu ve ark., 2018).

Tüm bu faktörler, tuzluluğun toprak üzerindeki çok yönlü etkilerini vurgulamakta ve bu tür streslerin toprak sağlığı, tarımsal verimlilik ve sürdürülebilir gıda üretimi üzerindeki potansiyel risklerini göstermektedir. Dolayısıyla, tuz stresini hafifletmek için uygun stratejilerin geliştirilmesi, bu çevresel sorunun yönetimi için kritik öneme sahiptir.

1.1. Fiziksel Özellikler

Tuzluluk, toprak agregatlarının bozulmasına ve toprağın sıkışmasına neden olur. Özellikle sodyum iyonu (Na^+), toprak kolloidlerinin yüzeyine adsorbe olarak disperse olmalarına neden olur ve toprağın su ve hava geçirgenliği düşer. Bu durum, toprakların infiltrasyon hızının azalmasına, su tutma kapasitesinin düşmesine ve yüzeyde kabuk oluşumuna yol açar (Rengasamy, 2010). Ayrıca, toprağın yoğunluğu artar ve köklerin toprak içerisinde yayılımı zorlaşır.

1.2. Kimyasal Özellikler

Tuzluluğun kimyasal etkileri, bitkilerin büyümesi ve gelişimi üzerinde önemli değişiklikler yaratır ve bu etkiler genellikle stres koşullarına bağlı olarak çeşitlenir. Tuzluluk, özellikle yüksek NaCl konsantrasyonları, bitkilerde ozmotik ve iyonik stres yaratabilir. Bu, hücresel seviyede su kaybına yol açarak bitkinin su dengesini bozar ve fotosentezi sınırlar (He ve ark., 2023). Ayrıca, tuzluluk oksidatif stres seviyesini artırarak bitkilerin hem enzimatik hem de non-enzimatik antioksidan savunma sistemlerini zorlayabilir. Belirli enzimlerin, özellikle süperoksit dismutaz ve glutatyon redüktaz gibi antioksidatif enzimlerin aktiviteleri artarken, bazı diğer enzim aktiviteleri, özellikle duyarlı çeşitlerde azalabilir (Chawla ve ark., 2012).

1.3. Biyolojik Özellikler

Tuzluluğun toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki etkileri de dikkat çekicidir. Yüksek tuz konsantrasyonu, toprak mikroorganizmalarının enzimatik aktivitelerini baskılar ve mikrobiyal çeşitliliği azaltır (Yan ve ark., 2015). Azot fiksasyonu, organik madde ayrışması ve fosfor mineralizasyonu gibi temel toprak fonksiyonları tuzluluk altında yavaşlar. Bu da bitki besin maddelerinin dönüşümünü ve erişilebilirliğini olumsuz etkiler.

2. TUZLULUĞUN BİTKİSEL ÜRETİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Toprak tuzluluğu, bitkisel üretimi hem doğrudan hem de dolaylı yollarla etkileyen çok yönlü bir çevresel stres faktörüdür. Bitkiler, tuzlu toprak koşullarında üç temel mekanizma üzerinden zarar görür: ozmotik stres, iyon toksisitesi ve besin dengesizlikleri. Bu etkiler, bitki gelişiminin farklı aşamalarında büyüme geriliğine, fizyolojik fonksiyonların bozulmasına ve nihayetinde verim kayıplarına neden olur (Munns ve Tester, 2008). Tuzluluğun bitkisel üretim üzerindeki etkileri, ciddi biçimde azalan verim ve ürün kalitesi ile kendini gösterir. Tuzlu topraklar, dünya tarım arazilerinin yaklaşık %20'sini etkileyen büyük bir sorun teşkil etmektedir ve bu durum bitki fotosentezini, protein ve lipid sentezini engelleyerek birçok ürünün verimini düşürmektedir (Paul ve Lade, 2014). Tuz stresi, bitki sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratır; bu süreçte bitkiler osmotik stres yaşar ki bu da bitki büyüme süreçlerini sekteye uğratır. Bu bağlamda, bitki gelişimini teşvik edici rizobakteriler (PGPR), tuzlu

topraklarda bitki büyümesini destekleyen umut verici bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. PGPR'ler, bitkilerin kök bölgesinde yer alır ve tuz stresine karşı direnç geliştirmelerinde bitkilere yardımcı olur. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerinin ürettiği belirli maddeler, bitkilerin stresli koşullardan daha az etkilenmesine yardımcı olabilir. Bu canlılar, bitkilerin kök ve sürgün büyümesini, besin alımını, klorofil içeriğini ve hastalıklara karşı direncini iyileştirir (Ilangumaran ve Smith, 2017; Dodd ve Perez-Alfocea, 2012). Ayrıca, bitki hormonları ve antioksidan enzimlerin üretimini sağlarken, hücre içine zararlı maddelerin girişini kontrol eder, bu da bitkiyi toksik iyon birikiminden korur (Sharma ve ark., 2021).

Biopriming olarak bilinen, spesifik mikroorganizmalarla yapılan tohum ön işlemleri, bitkilerin tuz koşullarındaki performansını artırabilir. *Bacillus* ve *Pseudomonas* gibi bakteriler, bitki köklerinin tuzluluğa karşı adaptasyonunu destekler ve bitkinin büyüme kapasitesini artırır (Khan ve ark., 2021). Bunun yanı sıra, biyoteknolojik uygulamalar da tuz stresine adaptasyonda etkili olabilir. Genetik ve moleküler çalışmalar, PGPR'lerin tuz toleransını artıran moleküler ağları nasıl etkilediğine dair önemli içgörüler sağlamaktadır. Bu çalışmalar, PGPR kullanılarak bitki büyümesinin nasıl optimize edilebileceğini ve bitkilere nasıl daha fazla stres toleransı sağlanabileceğini göstermektedir (Ilangumaran ve Smith, 2017).

Sonuç itibarıyla, tuzluluğun bitkisel üretim üzerine olan olumsuz etkilerini hafifletmek için rizobakteriyel inokülasyonun ve diğer biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması, sürdürülebilir tarım için umut vadeci stratejiler sunmaktadır. Bu stratejiler, tarla verimini artırabilir ve iklim değişikliği ile artan tuzluluk sorunlarına karşı dirençli tarım sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilirler.

2.1. Ozmotik Stres

Toprak çözeltisindeki yüksek tuz konsantrasyonu, bitkilerin kökleri yoluyla su alımını zorlaştırır. Tuzlu koşullarda toprak ile bitki arasındaki su potansiyeli farkı azalır, bu da suyun pasif olarak bitkiye geçişini engeller. Sonuç olarak bitki, su açlığı çeker gibi davranır ve stomalarını kapatarak terlemeyi azaltır. Bu durum fotosentez hızını düşürür, büyümeyi sınırlar ve su kullanım etkinliğini azaltır (Munns, 2002).

2.2. İyon Toksisitesi

Tuzlulukla birlikte toprakta özellikle sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonlarının birikimi gözlenir. Bu iyonlar, hücre içi iyon dengesini bozar ve zarların bütünlüğünü tehlikeye atar. Na^+ , özellikle potasyumun (K^+) yerini alarak enzimlerin çalışmasını engeller; Cl^- ise fotosentez sürecinde klorofil sentezini olumsuz etkileyebilir. Bu durum bitkide yaprak kenarlarında kuruma, sararma ve nekroz gibi semptomlara neden olur (Parida ve Das, 2005). Tuzun iyon toksisitesi, bitkiler üzerinde önemli bir zararlı etkidir ve özellikle NaCl gibi tuzların varlığı, bitkilerin iyon dengesinde bozulmalara yol açabilir. İyon toksisitesi, genellikle Na^+ ve Cl^- gibi iyonların aşırı birikimi ile gerçekleşir ve bu da bitkilerin su ve besin alımına müdahale eder. Sonuç olarak, bitkilerde büyüme geriliği, yaprak yanıkları ve sonunda ölüm meydana gelebilir. Yüksek tuz konsantrasyonları, bitki hücrelerinin su kaybetmesine yol açarak ozmotik stres yaratır ve bu da su alımını zorlaştırır. İyon toksisitesinin giderilmesi, tuzlu ortamlarda büyüyen bitkiler için kritik öneme sahiptir. Örneğin, dışsal silikon uygulamaları, bitkilerin Na^+ alımını azaltarak ve kök Na rezervasyonunu artırarak iyon toksisitesini hafifletebilir. Ayrıca, bitki morfolojisi ve kök ozmotik potansiyelinin düzenlenmesi yoluyla ozmotik baskı azaltılabilir (Yan ve ark., 2020). Bu tür yaklaşımlar, tuzlu koşullara maruz kalan bitkilerin daha iyi hayatta kalmasına yardımcı olabilir.

2.3. Besin Maddesi Dengesizlikleri

Tuzluluk, bitki köklerinin besin maddelerini alımını da zorlaştırır. Sodyum ve klorür iyonlarının fazlalığı, kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), potasyum (K^+), nitrat (NO_3^-) ve fosfat (PO_4^{3-}) gibi temel besinlerin alımını sınırlar. Ayrıca yüksek tuz stresinde pH değişimleri de bazı elementlerin (örneğin demir ve çinko gibi mikro besinler) erişilebilirliğini azaltabilir. Bu dengesizlikler, büyüme bozuklukları ve kalite kayıpları olarak yansır (Grattan ve Grieve, 1999). Tuz alımındaki artış, bitkilerde besin maddesi dengesizliklerine yol açarak çeşitli olumsuz etkiler yaratabilir. Tuz stres, hücrelerin su kaybına yol açarak osmotik stres yaratır ve bu durum, bitkilerin besin maddesi alımını ve taşınmasını bozabilir. Bu tür dengesizlikler, bitkilerde iyonların (örneğin, Na^+ , Cl^-) aşırı birikmesine ve Ca^{2+} , K^+ gibi diğer önemli besinlerin azalmasına neden olabilir. Örneğin, tuz yüklemesi sonucunda kalsiyum dengesizliği ortaya çıkabilir ve bu durum, bitkilerin hücre

duvarlarının yapısını ve fonksiyonlarını bozarak büyüme kusurlarına ve yapısal zayıflığa yol açabilir (Tiyasatkulkovit ve ark., 2021). Yüksek tuz alımı ayrıca, bitkilerde potasyum ve magnezyum gibi önemli minerallerin alımını engelleyebilir ve bu da besin dengesizliklerine ve bitki sağlığının daha da kötüleşmesine neden olabilir (Sellmeyer, 2002). Bu durum, bitki büyümesinde azalma, yapısal dayanıklılıkta bozulma ve genel verimlilikte düşüşle sonuçlanabilir. Ayrıca, tuzlu ortamlarda büyüyen bitkilerde görülen fitotoksik etkiler, bitkilerin normal metabolik süreçlerini bozabilir ve uzun vadede tarımsal üretkenliği tehdit eder.

2.4. Morfolojik ve Fizyolojik Etkiler

Tuzluluğun neden olduğu stres, bitki morfolojisinde de belirgin değişikliklere yol açar. Bitkilerde bodur büyüme, yaprak alanında azalma, kök gelişiminde gerileme ve erken yaprak dökümü sıkça gözlenir. Fizyolojik olarak ise fotosentetik pigmentlerde azalma, protein sentezinde bozulma ve oksidatif stresin artışı gibi belirtiler ortaya çıkar. Bu etkiler, bitki türüne ve gelişim evresine göre değişkenlik göstermekle birlikte genellikle toplam biyokütlede azalmaya neden olur (Zhu, 2001).

Tuzluluğun bitkiler üzerindeki morfolojik ve fizyolojik etkileri oldukça kapsamlıdır ve bitkilerin büyümesi ile gelişim süreçlerini önemli ölçüde etkiler. Tuz stresi, bitkilerde osmotik ve iyonik dengesizlikler, besin alımındaki bozukluklar ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi gibi fizyolojik değişikliklere yol açar. Örneğin, patates bitkisinde tuz stresi, osmoprotektanların (prolin, polioller ve glisin betain gibi) sentezlenmesi yoluyla stresin olumsuz etkileriyle başa çıkılmasına yardımcı olabilir (Chourasia ve ark., 2021). Tuzlu koşullara maruz kalan bitkilerde fotorespirasyon artışı ve düşük moleküler ağırlıklı antioksidanların (örneğin, α - tokoferol) sentezi gibi çeşitli ROS savunma mekanizmaları gelişir. Bu mekanizmalar arasında yaprak hücrelerinde iyon dengesinin korunması ve ozmotik düzenlemenin sağlanması yer alır (Yu ve ark., 2011). Ayrıca, tuz stresine karşı tolerans gösteren halofitik bitkiler, tuzlu ortamlarda hayatta kalabilme yetenekleri sayesinde araştırma anlamında önemli modeller oluşturur (Bartels ve Dinakar, 2013).

Genetik yaklaşımlar, tuz stresinin bitkilerdeki etkilerini hafifletmede de kullanılır. CRISPR/Cas9 teknolojisi kullanılarak yapılan çalışmalar, bitkilerin

tuz ve ozmotik streslere karşı daha toleranslı olmasını sağlayacak genetik değişikliklerin yapılabileceğini göstermektedir (Bouzroud ve ark., 2020). Bu tür çalışmalar, özellikle tarımsal üretimde kullanılabilir tuz toleranslı bitki çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlar.

3. TUZLULUĞA DAYANIKLI BİTKİ TÜRLERİ VE ISLAH ÇALIŞMALARI

Tuzluluk koşullarında bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak, hem ekolojik hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tuzluluğa dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi, modern tarımın temel stratejilerinden biri hâline gelmiştir. Doğal dayanıklılığa sahip türlerin tercih edilmesinin yanı sıra, genetik ıslah ve biyoteknolojik yöntemlerle yeni çeşitlerin geliştirilmesi de son yıllarda hız kazanmıştır (Flowers ve Colmer, 2008). Tuzluluğa dayanıklı bitki türleri ve ıslah çalışmaları, artan toprak tuzluluğu ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar karşısında tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için kritik öneme sahiptir. Tuzluluğa dayanıklı bitkiler, yani halofitler, doğal olarak yüksek tuzlu koşullara adapte olmuş bitkilerdir ve bu nedenle tuzlu topraklarda tarımsal ıslah çalışmalarında değerli bir gen kaynağı olarak görülmektedir (Mishra ve Tanna, 2017; Kumari ve ark., 2015).

Halofitlerin tuz tolere etme mekanizmaları, özellikle bazı genlerin ve protein ağlarının etkin koordinasyonu ile gerçekleşir. Bu bitkiler, tuz baskısıyla karşılaştıklarında fotosentez, stres/defans mekanizmaları ve karbonhidrat ve enerji metabolizması gibi çeşitli fizyolojik süreçleri koordine ederler (Kumari ve ark., 2015). Öne çıkan metabolitler arasında prolin, glisin betain, pinitol ve mannitol gibi osmotik aktif maddeler bulunur. Bu metabolitler, iyon ve su akışını kontrol ederek oksijen radikallerini temizlemeye yardımcı olurlar (Gil ve ark., 2013). Islah çalışmalarında, halofitlerden elde edilen genetik varlıklar kullanılarak, mahsul bitkilerine tuz dayanıklılığı kazandırmayı amaçlayan genetik mühendislik yaklaşımları uygulanabilmektedir. Halofitler özellikle antiporterler ve iyon taşıyıcıları gibi mekanizmalarla tuz toleransı sağlarlar (Mishra ve Tanna, 2017). Öte yandan, soya fasulyesi ve domates gibi ticari değere sahip bitkiler için de önemli ıslah çalışmaları yapılmaktadır. Soya fasulyesinin tuz toleransını artırmak için klasik ve yeni nesil genetik yaklaşımlar kullanılmakta, bu süreçte antiporterler, taşıyıcılar ve epigenetik

modifikasyonlar gibi başlıca moleküler unsurlar incelenmektedir (Feng ve ark., 2023). Domates gibi bitkilerde ise, yaban türlerinden elde edilen genetik çeşitlilik kullanılarak tuz ve kuraklığa dayanıklı hatlar geliştirme çabaları sürmektedir (Foolad, 2017).

İslah çalışmalarının başarısı, genetikçiler, fizyologlar, moleküler biyologlar ve ıslah uzmanlarının iş birliği yapmasının yanı sıra, bu çalışmalarda kullanılan genetik materyalin çeşitliliği ve üstün özellikleri ile doğru orantılıdır (Foolad, 2017). Bu tür stratejiler, tarımsal üretkenliği korumak ve artırmak için hayati öneme sahip olabilir.

3.1. Tuzluluğa Dayanıklı Bitki Türleri

Bazı bitki türleri, doğal olarak tuzlu ortamlarda yetismeye uyum sağlamışlardır. Bu bitkiler halofitler olarak adlandırılır ve tuzu tolere etme ya da aktif şekilde dışarı atma gibi fizyolojik mekanizmalara sahiptirler. Örnek olarak *Salicornia europaea*, *Atriplex spp.* ve *Suaeda spp.* gibi türler gösterilebilir (Rozema ve Flowers, 2008).

Tarım bitkileri içinde ise tuzluluğa daha dayanıklı olanlar şunlardır:

Arpa (*Hordeum vulgare*): Buğdaya göre daha fazla tuza toleranslıdır.

Pamuk (*Gossypium hirsutum*): Orta düzeyde tuzluluğa dayanıklıdır.

Şeker pancarı (*Beta vulgaris*): Özellikle kök gelişim aşamasında toleranslıdır.

Pirinç (*Oryza sativa*): Tuzluluğa duyarlı olmakla birlikte, bazı çeşitleri dayanıklılık göstermektedir (Gregorio ve ark., 2002).

Ayçiçeği ve darı gibi bazı yağ ve tahıl bitkileri: Belirli sınırlar içinde tuza dayanıklılık gösterebilirler. Tuzluluğa dayanıklı bitki türleri, genellikle halofitler olarak adlandırılır ve bu bitkiler, yüksek oranda tuz içeren topraklarda büyüyebilir. eHALOPH veritabanı, halofitlerin listelendiği, tuza dayanıklılık dereceleri, yaşama formları ve ekolojik gereksinimlerine dair bilgiler içeren bir kaynak olarak öne çıkmaktadır (Santos ve ark., 2015). Halofitlerin tuzlu ortamlarda hayatta kalabilme yetenekleri, tuz salgılayan bezlere sahip olmaları, iyon homeostazisini düzenleyebilmeleri, osmotik basıncı dengeleyebilmeleri ve reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonu gibi çeşitli fizyolojik adaptasyonlardan kaynaklanmaktadır (Meng ve ark., 2018).

Bazı umumlayıcı kullanımlar ve ekonomik potansiyelleri için önerilen tuza dayanıklı bitki türleri şunları içerir: gıda ürünleri, yem bitkileri, yakacak

temini, peyzaj düzenlemesi, brakis su kullanımı ve tuzla bozulan toprakların biyolojik iyileştirilmesi (Houérou, 1993). *Chenopodium album* gibi belirli halofit türleri, tohum dimorfizmi, sodyum dışlama ve potasyum tutma kapasiteleri ile tuz stresine karşı direnç gösterebilir (Tanveer ve Shah, 2017). Halofitlerin tuza dayanıklılığı, genetik mühendislik ve transgenik bitkilerin geliştirilmesinde önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu bitkilerden izole edilen ve diğer bitki türlerinde ifade edilen tuz-tepkili genler, tuz stresine karşı bitki direncini artırma potansiyeli taşıyan mekanizmalar sağlamaktadır (Borsani ve ark., 2003). Halofitlerin adaptif sıçramaları ve evrimsel yolları, çeşitliliği artırarak tuza dayanıklı türlerin geliştirilmesinde yol gösterici olabilir (Flowers ve ark., 2010).

3.2. Islah Çalışmaları

Tuzluluğa dayanıklılık, karmaşık ve çok genli bir özelliktir. Bu nedenle klasik ıslah yöntemlerinin yanında moleküler ve biyoteknolojik araçlar da kullanılmaktadır. Geleneksel ıslah, dayanıklı ebeveynlerle çaprazlama yapılarak tolerant çeşitlerin seçilmesini içerir. Ancak bu süreç uzun ve çevresel koşullardan etkilenebilir. Moleküler ıslah ise dayanıklılıkla ilişkili genlerin (örneğin HKT1, SOS1, NHX1 gibi iyon taşıyıcı genler) belirlenmesi ve bu genetik bilgilerin ıslah programlarına entegre edilmesiyle yürütülmektedir. Genetik mühendisliği ile bu genler uygun bitkilere aktarılmakta ve transgenik, tuza dayanıklı yeni çeşitler geliştirilmektedir (Zhu, 2003).

Tuzluluğa dayanıklı bitki türleri ve ıslah çalışmaları, artan toprak tuzluluğu ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar karşısında tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için kritik öneme sahiptir. Tuzluluğa dayanıklı bitkiler, yani halofitler, doğal olarak yüksek tuzlu koşullara adapte olmuş bitkilerdir ve bu nedenle tuzlu topraklarda tarımsal ıslah çalışmalarında değerli bir gen kaynağı olarak görülmektedir (Mishra ve Tanna, 2017; Kumari ve ark., 2015).

4. TUZLULUĞUN ÜRÜN KALİTESİ VE VERİME ETKİLERİ

Toprak tuzluluğu, yalnızca bitkisel gelişimi değil; aynı zamanda tarımsal ürünlerin verim ve kalite özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Bu durum, hem çiftçilerin ekonomik kazancını hem de tüketici sağlığını ve pazarlama olanaklarını önemli ölçüde belirler. Tuzluluğun etkileri ürün bazında farklılık

gösterse de, genel olarak üretim düşüşü, ürün bileşenlerinde bozulma ve ticari değer kaybı şeklinde özetlenebilir (Rengasamy, 2010).

4.1. Verim Üzerine Etkileri

Tuzluluk, tarımsal verim üzerinde olumsuz etkileri olan önemli bir çevresel stres faktörüdür. Toprakta tuz birikimi, bitki kökleri tarafından suyun emilimini engelleyerek bitki büyümesini kısıtlar ve bu da bitki veriminin düşmesine yol açar. Tuz stresi, bitkilerde osmotik baskı yaratarak iyon dengesizliğine neden olur ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini artırarak çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal sorunlara yol açar (Ahmed ve ark., 2024). Verim kayıplarına ek olarak, tuzluluk bitki büyüme oranlarını, kuru madde miktarını ve fotosentetik aktiviteyi azaltarak bitki sağlığını da olumsuz etkiler. Örneğin, tuz stresi altındaki buğday bitkilerinin kök ve sürgün uzunlukları, yaş ve kuru ağırlıkları önemli ölçüde azalabilir (Ayaz ve ark., 2022). Ayrıca, tuz stresi bitkilerin hastalıklara karşı direncini de düşürerek patojen saldırılarına karşı duyarlılığı artırabilir (Valencia-Marin ve ark., 2025). Bununla birlikte, mikrobiyal inokülasyonlar, özellikle halotolerant PGPR olarak bilinen bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler, bitkilerin tuzluluğa karşı toleransını artırabilir ve verimi iyileştirebilir. Bu bakteriler, bitkilerin kök bölgesinde doğal olarak bulunur ve tuz stresine karşı bitkiyi destekleyen testosteron benzeri bileşikler, antioksidanlar ve uçucu organik bileşikler üretir (İlyas ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2023). Ayrıca, tuza dayanıklı bakteriyel eksopolisakkaritler ve diğer biyolojik ajanlar, bitki büyümesini artırarak ve bitki patojenlerini baskılayarak büyümeyi destekler (Tewari ve Arora, 2014). Bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdiği biyolojik ve moleküler yöntemlerin yanında, bu tür biyoteknolojik yaklaşımlar, özellikle tuzlu topraklarda tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak için umut vaat etmektedir.

4.2. Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri

Çevresel stres faktörü olan tuzluluk, ürün kalitesi üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. Bitkisel üretimde, tuz stresi bitkilerin su ve besin alımını, iyon dengesini ve fotosentetik etkinliğini bozarak ürün kalitesini doğrudan etkiler. Örneğin, tuzluluk bitki boyu, taze ve kuru biyokütle gibi büyüme parametrelerini azaltırken, bitkilerdeki klorofil ve karotenoid içeriklerinin azalmasına yol açabilir (Khan ve ark., 2021). Tuz stresi ayrıca bitkilerin hormonal dengesizliklerine neden olabilir ve bu da bitkilerin

büyümesi ve gelişimini olumsuz yönde etkileyerek ürün kalitesini bozabilir (Waqas ve ark., 2018). Bitkilerde hormonların (örneğin, abscisic asit ve gibberellinler) yanlış dengesi sonucu fotosentezde bozulmalar, protein içeriğinde azalmalar ve fizyolojik stres belirtileri artar (Hamayun ve ark., 2015). Arbusküler mikorizal mantarlar ve biyoteknolojik uygulamalar (örneğin, biyokömür kullanımı), bitkilerin tuzluluk etkileriyle başa çıkmasına yardımcı olabilir ve fotosentez oranlarını artırarak bitki sağlığını ve ürün kalitesini iyileştirebilir (Peng ve ark., 2024). Ayrıca, *Trichoderma harzianum* gibi mikrobiyal inokulanlar, tohum biyoprimering yöntemiyle kullanıldığında tuz stresine karşı bitki dayanıklılığını artırabilir ve bu da büyüme ve ürün kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratabilir (Rawat ve ark., 2011).

Bu tür biyolojik müdahaleler, tuz stresine karşı bitkilerin direncini güçlendirerek ürün kalitesini korumaya yönelik umut vaat eden stratejiler olarak ortaya çıkmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak tuzluluğu, küresel ölçekte tarımsal üretimi tehdit eden en önemli çevresel stres faktörlerinden biridir. Hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde tarımsal sürdürülebilirlik açısından ciddi riskler ihtiva etmektedir. Artan nüfus ile birlikte azalan tarım arazileri ve iklim değişikliğinin etkileri göz önüne alındığında, tuzluluğun ivedilikle önlenmesi ve yönetimi daha da kritik hale gelmektedir.

Bu kitap bölümünde tuzluluğun nedenleri, bitkiler üzerindeki fizyolojik ve morfolojik etkileri, verim ve ürün kalitesi üzerindeki yansımaları ele alınmış; etkili yönetim stratejileri bilimsel veriler ışığında tartışılmıştır. Aşağıdaki öneriler, tarımda tuzluluğa karşı sürdürülebilir çözümlerin temelini oluşturabilir:

Entegre yaklaşımlar ele alınmalı ve benimsenmelidir. Tarımsal su yönetimi, toprak iyileştirme, uygun bitki seçimi ve genetik ıslah çalışmaları bir arada yürütülmelidir.

Çiftçilere yönelik eğitim ve yayım hizmetleri daha da artırılmalı ve yaygın hale getirilmelidir. Toprak analizi, sulama yönetimi ve uygun gübreleme gibi konular hakkında çiftçilerin bilgi düzeyleri araştırılmalı ve bu konuda bilgi düzeylerinin artırılması gereklidir.

Tuzluluğa dayanıklı yerel bitki çeşitlerine öncelik verilmeli ve konuda yeni çeşitler geliştirilmelidir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, biyoteknolojik yöntemlerle geliştirilen yeni çeşitler daha da desteklenmelidir. Bu kapsamda ulusal tarım politikaları yeniden yapılandırılmalı ve tuzluluğun etkilediği bölgeler için özel teşvik sistemleri, tarımsal destek programları ve arazi kullanım planlamaları uygulanmalıdır.

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında tuzlulukla ilgili ayrıntılı risk analizleri yapılmalıdır. Erken uyarı sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri ile riskli alanların takip edilmesi ve denetlenmesi sağlanmalıdır.

Tuzluluğa karşı mücadele, yalnızca bilimsel anlamda değil aynı zamanda sosyo-ekonomik bir yaklaşımla ele alınmalı ve değerlendirilmelidir. Bu sayede çevresel sürdürülebilirlik açısından kalıcı çözümler elde edilebilir ve tuzun yıkıcı etkilerinden azami ölçüde etkilenmek mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M., Decsi, K., & Tóth, Z. (2024). The Impact of Salinity on Crop Yields and the Confrontational Behavior of Transcriptional Regulators, Nanoparticles, and Antioxidant Defensive Mechanisms under Stressful Conditions: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 2654.
- Aobing He, Zhibo Ma, Yunfei Li, Chen Huang, Jean Wan Hong Yong, Jian Huang, Spatiotemporal, physiological and transcriptomic dynamics of wild jujube seedlings under saline conditions, *Tree Physiology*, Volume 43, Issue 5, May 2023, Pages 832–850.
- Ayaz, M., Ali, Q., Jiang, Q., Wang, R., Wang, Z., Mu, G., Khan, S. A., Khan, A. R., Manghwar, H., Wu, H., Gao, X., & Gu, Q. (2022). Salt Tolerant *Bacillus* Strains Improve Plant Growth Traits and Regulation of Phytohormones in Wheat under Salinity Stress. *Plants*, 11(20), 2769.
- Bartels, D., & Dinakar, C. (2013). Balancing salinity stress responses in halophytes and non-halophytes: a comparison between *Thellungiella* and *Arabidopsis thaliana*. *Functional Plant Biology*, 40(9), 819.
- Borsani, O., Botella, M. A., & Valpuesta, V. (2003). Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 73(2), 101–115.
- Bouzroud, S., Hu, G., Bendaou, N., Barbosa, M. A. M., Smouni, A., Rosa, B. L., Bouzayen, M., Fahr, M., Gasparini, K., Zouine, M., & Zsögön, A. (2020). Down Regulation and Loss of Auxin Response Factor 4 Function Using CRISPR/Cas9 Alters Plant Growth, Stomatal Function and Improves Tomato Tolerance to Salinity and Osmotic Stress. *Genes*, 11(3), 272.
- Chawla, S., Jain, S., & Jain, V. (2012). Tuzluluk, tuza toleranslı ve tuza duyarlı pirinç çeşitlerinde (*Oryza sativa* L.) oksidatif stres ve antioksidan sistemi indüklemiştir. *Bitki Biyokimyası ve Biyoteknoloji Dergisi*, 22(1), 27–34.
- Chourasia, K. N., Lal, M. K., Tiwari, R. K., Dev, D., Kardile, H. B., Patil, V. U., Kumar, A., Vanishree, G., Kumar, D., Bhardwaj, V., Meena, J. K., Mangal, V., Shelake, R. M., Kim, J.-Y., & Pramanik, D. (2021). Salinity Stress in Potato: Understanding Physiological, Biochemical and Molecular Responses. *Life*, 11(6), 545.

- Dodd, I. C., & Perez-Alfocea, F. (2012). Microbial amelioration of crop salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3415–3428.
- FAO. (2021). *Global map of salt-affected soils*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Feng, C., Gao, H., Zhou, Y., Jing, Y., Li, S., Yan, Z., Xu, K., Zhou, F., Zhang, W., Yang, X., Hussain, M. A., & Li, H. (2023). Unfolding molecular switches for salt stress resilience in soybean: recent advances and prospects for salt-tolerant smart plant production. *Frontiers in Plant Science*, 14(1).
- Foolad, M. R. (2017). Current Status Of Breeding Tomatoes For Salt And Drought Tolerance (pp. 669–700). Springer Netherlands.
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945–963.
- Flowers, T. J., Galal, H. K., & Bromham, L. (2010). Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37(7), 604.
- Gil, R., Bautista, I., Boscaiu, M., Vicente, O., Lull, C., & Lidón, A. (2013). Are soluble carbohydrates ecologically relevant for salt tolerance in halophytes? *Functional Plant Biology*, 40(9), 805.
- Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 127–157.
- Gregorio, G. B., Senadhira, D., Mendoza, R. D., Manigbas, N. L., Roxas, J. P., & Guerta, C. Q. (2002). Progress in breeding for salinity tolerance and associated abiotic stresses in rice. *Field Crops Research*, 76(2-3), 91–101.
- Hamayun, M., Waqas, M., Hussain, A., Irshad, M., Shahzad, R., Lee, I.-J., Iqbal, A., Rehman, G., Kim, H.-Y., Ullah, N., Khan, S. A., & Khan, A. L. (2015). Kinetin modulates physio-hormonal attributes and isoflavone contents of Soybean grown under salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, 6(e0012).
- Ilangumaran, G., & Smith, D. L. (2017). Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Amelioration of Salinity Stress: A Systems Biology Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 8(e110392).
- Ilyas, N., Mazhar, R., Iqbal, S., Dailin, D. J., Enshasy, H. E., Yasmin, H., & Khan, W. (2020). Rhizobacteria Isolated from Saline Soil Induce

- Systemic Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) against Salinity Stress. *Agronomy*, 10(7), 989.
- Kumar, V., Pandey, A. K., Raghuvanshi, N., Thoday-Kennedy, E., Kant, S., & Kumar, A. (2023). Role of Halotolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Mitigating Salinity Stress: Recent Advances and Possibilities. *Agriculture*, 13(1), 168.
- Kumari, A., Agarwal, P. K., Das, P., & Parida, A. K. (2015). Proteomics, metabolomics, and ionomics perspectives of salinity tolerance in halophytes. *Frontiers in Plant Science*, 6(R101).
- Khan, M. A., Sahile, A. A., Jan, R., Asaf, S., Hamayun, M., Imran, M., Adhikari, A., Kang, S.-M., Kim, K.-M., & Lee, I.-J. (2021). Halotolerant bacteria mitigate the effects of salinity stress on soybean growth by regulating secondary metabolites and molecular responses. *BMC Plant Biology*, 21(1).
- Le Houérou, H. N. (1993). Salt-tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone (pp. 403–422). Springer Netherlands.
- Li, Y., Li, Q., Li, T., Li, W., Song, F., Zhang, Q., Xing, Y., Fu, X., Wang, J., & Ji, L. (2022). Effects of Salinity on the Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Oilfield Soils Emphasizing Degradation Genes and Soil Enzymes. *Frontiers in Microbiology*, 12(7).
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Meng, X., Zhou, J., & Sui, N. (2018). Mechanisms of Salt Tolerance in Halophytes: Current Understanding and Recent Advances. *Open Life Sciences*, 13(1), 149–154.
- Mishra, A., & Tanna, B. (2017). Halophytes: Potential Resources for Salt Stress Tolerance Genes and Promoters. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Mbarki, S., Mahendra, R., Brestic, M., Abdelly, C., Pascual, J. A., & Cerdà, A. (2016). Vineyard Compost Supplemented with *Trichoderma Harzianum* T78 Improve Saline Soil Quality. *Land Degradation & Development*, 28(3), 1028–1037.

- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349.
- Paul, D., & Lade, H. (2014). Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 737–752.
- Peng, Z., Zhang, F., Yang, H., Wang, M., & Zulfıqar, T. (2024). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on photosynthetic characteristics of cotton seedlings under saline-alkali stress. *Scientific Reports*, 14(1).
- Qadir, M., Quill rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... & Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282–295.
- Rawat, L., Singh, Y., Kumar, J., & Shukla, N. (2011). Alleviation of the adverse effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum*. *Plant and Soil*, 347(1–2), 387–400.
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613–620.
- Rozema, J., & Flowers, T. J. (2008). Crops for a salinized world. *Science*, 322(5907), 1478–1480.
- Santos, J., Flowers, T. J., Al-Azzawi, M., & Aronson, J. (2015). eHALOPH a Database of Salt-Tolerant Plants: Helping put Halophytes to Work. *Plant and Cell Physiology*, 57(1), e10.
- Sellmeyer, D. E. (2002). Potassium Citrate Prevents Increased Urine Calcium Excretion and Bone Resorption Induced by a High Sodium Chloride Diet. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 87(5), 2008–2012.
- Tanveer, M., & Shah, A. N. (2017). An insight into salt stress tolerance mechanisms of *Chenopodium album*. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16531–16535.
- Tewari, S., & Arora, N. K. (2014). Multifunctional Exopolysaccharides from *Pseudomonas aeruginosa* PF23 Involved in Plant Growth Stimulation, Biocontrol and Stress Amelioration in Sunflower Under Saline Conditions. *Current Microbiology*, 69(4), 484–494.
- Tiyasatkulkovit, W., Charoenphandhu, N., Adulyarittikhul, P., Aksornthong, S., Aeimlapa, R., Rojviriya, C., Teerapornpuntakit, J., Panupinthu, N.,

- Upanan, P., & Wongdee, K. (2021). Excessive salt consumption causes systemic calcium mishandling and worsens microarchitecture and strength of long bones in rats. *Scientific Reports*, 11(1).
- Valencia-Marin, M. F., Chávez-Avila, S., Sepúlveda, E., Delgado-Ramírez, C. S., Meza-Contreras, J. J., Orozco-Mosqueda, M. D. C., De Los Santos-Villalobos, S., Babalola, O. O., Hernández-Martinez, R., & Santoyo, G. (2025). Stress-tolerant *Bacillus* strains for enhancing tomato growth and biocontrol of *Fusarium oxysporum* under saline conditions: functional and genomic characterization. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 41(3).
- Waqas, M., Ur Rehman, H., Yaning, C., Iqbal, S., Iqbal, H., Mahmood, S., & Shareef, M. (2018). Soil drenching of paclobutrazol: An efficient way to improve quinoa performance under salinity. *Physiologia Plantarum*, 165(2), 219–231.
- Xue, L., Ge, Z., Tian, B., Li, X., Craft, C., Zhang, Q., Jiang, J., & Yan, Z. (2020). Salinity Affects Topsoil Organic Carbon Concentrations Through Regulating Vegetation Structure and Productivity. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(1).
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), 316–323.
- Yan, G., Fan, X., Peng, M., Yin, C., Xiao, Z., & Liang, Y. (2020). Silicon Improves Rice Salinity Resistance by Alleviating Ionic Toxicity and Osmotic Constraint in an Organ-Specific Pattern. *Frontiers in Plant Science*, 11(281).
- Yu, J., Chen, S., Sun, G., Wang, T., Dai, S., Diaz, C., Yang, C., & Zhao, Q. (2011). Physiological and Proteomic Analysis of Salinity Tolerance in *Puccinellia tenuiflora*. *Journal of Proteome Research*, 10(9), 3852–3870.
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66–71.
- Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), 441–445.
- Zhu, Z., Xiong, X., Liang, C., & Zhao, M. (2018). On the flocculation and settling characteristics of low- and high-concentration sediment suspensions: effects of particle concentration and salinity conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 14226–14243.

BÖLÜM 9

TOPRAK ALTI AKSAMİ TÜKETİLEN SEBZELERDE TUZ STRESİNİN MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ETKİLERİ

Arş. Gör. Berna ERGUN ÇETİN¹

Doç. Dr. Faika YARALI KARAKAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17683065>

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bölümü, Kilis, Türkiye.
bernae.cetin@kilis.edu.tr, orcid id: 0000-0002-6399-0916

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bölümü, Kilis, Türkiye.
faikayarali@kilis.edu.tr, orcid id: 0000-0002-2176-8663

1. GİRİŞ

Stres, bitkilerin normal gelişimini olumsuz etkileyen, fizyolojik faaliyetlerini yavaşlatan ya da tamamen durduran çevresel etmenler olarak tanımlanmaktadır (Türkan, 2008; Doğan ve ark., 2024). Stres faktörleri biyotik ve abiyotik olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Biyotik stres faktörleri arasında bakteriler, virüsler, mantarlar ve böcekler yer alırken; abiyotik faktörler tuzluluk, kuraklık, aşırı su, yüksek ve düşük sıcaklık gibi çeşitli çevresel koşulları kapsamaktadır (Uçar ve ark., 2024). Tarımsal üretimde önemli kayıplara neden olan tuzluluk, özellikle sulama suyunun kalitesinin düşük olduğu ve drenaj koşullarının yetersiz kaldığı tarım alanlarında bitkisel üretimi kısıtlayan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir. Tuzluluk problemi; iklim değişikliği, hatalı tarımsal uygulamalar, artan insan faaliyetleri ve doğal süreçler nedeniyle giderek artmakta ve ürün verimliliğini ciddi ölçüde azaltmaktadır (Datta ve Behara, 2022; Erol, 2024; Öztürk ve ark., 2025).

Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri; hücre içi su potansiyelinin azalması, yüksek sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) iyonlarının dokularda birikmesine bağlı olarak potasyum (K^+) ve kalsiyum (Ca^{2+}) gibi temel besin elementlerinin alımının engellenmesi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışıyla oksidatif stresin oluşması ve bunun sonucunda fotosentez, klorofil ve protein sentezi ile kök ve sürgün büyümesinin olumsuz etkilenmesi şeklinde ortaya çıkmakta; ileri aşamalarda ise hücre ölümlerine neden olabilmektedir (Paranychianakis ve ark., 2005; Hancı ve Cebeci, 2015; Doğru ve Canavar, 2020).

Toprak altı aksamı tüketilen sebze türlerinde tuz stresi, ticari değeri olmayan kök ve yumru oluşumuna yol açarak pazarlanabilir verimin düşmesine neden olmaktadır (Machado ve Serralheiro, 2017). Birçok sebze türünün tuzluluk eşiğinin 2,5 dS/m'nin altında olduğu ve bu durumun özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde ciddi verim kayıplarına sebep olduğu bildirilmiştir (Snapp ve ark., 1991). Sebze türlerinin çimlenme aşamasında tuza daha hassas oldukları, buna karşın fide dönemi ve sonraki gelişme aşamalarında ise çeşit ve genotipe bağlı olarak tuza toleransın arttığı bilinmektedir (Lauchli ve Grattan, 2007). Kurak koşullarda topraktaki tuz konsantrasyonunun artması, bitki hücrelerinde ozmotik potansiyelin azalmasına ve kök bölgesinde ozmotik stresin oluşmasına neden olmaktadır (Hussain ve ark., 2013; Önder ve Uçar, 2021). Bu durum, özellikle toprak altı aksamı tüketilen türlerin doğrudan tuza maruz kalmasıyla, kök ve yumrularda belirgin fizyolojik ve morfolojik

bozulmaların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Nitekim Patel ve ark., (2020), toprak altı aksamı tüketilen sebzelerinin yüksek tuza maruz kalmaları sonucunda kök büyümesinin baskılandığını, yumru/kök hacmi ve sayısının azaldığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, toprak altı aksamı tüketilen sebze türlerinde tuz stresinin neden olduğu morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır; böylece tuzluluğun bitki büyümesi, verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Ayrıca bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri savunma mekanizmaları değerlendirilmiş ve tuz toleransının artırılmasına yönelik biyoteknolojik, fizyolojik ve yönetsel yaklaşımlar tartışılmıştır.

2. Toprak Altı Aksamı Tüketilen Sebze Türlerinde Tuz Stresinin Etkileri

2.1. Morfolojik ve Gelişimsel Etkiler

Toprakta bulunan yüksek tuz konsantrasyonu bitki köklerinin su alımını zorlaştırarak su kaybına, turgor basıncının düşmesine ve buna bağlı olarak hücre büyümesinin yavaşlamasına neden olmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Na^+ ve Cl^- iyonlarının özellikle kök dokularında aşırı birikmesi ise hücre zarının bütünlüğünü bozmakta ve enzim sistemlerinde ciddi tahribata yol açmaktadır (Parihar ve ark., 2015). Bu durum özellikle kök ve yumrusu tüketilen sebze türlerinde yumru ve kök oluşumunun olumsuz etkilemesine; ayrıca K^+ ve Ca^{2+} gibi temel besin elementlerinin taşınmasının engellenmesiyle yumru gelişiminde deformasyon ve küçülmelere neden olmaktadır (Koç ve ark., 2022). Tuz stresinin bitkiler üzerindeki morfolojik etkileri; çimlenme oranının düşmesi, kök, baş ve yumru oluşumu ile gelişiminin yavaşlaması, yaprak boyu ve yaprak sayısının azalması, bitki boyunun kısalması ile taze ve kuru ağırlık kayıpları şeklinde ortaya çıkmaktadır (Patel ve ark., 2020). Şavkan ve Çandar (2024), havuç, turp ve kırmızı pancar tohumlarında farklı tuz konsantrasyonlarının (25–150 mM NaCl) çimlenme ve fide gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, 150 mM tuz konsantrasyonunda havuç tohumlarının çimlenmediğini; buna karşın kırmızı pancar ve turp tohumlarının sırasıyla %36.67 ve %86.67 oranında çimlenme meydana geldiğini ve tuz stresinin fide döneminde bitki gelişimini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Jahan ve ark., (2019), yüksek tuzluluk

seviyelerinin havuç, şalgam ve pancarda kök uzunluğu, kök çapı ve toplam kök verimini önemli ölçüde azalttığını ifade etmişlerdir. Zhu ve ark., (2024) turpta 4.2 dS/m tuz konstantrasyonuna kadar kök çapı, kök uzunluğu, kök hacmi, kök ağırlığı ve kök/sürgün oranının artış gösterdiğini; Regessa ve ark., (2022) ise soğanda 4.1 dS/m tuz konsantrasyonuna kadar yaprak sayısı, yalancı gövde çapı, bitki boyu, yaprak uzunluğu ve genişliği, taze ve kuru ağırlık gibi morfolojik özelliklerin olumsuz etkilenmediğini, ancak daha yüksek tuz konsantrasyonlarında bu değerlerin belirgin bir şekilde gerilediğini bildirmişlerdir. Bernstein ve Ayers, (1953), tuz stresinin soğanda hasat tarihini öne çektiğini tespit etmişlerdir.

2.2. Fizyolojik ve Biyokimyasal etkiler

Bitkilerin tuz stresine verdikleri yanıtlar, tür, çeşit ve genotip farklılıklarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Stresin fizyolojik ve biyokimyasal etkileri; fotosentez hızı, hücre içi su içeriği, çözünür karbonhidratlar, protein ve aminoasit düzeyleri, kuaterner amonyum bileşikler, polioller, lipidler, iyon dengesi, hormon profili ve antioksidant enzim aktivitelerindeki değişimlerle ortaya çıkmaktadır (Mansour, 2000; Pedranzani ve ark., 2003; Hasanuzzaman ve ark., 2009; Garg ve Manchanda, 2009; Miller ve ark., 2010; Ahmad ve Sharma, 2010). Tuz stresinin fotosentez üzerine etkileri ise kısa ya da uzun dönemli olmak üzere iki şekilde görülmektedir. Kısa dönem etkiler stresin başlamasından birkaç saat veya 1-2 gün içinde ortaya çıkarken; uzun dönem etkiler stresin devam ettiği günler sonrasında belirgin hâle gelmektedir (Koç ve ark., 2022; Bozbuga ve ark., 2025). Tuz stresi, hücrelerde aktif oksijen türlerinin üretimini tetikleyerek başta mitokondri ve kloroplast olmak üzere birçok hücre elemanın faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir (Miller ve ark., 2010). Tuz stresi altında kök ve sürgünlerde su alımı azalmakta, buna bağlı olarak stomatal kapanma tetiklenmekte ve yaprak dokularına giren CO₂ miktarı önemli ölçüde düşmektedir. Bunun sonucunda klorofil ve karotenoid gibi fotosentetik pigmentlerin miktarında azalma görülmekte; besin elementi alımı, hücrel redoks dengesi, hücre büyümesi ve üreme süreçleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Flexas ve ark., 2006; Munns ve Tester, 2008; Doğru ve Canavar 2020; Zahedi ve ark., 2021; Sevgi ve Leblebici, 2023). Ayrıca, hücre yapısında yer alan proteinlerin ve lipidlerin yanı sıra nükleik asitlerin oksidasyonu yoluyla normal hücrel metabolizma

bozulmakta ve ciddi düzeyde oksidatif hasar oluşabilmektedir (Miller ve ark., 2010; Erol, 2024). Hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi ROS'ların birikimi, absisik asit (ABA) sentezinde ani artışa ve sürgün dokularında Na^+ ve Cl^- iyonlarının birikmesine neden olarak stomaların kapanmasına (Hedrich ve Shabala, 2018), karbonhidrat sentezinin azalmasına, şeker, nişasta ve kuru madde birikimini azaltarak verim kaybına sebep olmaktadır (Ahmad ve ark., 2021). Bitkiler tuz stresine tepki olarak antioksidan savunma sistemini harekete geçirmekte ve süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) gibi enzim aktivitelerini artırmaktadır (Erol ve Ermiş, 2025). Nitekim yapılan araştırmalar, tuz stresinin soğanda SOD aktivitesini (Correa ve ark., 2013), havuçta SOD, CAT ve POD aktivitelerini (Faiz ve ark., 2022; Mirrani ve ark., 2024; Sajid ve ark., 2025) ve turpta SOD, CAT, POD ile askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitelerini (Abeed ve ark., 2023) belirgin şekilde yükselttiğini ortaya koymuştur.

3. Tuz Stresine Karşı Toleransı Arttırma Yaklaşımları

Bitkilerde tuzluluğun olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla fizyolojik, biyokimyasal ve yönetsel düzeyde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tuz stresine karşı toleransın artırılmasında; uygun genotiplerin seçimi, farklı kimyasal ve biyolojik ajanlarla yapılan ön uygulamalar ile tarımsal yönetim pratikleri gibi çeşitli yaklaşımlar etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

3.1 Genotip/Çeşit Seçimi: Tuzluluğa karşı toleransı arttırmada en önemli ve pratik yöntem genotip/ çeşitlerin seçimidir. Aynı tür içerisinde yer alan farklı çeşit ve genotipler, tuz stresine karşı farklı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler gösterebildiğinden, tuzlu koşullarda yapılacak yetiştiricilikte bölgeye ve üretim amacına uygun genotip/çeşitlerin belirlenmesi kritik önem taşımaktadır. Nitekim yapılan araştırmalar, soğan genotiplerinin tuza tolerans seviyelerinin belirgin şekilde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur (Sanwal ve ark., 2022; Alam ve ark., 2023).

3.2 Ön Uygulamalar

Özellikle stres koşullarında çimlenmenin arttırılması, homojen fide çıkışının sağlanması ve çeşitli morfo-fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkilerin iyileştirilmesi amacıyla priming uygulamalarına başvurulmaktadır (Zulfigar, 2021). Bu kapsamda PEG, KNO_3 ve mannitol gibi bazı kimyasallar

maddelerin yanı sıra bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) de kullanılmaktadır (Kaymak ve ark., 2009). Bitkilerin tuz stresine karşı dayanıklılığını artırmak ve toprak tuzluluğunu azaltmak amacıyla toprak ve bitkiye PGPR, mikorizal fungus, nanopartikül ya da organik madde uygulamaları da yaygın biçimde tercih edilmektedir. Nitekim, tuz stresine maruz kalan bitkilerde stresin zararlı etkilerini hafifletmede PGPR uygulamalarının etkin bir şekilde kullanıldığı bir çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur (Yadav ve ark., 2021; Flores ve ark., 2023).

Yapılan araştırmalarda, tuz stresi altındaki havuçta deniz yosunu ve karrikinolide ile yapılan priming (Muhie ve ark., 2021), PGPR (Pellegrini ve ark., 2021) ve asetil salisik asit (ASA) uygulamalarının (Akbiyık ve Aktaş, 2022); turpta salisilik asit (Ulukapı ve ark., 2020; Nasırcılar ve ark., 2020) ve PGPR (Kaymak ve ark., 2009; Flores ve ark., 2023) uygulamalarının çimlenme oranını artırdığı ve bitki gelişimini olumlu etkilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde PGPR uygulamalarının soğanda bitki morfolojisini olumlu etkilediği (Amalia ve ark., 2025), bağıl klorofil içeriğini ve bağıl su içeriğini artırdığı (Kurniawan ve ark., 2025) saptanmıştır. Bunun yanı sıra, rizobakterilerin ve biyogübrelerin birlikte kullanımının, sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekleyerek ürünlerin raf ömrünü ve verimini artırdığı da bildirilmiştir (Kurniawan ve ark., 2025).

Tuza toleransı artırmaya yönelik olarak hem yapraktan hem de topraktan uygulanan nanopartiküllerin önemli etkileri bulunmaktadır (Ergun Çetin ve Yaralı Karakan, 2023). Nanopartikül uygulamalarının tuz stresine toleransı artırarak çimlenme, bitki gelişimi, fotosentez, antioksidan enzim aktivitesi ve iyon dengesinin korunması üzerinde olumlu etkiler sağladığı bildirilmektedir (Sing ve ark., 2025). Yapraktan uygulanan çinko oksit nanopartiküllerinin (ZnO NP) tuz stresi altındaki turpta yaprak alanı, fotosentetik elektron taşıma hızı, proton iletkenliği ve mineral madde içeriğini iyileştirdiği; buna karşın prolin, antosiyanin, flavonoid, SOD, APX gibi antioksidan enzim aktivitelerini azalttığı bildirilmiştir (Mahawar ve ark., 2024). Magnezyum oksit nanopartikülü (MgO-NP) uygulamasının ise havuçta tuz stresinin azaltılmasında etkili olduğu, morfolojik ve biyokimyasal parametreleri olumlu yönde geliştirdiği belirlenmiştir (Mirrani ve ark., 2024). Bununla birlikte, nanopartikül dozunun dikkatle belirlenmesi gerektiği; uygun dozun aşılması

durumunda bitki bünyesinde toksisiteye neden olabileceği vurgulanmaktadır (Sing ve ark., 2025).

Yapılan farklı araştırmalarda turpta melatonin uygulamasının tuz stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiği, büyüme ve verim parametrelerinde artış sağladığı (Ribeiro ve ark., 2024), sarımsak bitkisine salisilik asit (SA) uygulanmalarının büyüme performansı, verim ve kalite üzerine olumlu etkilerinin olduğu (Shama ve ark., 2016) ve askorbik asit uygulamalarının turpta bitki gelişimi ve fotosentetik aktiviteyi artırdığı (De- Sousa ve ark., 2018) bildirilmiştir.

3.3 Yönetimsel Yaklaşımlar

Sulama suyunun kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, toprak drenajının iyileştirilmesi ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması gibi çeşitli teknikler sayesinde tarım alanlarında tuz birikimi etkin bir şekilde kontrol altına alınabilmektedir (Tessema ve ark., 2022; Huan ve ark., 2024). Sulama suyu kalitesinin izlenmesi, tuzluluk yönetiminin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri yüksek olan suların uzun süre kullanımı toprakta Na^+ , Cl^- iyonlarının birikimine yol açmakta ve bu durum bitkisel üretimi olumsuz yönde etkilemektedir (Qadir et al., 2014). Tuzun bitki kök bölgesinden uzaklaştırılabilmesi için toprak drenajının iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Taban suyunun yüksek seviyede olması, bitki kök bölgesinde fazla suyun birikmesine yol açarak bitkilerin sağlıklı gelişimini olumsuz etkilemektedir (Karaoğlu ve Yalçın, 2018). Uygun drenaj sistemleri, toprak yüzeyinde veya toprak içerisinde biriken fazla suyun uzaklaştırılmasını sağlayarak optimum nem koşullarının korunmasına ve böylece bitki yetiştiriciliğinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır (Güngör ve ark., 2016). Kimyasal gübrelerin tuz içerikleri yüksek olduğundan, ihtiyaç fazlası kullanım durumunda toprakta tuz birikimini artırarak çeşitli sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle aşırı kimyasal gübre kullanımından kaçınılması bunun yerine yüksek saflıkta, klorür içermeyen ve düşük tuzluluk değerine sahip gübrelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca üretimde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için organik gübre kullanımına öncelik verilmesi önerilmektedir (Machado ve Serralheiro, 2017; Karaoğlu ve Yalçın, 2018; Kuzucu, 2019).

4. Sonuç

Tuzluluk, sebze üretimini sınırlandıran en önemli stres faktörlerinden biridir. Özellikle havuç, soğan, sarımsak ve turp gibi toprak altı aksamı tüketilen sebze türlerinde tuz stresi, yumru ve kök hacminde azalmaya, verim kaybına ve kalitenin düşmesine neden olmaktadır. Tuzluluğa karşı dayanıklılığın artırılmasında biyoteknolojik ve yönetimsel uygulamaların bir bütün olarak ele alınması büyük önem taşımaktadır. Uygun çeşit/genotip seçimi, tohum, toprak veya bitkiye yapılan uygulamalar ile bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin kullanımı, tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmada etkili stratejiler arasında yer alırken; melatonin, salisilik asit ve askorbik asit gibi fizyolojik düzenleyiciler ise antioksidan enzim aktivitelerini artırarak reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini hafifletmekte ve bitki savunma sistemini güçlendirmektedir. Ayrıca tuzluluk sorununu azaltmada damlama sulama sistemleri gibi uygun sulama tekniklerinin tercih edilmesi, drenaj koşullarının iyileştirilmesi, sulama suyu kalitesinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması etkili yöntemler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, tuzluluk probleminin yaşandığı bölgelerde toprak altı aksamı tüketilen sebze türlerinin üretiminin sürdürülebilir üretimi için “doğru genotip/çeşit, uygun yönetim stratejileri ve destekleyici uygulamaların” bütüncül bir yaklaşımla birlikte uygulanması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abeed, A. H., Saleem, M. H., Asghar, M. A., Mumtaz, S., Ameer, A., Ali, B. and Soudy, F. A. (2023). Ameliorative effects of exogenous potassium nitrate on antioxidant defense system and mineral nutrient uptake in radish (*Raphanus sativus* L.) under salinity stress. *ACS omega*, 8(25), 22575-22588.
- Ahmad, P. and Sharma, S. (2010). Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*M. alba*) under NaHCO₃ stress, *Int. J. Plant Produc.*, 4, 79-86.
- Ahmad, P., Raja, V., Ashraf, M., Wijaya, L., Bajguz, A., and Alyemeni, M. N. (2021). Jasmonic acid (JA) and gibberellic acid (GA₃) mitigated Cd-toxicity in chickpea plants through restricted cd uptake and oxidative stress management. *Scientific Reports*, 11(1), 19768.
- Akbıyık, C., and Aktaş, H. (2022). Asetil salisilik asit solüsyonlarında ön çimlendirmenin havuç tohumlarının tuz stresi altında çimlenme ve çıkışı üzerine etkileri. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(2), 62-68.
- Amalia, D. A. L., A'yun, S. H. Q., Ardian, M. N., and Purwanto, P. (2025). Potential of Rhizospheric Bacteria for Increasing Growth and Yield of Shallots (*Allium ascalonicum* L.) in Saline Soil. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 158, p. 03026). EDP Sciences.
- Alam, M. A., Rahman, M. A., Rahman, M. M., Hasan, M. M., Naher, S., Fahim, A. H. F., and Hossain, A. (2023). Performance valuation of onion (*Allium cepa* L.) genotypes under different levels of salinity for the development of cultivars suitable for saline regions. *Frontiers in plant science*, 14, 1154051.
- Bernstein, L. and A. D. Ayers, (1953). Salt Tolerance of Five Varieties of Onions. *Proc Am Soc Hort Sci* 62:367–37
- Bozbuga, R., Arıdıç Kara, P., Nilufer Yıldız, H., Gök Güler, P., Haydar Erol, Ü., Özgören, B., Bülent Arpacı, B. (2025). Plant Breeding for Tolerance to Biotic Stressors Including Nematodes, Diseases, and Insect Pests. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1011650
- Correa, N. S., J. M. Bandeira, P. Marini, I. C. Gouvea de Borba, N. F. Lopes and D. M. Moraes, (2013). Salt Stress: Antioxidant Activity as a

- Physiological Adaptation of Onion Cultivars. *Acta Botanica Brasilica* 27(2):394-399.
- Datta, P., and Behera, B. (2022). Climate change and Indian agriculture: A systematic review of farmers' perception, adaptation, and transformation. *Environmental Challenges*, 8, 100543.
- De- Sousa Basílio, A. G., Vieira de Sousa, L., da Silva, T. I., de Moura, J. G., de Melo Gonçalves, A. C., de Melo Filho, J. S., and Jardelino Dias, T. (2018). Radish (*Raphanus sativus* L.) morphophysiology under salinity stress and ascorbic acid treatments. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 257-265.
- Doğan, Y. L., Altuntaş, Ö., Yaşar, F., Üzal, Ö., ve Önder, S. (2024). Hidroponik Ortamda Yetiştirilen Tuz Stresi Altındaki Kabak Bitkilerine PGPR ve Deniz Yosunu Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 13(1), 77- 86.
- Doğru, A., ve Canavar, S. (2020). Bitkilerde Tuz Toleransının Fizyolojik ve Biyokimyasal Bileşenleri. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(1), 155-174.
- Ergun Çetin, B., ve Yaralı Karakan, F., (2023). Nanopartiküllerin *Allium* Türlerinde Kullanım Alanları. Editör: Burcu TUNCER, Tarımsal Üretim Disiplinlerinde Çok Yönlü Çalışmalar, 3;51-79, İksad yayınevi Ankara.
- Erol, Ü. H. (2024). Pepper fruits at different ripening periods have potential phyto-biochemical and enzymatic responses to irrigation levels. *Journal of Food Quality*, 2024(1), 9082436.
- Erol, Ü. H. (2024). Physicochemical and Color Changes During Fruit Ripening in Pepper Species (*C. annuum* L., *C. baccatum* L., and *C. chinense* Jacq.) Exposed to Salt Stress. *Bahçe*, 53(2), 71-79.
- Erol, U.H. and Ermiş, S. A (2025). Comparative Analysis of Phytochemical, Physio-Biochemical, and Enzymatic Responses of Different Capsicum Species (*Capsicum* spp.) to Salt Stress. *Russ J Plant Physiol* 72, 18.
- Güngör, Y., Erözel, Z., Öztürk, A. 2016. Drenaj Sistemlerinin Tasarımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı.
- Faiz, S., Yasin, N. A., Khan, W. U., Shah, A. A., Akram, W., Ahmad, A., and Riaz, L. (2022). Role of magnesium oxide nanoparticles in the mitigation of lead-induced stress in *Daucus carota*: modulation in polyamines and

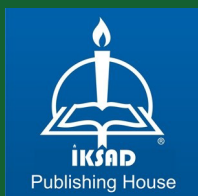
- antioxidant enzymes. *International Journal of Phytoremediation*, 24(4), 364-372.
- Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H. and Ribas-Carbó, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress, *Physiologia Plantarum*, vol. 127, no. 3, pp. 343-352, 2006.
- Flores Clavo, R., Valladolid-Suyón, E., Reinoza-Farroñan, K., Asmat Ortega, C., Riboldi Monteiro, P. H., Apaza-Castillo, G. A., ... and Carreño-Farfán, C. R. (2023). Rhizobacterial isolates from *Prosopis limensis* promote the growth of *Raphanus sativus* L. under salt stress. *Current microbiology*, 80(8), 269.
- Garg N. and Manchanda, G.(2009).ROS generation in plants: Boon or Bane”, *Plant Biosystems*, 143, 8-96.
- Hancı, F., ve Cebeci, E. (2015). Tuzluluk ve kuraklığın soğan yetiştiriciliğine etkisi. *Bahçe*, 44(1), 23-29.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Islam, M. N., Ahamed K. U. and Nahar, K. (2009). Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress, *IJB*, 6, 85- 90.
- Hedrich R. and Shabala, S. Stomata in a saline world, *Current opinion in plant biology*, vol. 46, pp. 87-95, 2018.
- Huang, T., Wang, Z., Guo, L., Li, H., Tan, M., Zou, J., and Dhital, Y. P. (2024). The impact of long-term mulched drip irrigation on soil particle composition and salinity in arid northwest China. *Agronomy*, 14(3), 599.
- Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Wahid M. A. and Afzal, I., (2013). Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil Environ*. 32(1): 36-43.
- Jahan, I., Hossain, M. M., and Karim, M. R. (2019). Effect of salinity stress on plant growth and root yield of carrot. *Progressive Agriculture*, 30(3), 263-274.
- Karaoğlu, M.,ve Yalçın, A. M. (2018). Toprak Tuzluluğu ve Iğdır Ovası Örneği. *Journal of Agriculture*, 1(1), 27-41.
- Kaymak, H. Ç., Güvenç, İ., Yaralı, F., Dönmez, M. F. (2009). The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(2), 173-179.

- Koç, F.N. Çetinkaya, H., ve Dinler, B. S. (2022). Bitkilerde Tuz Stresinin Etkileri, Savunma Cevapları Ve Sinyal İletim Yolu. Bitkilerde Abiyotik ve Biyotik Stres Yönetimi, İksat yayınları, 88-136.
- Kurniawan, A., Karyawati, A. S., Rahayu, A. P., and Maghfoer, M. D. (2025). Enhancing Shallot (*Allium cepa* L.) Resilience to Salt Stress Levels through the Application of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Goat Manure. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(4).
- Kuzucu, M. (2019). Effects of water harvesting and organic fertilizer on vineyard (*Vitis vinifera* L.) yield and soil moisture content under arid conditions. *Bangladesh Journal of Botany*, 48(4), 1115-1124.
- Lauchli, A.; Grattan, S.R. (2007). Plant growth and development under salinity stress. In *Advances in Molecular Breeding toward Drought and Salt Tolerant Crops*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 1–32.
- Machado, R. M. A., and Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Mahawar, L., Živčák, M., Barboricova, M., Kovár, M., Filaček, A., Ferencova, J., and Brestič, M. (2024). Effect of copper oxide and zinc oxide nanoparticles on photosynthesis and physiology of *Raphanus sativus* L. under salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108281.
- Mansour, M. M. F. (2000). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress, *Biol. Plant.*, 43, 491–500, 2000.
- Miller, G. A. D., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. U. L. T. A. N., and Mittler, R. O. N. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, cell and environment*, 33(4), 453-467.
- Mirrani, H. M., Noreen, Z., Usman, S., Shah, A. A., Mahmoud, E. A., Elansary, H. O., and Javed, T. (2024). Magnesium nanoparticles extirpate salt stress in carrots (*Daucus carota* L.) through metabolomics regulations. *Plant Physiology and Biochemistry*, 207, 108383.
- Muhie, S., Memiş, N., Özdamar, C., Gökdaş, Z., and Demir, I. (2021). Biostimulant priming for germination and seedling quality of carrot seeds under drought, salt and high temperature stress conditions. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(3), 352-359.

- Munns, R., and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651-681.
- Nasırcılar, A. G., Ulukapı, K., and Kurt, Z. (2020). Effects of salicylic acid on germination and vegetative growth properties of radish (*Raphanus sativus* L.) cultivars grown under drought stress conditions.
- Önder, S., ve Uçar, Ö. 2021. Tuz Stresinin Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Üzerindeki Etkileri ve Tuza Toleransı Artırmak için Yapılan Uygulamalar. 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary 19-20 June, Izmir-Turkey
- Öztürk, Z. N., Akpınar, A., Algharib, A. M., Cagirci, H. B., Filiz, E., Hussain, B., and Budak, H. (2025). Reframing Plant Stress Tolerance in the Era of Climate Change. In *Drought Stress: Review and Recommendations* (pp. 1-63). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (6): 4056-4075
- Patel, D., Jayswal, S., Solanki, H., and Maitreya, B. (2020). Effect of salinity on different vegetable crops—a review. *International Journal of Recent Scientific Research*, 11(2), 37418-37422.
- Paranychianakis, N.V.; Chartzoulakis, K.S. (2005). Irrigation of Mediterranean crops with saline water: From physiology to management practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106, 171–187.
- Pellegrini, M., Pagnani, G., Rossi, M., D'Egidio, S., Gallo, M. D., and Forni, C. (2021). *Daucus carota* L. seed inoculation with a consortium of bacteria improves plant growth, soil fertility status and microbial community. *Applied Sciences*, 11(7), 3274.
- Pedranzani, H., Racagni, G., Alemano, S., Miersch, O., Ramirez, I., Pena-Cortes, H., Taleisnik, MachadoDomenech E.E. and Abdala, G. (2003). "Salt tolerant tomato plants show increased levels of jasmonic acid", *Plant Growth Reg.*, 41, 149-158.
- Qadir, M., Quill  rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., and Noble, A. D. (2014) Economics of salt-induced land degradation and restoration. In *Natural resources forum* (Vol. 38, No. 4, pp. 282-295).

- Regessa, M., Gemechis, A., and Chala, E. (2022). Growth, physiology and yield of onion (*Allium cepa* L.) under salt stress. *Greener J. Agricultural Sci*, 12(2), 154-167.
- Ribeiro, J. E. D. S., Silva, A. G. D., Coêlho, E. D. S., Oliveira, P. H. D. A., Silva, E. F. D., Oliveira, A. K. D., ... and Barros, A. P. (2024). Melatonin mitigates salt stress effects on the growth and production aspects of radish. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28(4), e279006.
- Sajid, M., Ahmed, S., Sardar, R., and Yasin, N. A. (2025). Insight into polyethylene glycol-mediated physiochemical, nutritional, and antioxidative defense modulations in salt-stressed *Raphanus sativus* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 31(4), 659-674.
- Sanwal, S. K., Kesh, H., Kumar, A., Dubey, B. K., Khar, A., Roupael, Y., and Kumar, P. (2022). Salt tolerance potential in onion: Confirmation through physiological and biochemical traits. *Plants*, 11(23), 3325.
- Sevgi, B., ve Leblebici, S. (2023). Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri ve geliştirilen tolerans mekanizmaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(3), 1498-1516.
- Shama, A., Moussa, S., and Abo El Fadel, N. (2016). Salicylic acid efficacy on resistance of garlic plants (*Allium sativum*, L.) to water salinity stress on growth, yield and its quality. *Alexandria Science Exchange Journal*, 37(April-June), 165-174.
- Singh, A., Bol, R., Lovynska, V., Singh, R. K., Sousa, J. R., and Ghazaryan, K. (2025). Application of Nanoparticles for Salinity Stress Management and Biofortification in Wheat: A Review of Dual Approaches and Insights. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1592866.
- Snapp, S.S.; Shennan, C.; Bruggen, A.V. (1991). Effects of salinity on severity of infection by *Phytophthora parasitica* Dast., ion concentrations and growth of tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *New Phytol.* 119, 275–284.
- Şavkan, A.N., and Çandar, A. (2024). Tuz Stresinin Bazı Kök Sebze Türlerinde Çimlenme ve Erken Fide Gelişimi Üzerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(1), 60-69.

- Tessema, N., Yadeta, D., Kebede, A., and Ayele, G. T. (2022). Soil and irrigation water salinity, and its consequences for agriculture in Ethiopia: a systematic review. *Agriculture*, 13(1), 109.
- Türkan, G. (2008). Bitki fizyolojisi. Palme Yayınları No. 455, s.690, Ankara
- Uçar, Ö., Soysal, S., Erman, M., Çığ, F., ve Önder, S. (2024). Effects of Doses and Different Applications of Salicylic Acid on Salinity Stress and Plant Growth in Broad Beans (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 10(2), 238-256.
- Ulukapı, K., Nasırcılar, A. G., and Kurt, Z. (2020). Determination of salt tolerance levels of some radish cultivars and evaluation of the effectiveness of salicylic acid on germination in saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(3), 632-637.
- Yadav, V. K., Jha, R. K., Kaushik, P., Altalayan, F. H., Al Balawi, T., and Alam, P. (2021). Traversing arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* for carrot production under salinity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4217-4223.
- Yan, B., Deng, T., and Shi, L. (2024). Towards sustainable productivity of greenhouse vegetable soils: limiting factors and mitigation strategies. *Plants*, 13(20), 2885.
- Zahadi, S.M., Hosseini, M.S. Fahadi Hoveizeh, N., Gholami, R., Abdelrahman M. and Tran, L. S. P. (2021). "Exogenous melatonin mitigates salinity-induced damage in olive seedlings by modulating ion homeostasis, antioxidant defense, and phytohormone balance," *Physiologia plantarum*, vol. 173, no. 4, pp. 1682-1694.
- Zhu, H., Liu, M., Xu, H., Feng, D., and Sun, X. (2024). Effects of Salt Water on Growth and Quality of *Raphanus sativus* L. and Physiological Responses against Salt Stress. *Agronomy*, 14(6), 1190.
- Zulfiqar, F. (2021). Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 286, 110197.



ISBN: 978-625-378-393-8