



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

X

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Mustafa OKANT

Prof. Dr. Tahir POLAT



İKSAD
Publishing House

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR X

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Mustafa OKANT

Prof. Dr. Tahir POLAT

YAZARLAR

Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK

Prof. Dr. Ömer SÖZEN

Doç. Dr. Erol ORAL

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER

Doç. Dr. Neriman Tuba BARLAS

Doç. Dr. Osman Doğan BULUT

Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR

Doç. Dr. Ruziye KARAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR

Dr. Eray HARMAN

Dr. Naime Filiz KARADAŞ

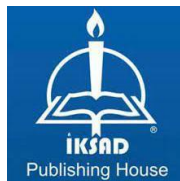
Dr. Sinan BAYRAM

Öğr. Gör. Selma TUNA KOÇOĞLU

Zir. Yük. Müh. Fehmi KOZVEREN

Zir. Yük. Müh. Mustafa YİĞİT

Zir. Müh. Emir Kulal ALTUNER



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: 978-625-378-269-6
Cover Design: İbraihm KAYA
July / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
-------------------	----------

BÖLÜM 1

BUĞDAY ISLAHINDA FOTOSENTEZ YÖNETİMİYLE VERİMİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR

Dr. Sinan BAYRAM.....	3
-----------------------	---

BÖLÜM 2

ORGANİK TARIM ATIKLARININ BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANIMI, HASTALIKLARLA MÜCADELEDE ETKİNLİĞİ VE EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKISI

Dr. Naime Filiz KARADAŞ

Doç. Dr. Osman Doğan BULUT.....	27
---------------------------------	----

BÖLÜM 3

MOR BUĞDAYIN GENETİĞİ VE ISLAHINA GENEL BİR BAKIŞ

Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR

Dr. Sinan BAYRAM

Zir. Yük. Müh. Fehmi KOZVEREN.....	49
------------------------------------	----

BÖLÜM 4

ORGANİK TARIM ATIKLARININ BALIKLARDA YEM KATKISI OLARAK KULLANIMI, SÜRDÜRÜLEBİLİR BESLEME YAKLAŞIMI

Dr. Naime Filiz KARADAŞ.....	83
------------------------------	----

BÖLÜM 5

ŞANLIURFA İLİ MERCİMEK ÜRETİM ALANLARININ SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Zir. Yük. Müh. Mustafa YİĞİT

Prof. Dr. Ömer SÖZEN.....	99
---------------------------	----

CHAPTER 6

ROLE OF BORON IN PLANTS

Assoc. Prof. Dr. Neriman Tuba BARLAS.....135

BÖLÜM 7

MAYA VE AZTEKLERİN MUCİZEVİ BİTKİSİ: CHİA VE TARIMI

Öğr. Gör. Selma TUNA KOÇOĞLU

Doç. Dr. Ruziye KARAMAN.....143

BÖLÜM 8

YAPAY ZEKANIN TARIM ALANINDA KULLANIMI

Doç. Dr. Erol ORAL

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR

Ziraat Müh. Emir Kulal ALTUNER.....165

CHAPTER 9

MONITORING AND EVALUATION OF IRRIGATION SCHEMES FOR ENHANCING WATER PRODUCTIVITY IN TÜRKİYE: TRENDS AND INNOVATIONS

Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK

Dr. Eray HARMAN.....179

ÖNSÖZ

Anadolu toprakları, binlerce yıldır tarıma ev sahipliği yapmış, bereketli hilalin önemli bir parçası olmuştur. Türkiye, coğrafi konumu, iklim çeşitliliği ve geniş tarım alanlarıyla dünyanın sayılı tarım ülkelerinden biridir. Ülkemiz, fındıktan incire, kayısıdan pamuğa kadar birçok üründe dünya lideri veya önemli üreticiler arasında yer almaktadır. Tarım, Türkiye ekonomisi için sadece gıda tedariki sağlamakla kalmaz, aynı zamanda istihdamın önemli bir kısmını karşılar ve milli gelire ciddi katkılar sunar.

Türkiye'de tarım sektörü, tarıma dayalı sanayinin gelişiminde de lokomotif görevi görmektedir. Tarımsal ürünlerin işlenmesi ve katma değerli hale getirilmesi, ihracat potansiyelini artırmakta ve ülkeye döviz girdisi sağlamaktadır. Ancak küresel ve bölgesel iklim değişikliği etkileri, su kaynaklarının doğru yönetimi, tarımsal girdilerin maliyeti ve genç nüfusun tarımdan uzaklaşması gibi faktörler, Türkiye tarımı için önemli zorluklar teşkil etmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için modern tarım tekniklerinin yaygınlaştırılması, sulama altyapısının geliştirilmesi, AR-GE faaliyetlerine yatırım yapılması ve çiftçilerin eğitimi desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, tarım, sadece bir ekonomik faaliyet değil, aynı zamanda kültürel mirasımızın, çevresel dengemizin ve geleceğe dair umutlarımızın da bir yansımasıdır. Dünya ve Türkiye ölçeğinde, tarımın sürdürülebilirliği ve geliştirilmesi, gıda güvenliğinin teminatı, ekonomik refahın anahtarı ve daha yaşanabilir bir dünya inşa etme yolunda atılacak en önemli adımlardan biridir. Bu önsöz, tarımın bu çok yönlü ve vazgeçilmez önemine dikkat çekmeyi amaçlamaktadır.

BÖLÜM 1

BUĞDAY ISLAHINDA FOTOSENTEZ YÖNETİMİYLE VERİMİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR¹

Dr. Sinan BAYRAM²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15850644>

¹ Iğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Iğdır, Türkiye. ozcan.caglar@igdir.edu.tr Orcid No: 0000-0002-7886-5157

² Sakarya Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Islah ve Genetik Bölümü, Serin İklim Tahılları Şubesi, Sakarya, Türkiye. sinan.bayram@tarimorman.gov.tr Orcid No: 0000-0002-1010-4263

1. FOTOSENTEZ

Kloroplastlar bitki büyümesi ve gelişiminde karbonu sabitlemenin yanında, ayrıca amino asitlerin, yağ asitlerinin sentezini denetlerler, patojenlere karşı bağışıklık tepkilerinden, klorofil veya karotenoidler gibi pigmentlerin sentezinden sorumludurlar ve çevresel uyaranlara yanıt verirler (Pogson ve ark., 2015). Işık enerjisi klorofil tarafından emildiğinde, kloroplastta adenozin trifosfat (ATP) ve nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADPH) moleküllerine dönüştürülür. Bu, tilakoid zarındaki elektron transfer reaksiyonları ve emilen enerjinin kemiosmotik mekanizma ve ATP sentaz yoluyla iletilmesiyle elde edilir. ATP ve NADPH daha sonra kloroplastın stroması içindeki Calvin Benson döngüsünü beslemek için kullanılır. Calvin Benson döngüsü, yavaş katalitik dönüşümü, fotorespirasyon yoluyla CO₂'yi geride bırakan oksijenle reaksiyonu ve ışık koşulları altında yavaş aktivasyonu nedeniyle fotosentezde önemli bir sınırlayıcı adım olan Ribulose-1,5-bisfosfat karboksilaz oksijenaz (Rubisco) enzimini içerir (Bobik ve Burch-Smith, 2015). Calvin Benson döngüsü, büyümeyi besleyen metabolik süreçler için anahtar olan heksoz şekerlerini sentezlemek için kullanılan 3 karbonlu trioz fosfatlar üretir. Bu nedenle radyasyonel güneş enerjisi, yaşam döngüleri boyunca bitki organlarında biyokütle biçiminde biriken C açısından zengin kimyasal bileşenlere dönüştürülür (Robles-Zazueta, 2022).

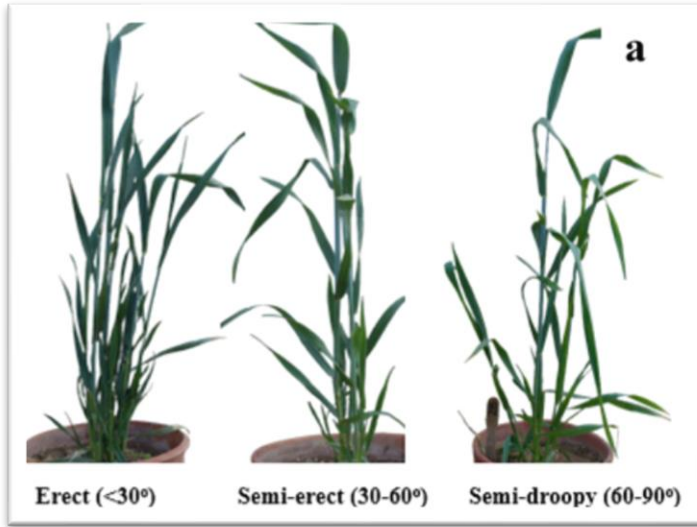
Fotosentez metabolik olarak karmaşıktır ve yaprak hücreleri arasında her karmaşıklık düzeyinde yüksek düzeyde düzenleme ve koordinasyon gerektirir. Fotokoruma, bitkilerin fotosistem II'nin fotoinaktivasyonunu ve oksidatif stresi önlemesine yardımcı olan bir dizi süreci ifade eder (Murchie ve Niyogi, 2011). Bu, fotokimyasal olmayan söndürme (NPQ) olarak adlandırılan bir süreçte aşırı uyarılma enerjisinin ısı olarak termal olarak dağıtılmasını içerir (Murchie ve Ruban, 2020). Stoma morfolojisi ve davranışı, fotosentezin bir diğer büyük bileşenidir. Gazların yaprağa difüzyonunu belirler ve toprak nemi veya ortam neminin fotosentezin su kaybı maliyetini desteklemek için yeterince yüksek olmayabileceğini hormonlar yoluyla algılayarak bitkinin farklı organlarıyla (yapraklar, kökler) koordineli olarak aşırı su kaybını sınırlar (Lambers ve ark., 2008).

İslah çabaları buğdayda (*Triticum aestivum*) birim alan başına verimini büyük ölçüde artırsa da yaprak fotosentez kapasitesi, bir çeşidin tescil edilip çiftçinin kullanımına sunulduğu yani piyasaya sürüldüğü yıl veya verimle

yakından ilişkili değildir (Silva-Pérez ve ark., 2020). Çalışmalar buğdayda bitki büyüme sürecinde ışık yoğunluğunun azaltılmasının Calvin döngüsüyle ilgili enzimlerin ve fotokorumayla ilgili proteinlerin üretimini azalttığını ancak ışık hasadı kompleksi (LHC, light-harvesting complex) proteinlerinin ve klorofilin üretimini artırdığını, dolayısıyla yüksek ışık altında yapraklardaki maksimum fotosentetik kapasiteyi azalttığını, ancak düşük ışık altında fotosentetik ışık kullanım verimliliğini artırdığını göstermiştir (Li ve ark., 2021). Takagi ve ark., (2019), PSI fotoinhibisyonunun duyarlılığındaki değişimlerin büyüme ışığı yoğunluğuna bağlı olarak buğday çeşitlerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

2. BUĞDAY VERİMİNDEKİ İLERLEME

Buğday verimi, biyokütle ve hasat indeksi iki ana bileşenine bağlıdır (Reynolds ve ark., 2009). Hasat indeksindeki iyileştirmeler için genetik potansiyelin buğdayda büyük ölçüde tükendiğine ve bunun sonucunda ürün biyokütlesinin önemli bir ıslah hedefi haline geldiğine inanılmaktadır (Parry ve ark., 2011). Son çeyrek asrı aşkın süredir buğday ürün verimindeki artış esas olarak daha yüksek yaprak alanı indeksine, yarı cüce mimariye ve daha dik yapraklara atfedilmiştir (Li ve ark., 2022).



Şekil 1. Yaprak-sap açısına göre kategorize edilen buğday genotipleri: dik (solda), yarı dik (ortada), yarı yatık (sağda) (Hakeem ve ark., 2023).

Yeşil Devrim sonrası buğday kazanımlarının artık yılda %0.5-%0.8 arasında olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bazı durumlarda birim alan başına

tane ağırlığındaki verimlerde düşüş vardır (Valluru ve ark., 2015). Yeşil Devrim sırasında, buğday iyileştirme için ıslah yaklaşımları, en çok dikkat çeken fizyolojik özellikleri hedef almıştır: Tanelerde tahsis edilen toplam biyokütle oranı (hasat indeksi, HI), pas gibi hastalıklara karşı direnç, asimilat üretimi-depo organı oranlarının manipüle edilmesiyle sonuçlanan biyokütlenin hasat edilebilir organlara daha verimli bir şekilde bölünmesi en öne çıkanlarıdır. Son olarak, yatmayı en aza indirmek için ıslahçılar, bitkinin ağırlık merkezini azaltmak ve gübrelemeye daha duyarlı hale getirmek için daha kalın saplar ve daha kısa bitkiler hedeflediler. Kanopi mimarisi, toprak yüzeyi birimi başına yaprak alanının (LAI) optimizasyonu, yaprak açısı ve büyüme döngüsü boyunca daha uzun süre yeşil kalabilen genotiplerin tercih edilmesiyle birlikte bir diğer geliştirme alanı olmuştur (Foulkes ve ark., 2011; Parry ve ark., 2011).

Birçok elit buğday genotipinde hasat indeksi için genetik potansiyel teorik olarak ~0.6 sınırına ulaşmıştır (bitki biyokütlesinin %60'ı hasat edilebilir dannedir) (Foulkes ve ark., 2011). Verim denklemi yalnızca hasat indeksi ve biyokütleyi faktör olarak içerdiğinden, son zamanlarda hasat indeksinden ödün vermeden buğday biyokütlesini iyileştirmeye büyük bir odaklanma olmuştur (Furbank ve ark., 2019).

Öte yandan, ısı ve kuraklık ortamlarında, su kullanım etkinliğini (terleyen su molekülleri başına fotosentez yoluyla sabitlenen karbon (C) miktarı, WUE) iyileştirmek amaçlanmaktadır. Yüksek WUE, daha düşük stoma iletkenliği (gs), daha yüksek kanopi sıcaklıkları ve azaltılmış fotosentez kapasitesi ile ilişkili olabilir. Bu nedenle optimum büyüme koşulları altında gaz değişiminde azalma olmayacağından emin olmak için diğer fizyolojik özellikler ile birlikte incelenmesi gereken bir özellik haline gelir (Robles-Zazueta, 2022).

Asimilat dağıtma özellikleri hariç, çoğu agronomik özellik teorik optimizasyona yakındır ve buğday verimini daha da artırmak için en iyi seçeneklerden birinin, kanopi radyasyon kullanım verimliliğini, fotosentez kapasitesini ve verimliliğini artırmak olduğu öne sürülmüştür (Evans ve Lawson, 2020). Ancak konu hakkındaki son incelemelerde, ürünlerde agronomik N kullanımını iyileştirmek (Sinclair ve ark., 2019) ve ürün verimine katkısını anlamak için başak, gövde ve kök gibi daha az çalışılmış bitki organlarını dahil etmek gibi diğer yollar önerilmiştir (Araus ve ark., 2021).

3. BUĞDAYDA KANOPI GELİŞİMİ, BİTKİ MİMARİSİ VE BİTKİ YAPISI

Modern buğday çeşitleri daha kısa bir boya, daha yüksek yaprak alanı indeksine ve daha dik yapraklara (özellikle bayrak yaprakları) sahiptir (Reynolds ve ark., 2011). Bu nedenle, bayrak yaprağın yüzeyindeki (kanopi tepesinde bulunan) ışık yoğunluğunun modern buğday çeşitlerinde azaldığını varsaymak mantıklıdır. Ancak, çok sayıda çalışma zaman içinde kanopi ışık dağılımındaki değişiklikleri incelemiş olsa da buğdayda yaprak yüzeyindeki ışık yoğunluğundaki değişikliklere odaklanan az sayıda sistematik çalışma vardır (Burgess ve ark., 2015).

Buğdayda fotosentetik kaynağın verimi artırmadaki rolü, kanopi gelişim sürecindeki aşamaya bağlıdır. Karbonhidrat birikimi, fotosentetik dokuların yaşlanmasına kadar çok erken büyüme aşamalarından başlar. Erken büyüme aşamalarında (kardeşlenmeden gebeleşme başlangıcına kadar) bitkinin hızlı büyüme için mümkün olduğunca fazla radyasyonu yakalaması, yeterince büyük bir generatif depo havuzunu ve besin edinimi amacıyla kök sistemini desteklemek için karbonhidrat rezervleri oluşturmak üzere yeterince yüksek bir LAI (3-5) (yaprak alan indeksi) oluşturması esastır. Çiçeklenme sonrası, hedef depo organ boyutu ve aktivitesi hem eş zamanlı fotosenteze hem de gövdelerde daha önce birikmiş yapısal olmayan karbonhidrat rezervlerine güvenerek verim oluşumunda önemli hale gelir (Saint Pierre ve ark., 2010). Bu önemlidir, çünkü generatif dönemde ısı veya kuraklık stresi gibi abiyotik stresler, başakçık sterilitesine neden olabilir, yaprak yaşlanma oranlarını hızlandırabilir ve verimde azalmaya neden olabilir (Moraga ve ark., 2022). Çiçeklenme sonrası ve tane dolumu sırasında buğday başaklarının aktivitesi, yapraktan başaklara doğru yönlendirilen kanopi fotosentezinin dinamiğini değiştirir ve başak fotosentezinin önemini gösterir (Sanchez-Bragado ve ark., 2020).

Kanopi mimarisi açısından, tam ışık tutumu (~%95) elde etmek için çiçeklenme öncesinde geniş yapraklı bir kanopinin tercih edilmesi istenmiştir. Buna karşın çiçeklenme sonrasında bayrak yapraklar, radyasyonun kanopiden daha kolay nüfuz etmesiyle fotosentezi, dolayısıyla biyokütle ve verimi artırdığı için istenir (Richards ve ark., 2019).

4. BUĞDAYDA FOTOSENTEZİ İYİLEŞTİRME YOLLARI

Yaprak fotosentezi, yaprak açısı, yatıklık, genişlik, uzunluk, kalınlık, bitki boyu ve diğerleri dahil olmak üzere mimari özellikler ve klorofil içeriği, Rubisco ve N içeriği, stoma ve mezofil iletkenliği, farklı ışık rejimlerine adaptasyon, aşırı ısının dağıtılması (yani fotokimyasal olmayan söndürme, NPQ), solunum, su kullanım etkinliği (WUE) ve fotosentez için fotosentetik N kullanım etkinliği (PNUE) gibi işlevsel birçok özellikten etkilenebilir (Foulkes ve Murchie, 2011). Son ikisi bitki için çok yüksek bir enerji maliyetine sahiptir (Murchie ve ark., 2018). Bunlar, ürün verimini artırmak için fotosentez iyileştirmeye uğraşan bilim dünyasının dikkatini çeken fizyolojik süreçler ve özelliklerdir. Uzun zamandır, buğday bitkisinin ışık/radyasyon kullanım etkinliğinin (RUE), enerjinin biyokütleye dönüşümünde azalmaya yol açan çoklu ölçeklerde meydana gelen metabolik "kayıplar" nedeniyle teorik verimliliğinin altında çalıştığı belirlenmiştir (Reynolds ve ark., 2012).

Fotosentez verimliliğini azaltan fotorespirasyonla rekabet etmek için Rubisco'nun CO₂'ye olan afinitesini ve katalitik oranını artırmak bir seçenektir (Sharwood, 2017). Bu, örneğin farklı ortamlarda Rubisco adaptasyonlarının katalitik varyasyonlarını tahmin etmek için eski türleri veya modern genotipleri inceleyerek Rubisco özelliklerindeki doğal varyasyondan yararlanılarak elde edilebilir (McAusland ve ark., 2020).

Fotosentez kapasitesini ve verimliliğini artırmak için bir diğer seçenek, C4 bitkileri tarafından kullanılan aynı karbon konsantrasyon mekanizmalarına (Kranz benzeri anatomi) sahip C3 bitkilerinin biyomühendisliğidir. Bu, buğdayın radyasyonu daha verimli bir şekilde kullanmasını sağlayacaktır; çünkü şu anda güneş enerjisinin verimli dönüşümü C4 bitkileri için yaklaşık %6 ve C3 bitkileri için yaklaşık %4.6'dır (Zhu ve ark., 2010). Bu, su ve azotun daha verimli bir şekilde kullanılmasını tetikleyebilir ve fotorespirasyonla rekabet nedeniyle fotosentezin verimsizliğini azaltabilir (Long ve ark., 2015).

Işık yakalama süresi, ışık mevcudiyetinin farklı zaman ölçeklerinde (örneğin saniyeler, saatler, günler, aylar) oldukça heterojen olması ve bu dalgalanmaların bitkilerin güvendiği ışık kalitesini düzenlemesi nedeniyle iyileştirilmesi gereken önemli bir özelliktir (Murchie ve Niyogi, 2011). Bitkiler bu değişkenlikle başa çıkmak için mekanizmalar geliştirdiler, örneğin saniyeler veya dakikalar içindeki değişiklikler için kısa süreli "hafıza" ışık geçmişi veya yaprakların yapısı ve stokiyometrisinde (kimyasal tepkimelerin öncesinde,

tepkime sırasında ve sonrasında reaktif ve ürünlerin miktarları arasındaki ilişki) uzun süreli değişiklikler (Retkute ve ark., 2015). Yararlanılabilecek diğer mekanizmalar kanopi toleransı ve kanopi içindeki "güneş ışığı" kaynağını verimli bir şekilde kullanabilen genotiplerdir (Murchie ve Reynolds, 2013). Örneğin orman tabanlarında büyüyen alt katman bitkilerinde güneş ışığının toplam günlük karbon kazanımlarının %60'ına kadarını temsil edebildiği bulunmuştur (Niinemets, 2010). Bu nedenlerden dolayı, fotosentezin dinamik tepkilerinde iyileşme durumu mevcut buğday genotiplerinin seçilmesinin önemli olduğu öne sürülmüştür (Kromdijk ve Long, 2016). Dahası, dinamik ışık altında stoma açıklığının daha hızlı düzenlenmesi, fotosentez kapasitesini ve verimliliğini artırmaya yardımcı olacaktır (Lawson ve Blatt, 2014). Kanıtlar, fotosentez ve stoma açıklığının dinamik ışık koşullarına tepkilerinin uyumlayabileceğini göstermektedir (Violet-Chabrand ve ark., 2017) ki bunlar senkronize edilirse buğday için önemli bir karbon kazanımı kaynağı olabilir. Ayrıca, "ışık hasadı anteni" boyutunun azaltılması, fotosentez oranlarını birkaç nedenden ötürü iyileştirebilir; bunlar muhtemelen fotosistem I ve II komplekslerinin doygunluğunu önleme yanında aynı zamanda da kanopi içindeki ışık dağılımını iyileştirmek içindir (Song ve ark., 2017).

Kanopi mimarisi, buğday verimini iyileştirmek için başka bir yoldur. LAI (yaprak alan indeksi) değerleri buğday kanopisi için optimum seviyesine ulaşmıştır (3-5 arasındaki değerler). Ancak LAI, bitki mimarisi, yaprak genişliği, yaprak uzunluğu ve yaprak açılarının gövdedeki konumlarına göre manipüle edilerek hala iyileştirilebilir. Bu, buğdayın kısa zaman ölçeklerinde yüksekten alçağa ve tam tersi ışık geçişlerine daha hızlı adapte olmasına yardımcı olacaktır (Murchie, 2017).

Daha yüksek LAI ve dik yapraklara sahip ürün alanları, küçük kanopiye sahip olanlardan daha fazla ışığı kesme kapasitesine sahiptir ve kanıtlar bu koşullarda daha yüksek biyokütle ve verim göstermektedir (Richards ve ark., 2019). Verimi artırmak için, bitki örtüsü mimarisinin ve bitki örtüsü içindeki azotun temel büyüme aşamalarında yeniden dağıtılması yoluyla optimize edilmesi gerekir: 1) fotosentez oranlarını en üst düzeye çıkarmak için gebeleşme başlangıcında ve hem başak hem de yaprak fotosentezini sürdürmek için tane dolumu sırasında (Sanchez-Bragado ve ark., 2020) ve 2) yeşil dokuları (yani fizyolojik olarak aktif dokuları) fizyolojik olgunluğa yakın tutmak için hasatta yeşil kalan genotiplerin seçilmesi (Thomas ve Ougham, 2014). Dik

uçlar ve gövdeler gibi kanopinin diğer organlarının manipölasyonları yakın zamanda ele alınmış , dik uçların alt ve orta katman yapraklar yaşlanmaya başladığında CO₂ alımında önemli bir rol oynayabileceği (Molero ve Reynolds, 2020) ve gövde fotosentezinin kanopi fotosentezini iyileştirmek için önemli bir hedef olabileceği gösterilmiştir (Simkin ve ark., 2020).

Modelleme ve CO₂ zenginleştirme çalışmalarından elde edilen kanıtlar, buğdayın RUE (ışık kullanım etkinliği, Radiation Use Efficiency) değerinin fotosentetik özelliklerde iyileştirme ile %50'ye kadar artırılabilirliğini göstermektedir ve buğdayda kullanılabilecek model bitkilerde ve diğer tahıl ürünlerinde fotosentetik iyileştirmeler için geniş ölçekli uluslararası çabalar vardır (Furbank ve ark., 2015). Buğdaydaki fotosentetik performanstaki genetik çeşitlilik üzerine yapılan birkaç araştırmada, CO₂ asimilasyon oranı ve stoma iletkenliği için nokta ölçümleri yapılmıştır. Bazı çalışmalar CO₂ asimilasyon oranının buğday genotipleri arasında çeşitlilik gösterdiğini ve verim ve piyasaya sürülme yılıyla pozitif bir korelasyon olduğunu gösterirken (Tang ve ark., 2017), bazıları çok az veya sıfır korelasyon bulmuşlardır (Sadras ve ark., 2012). Rubisco'nun büyük ve küçük alt birimlerindeki katalitik anahtarların belirlenmesi, buğday CO₂ asimilasyonunu iyileştirmek için yeni fırsatlar üretecektir (Furbank ve ark., 2020).

Buğdayda, başak ve çiçek sayısının nihai boyutu gelişimin erken evrelerinde belirlenir (Reynolds ve ark., 2009). Bu aşamada ve çiçeklenmede fotoasimilat üretimi, çiçek sayısını, çiçek verimliliğini ve nihai tane sayısını güçlü şekilde etkileyebilir (Broberg ve ark., 2019). Bu gelişim aşamasındaki asimilat depo organı (sink) ve üretim yeri (source) kapasitesi arasındaki koordinasyon, tarihi süreçte verimdeki iyileşmenin temelini incelerken “fotosentezin katkısını” asimilat depo organı gücünden ayırmayı güçleştirebilir (Furbank ve ark., 2019). Bu tür bir koordinasyon, artan fotosentez kapasitesi ve verimliliğinin, artan verime dönüşebileceğine dair umut sağlayabilir (Furbank ve ark., 2020).

5. BUĞDAYDA IŞIK KULLANIM ETKİNLİĞİ (RUE)

Bitki yaşam döngüsü boyunca üretilen biyokütle'nin %90'ından fazlası doğrudan fotosentetik ürünlerden kaynaklanır. Bu nedenle gelecekteki ürün verimindeki genetik ilerlemenin PAR'ın biyokütle'ye dönüşüm oranını artırmaya odaklanması gerekir. Bu dönüşüm oranı radyasyon kullanım etkinliği

(RUE) olarak bilinir ve ürün tarafından kesilen ışığı biyokütleye dönüştürme verimliliği olarak tanımlanabilir (radyasyon birimi başına biyokütle kütlesi, g/MJ) (Murchie ve Reynolds, 2013). Verim, radyasyonun (fotosentetik foton akısı yoğunluğu, PPFD olarak da bilinir), büyüme döngüsü boyunca kesilen radyasyonun oranının (ϵ), RUE'nin ve tane ağırlığı ile toplam ürün biyokütlesi arasındaki ilişkinin (hasat indeksi, HI) bir fonksiyonudur (Cabrera-Bosquet ve ark., 2016). RUE ile ilgili özellikler ve konu ile ilgili çalışmalar göz önüne alındığında en önemlilerinin, fotosentez kapasitesini ve verimliliğini artırmak, kanopi mimarisini iyileştirmek ve “hasatta yeşil kalan” genotipler yoluyla ışık yakalama süresini artırmak olacaktır (Amthor, 2010).

Buğdayda, CO₂ zenginleştirmesine yanıt olarak artan verimle ilgili kanıtlar (Ainsworth ve Long, 2005), RUE'de önemli iyileştirmenin hala mümkün olduğu fotosentezin önemini vurgulamaktadır (Zhu ve ark., 2010). Işık kullanım verimliliği, buğday genetik veriminin iyileştirilmesi için önemli bir yaklaşım olarak kabul edilir (Reynolds ve ark., 2012). Ancak, yüksek net CO₂ asimilasyon oranının tane verimindeki artışla ilişkili olup olmadığı tartışmalıdır (Zhou ve ark., 2014). Artırılmış CO₂ konsantrasyonlarından elde edilen kanıtlar, net CO₂ asimilasyon oranının artırılmasının biyokütle ve tane veriminde artışlara yol açtığını göstermiştir (Kheir ve ark., 2019). Teorik olarak, yakalanan ışığın biyokütleye dönüştürülmesinin verimi en az %50 oranında artırılabilceği tahmin edilmektedir (Zhu ve ark., 2008). Bu da fotosentezin, buğday veriminin iyileştirilmesi için önemli bir yol olabileceğini göstermektedir (An ve ark., 2022).

Buğdayda hem taç hem de yaprak seviyelerinde fotosentez ve tane verimi ile ilgili özellikler için büyük bir genetik çeşitlilik bulunmaktadır. Bunlar karmaşıktır ve kantitatif özellik lokusları (QTL) ve çevresel etkiler tarafından dinamik olarak düzenlenir (Li ve ark., 2014; Bhusal ve ark., 2018). Moleküler belirteçle doyurulmuş genetik bağlantı haritalarının mevcudiyeti, tane verimi ve fotosentetik özellikler gibi karmaşık özellikler için QTL'lerin tanımlanmasını desteklemektedir. Buğdayda, bir dizi QTL'nin klorofil, net CO₂ asimilasyon oranı, hücreler arası CO₂ konsantrasyonu ve stoma iletkenliği dahil olmak üzere bazı fotosentetik özellikleri düzenlediği bildirilmiştir (Su ve ark., 2006; Li ve ark., 2012).

Ayrıca, tane verimi ile ilişkili özellikler için çok miktarda QTL tespit edilmiş; bunlar arasında tane verimi, biyokütle, hasat indeksi, başak sayısı, tane

sayısı ve/veya bin tane ağırlığı yer almaktadır (Czyczyło-Mysza ve ark., 2011; Xu ve ark., 2017). Ek olarak, SBPase (Driever ve ark., 2017), Rubisco aktivaz (Saeed ve ark., 2016), Brassinosteroid Reseptörü (Fang ve ark., 2020) ve reseptör benzeri sitoplazmik kinaz kodlayan genler (Ying ve ark., 2020) gibi birkaç genin fotosentetik aktiviteyi düzenlediği bulunmuştur ki bunlar buğday genetik veriminin iyileştirilmesi için potansiyel hedefler olarak kabul edilmiştir. Aslında, fotosentez ve tane verimi ile ilişkili genlerin çoğu klonlanmamıştır ve bunlar şu anda genellikle QTL olarak temsil edilmektedir. Bu QTL'lerin çoğu, fotosentez ve tane verimi ile ilişkili özellikler arasındaki genetik ilişkiyi ortaya çıkarmakla sınırlı olan çeşitli koşullar altında farklı çift ebeveynli genetik popülasyonlar kullanılarak ayrı ayrı tespit edilmiştir (Cui ve ark., 2014; Gao ve ark., 2015; Barbour ve ark., 2016).

Chen ve ark., (2011), Çin kışlık buğday çeşidi Xiaoyan 54'ün yüksek düzeydeki ışık sebebiyle oluşan foto-oksidatif strese karşı önemli tolerans gösterdiğini ve stresli koşullar altında yüksek fotosentetik verimliliği açıkladığını göstermiştir. Ancak, birkaç dölde farklı fotosentetik özelliklerin piramitlenmesinin genetik temeli açık değildir ve bu durum buğdayda RUE (ışık kullanım etkinliği) ve dane verimini iyileştirmesi için seçim verimliliğini sınırlar (An ve ark., 2022).

Mevcut RUE ile ilişkili özelliklerdeki varyasyondan sorumlu genetik mekanizmaların tanımlanması, RUE'yi artırmak için basit bir strateji olabilir. İngiltere'de tarla koşullarında 64 kışlık buğday çeşidinin fotosentez oranlarında %33'lük bir fenotipik aralıkta değişim gözlemlendiği belirtilmiştir (Driever ve ark., 2014.) Molero ve ark., (2019), RUE'yi artırmak için egzotik buğday materyalinin (yerel ırk ve sentetik türev hatları) kullanımını önermiştir. Çeşitli fenolojik aşamalarda RUE ve biyokütle birikimi ile ilgili çoklu belirteç-özellik ilişkileri (MTA'lar), RUE ile fotokoruma arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir (Molero ve ark., 2019). Bu, fotokoruyucu pigmentlerin, fotosentetik mekanizmaya zarar veren serbest radikallerin yayılmasını önleyerek ürün döngüsü boyunca RUE'ye katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir (Joynson ve ark., 2021).

6. BUĞDAYDA FOTOSENTEZ İÇİN BİTKİ FENOTİPLEME VE MARKÖRLER

Tarımsal ortamlarda ürün performansının sınırlarını anlamak için tarlada fotosentezin fenotiplenmesi kritik öneme sahiptir (Carmo-Silva ve ark., 2017). Driever ve ark., (2014), başak çıkışından önce (Zadoks 4.3-4.5) bayrak yapraklarda yüksek ışık ve yüksek CO₂'de optimum koşullar altında ölçülen maksimum fotosentez oranları ile dane verimi arasında önemli bir korelasyon tespit edilemediğini bildirmişlerdir. Gaju ve ark., (2016) ise, tarla ürün sezonu boyunca beş adet İngiltere modern çeşidi, beş yerel ırk ve beş sentetik hekzaploid buğday hattı da dahil olmak üzere 15 genotip için yüksek ışık ve ortam CO₂' sinde tarlada ölçülen bayrak yaprağı fotosentez oranları ile tane verimi arasında güçlü bir pozitif ilişki tespit etmişlerdir. Bu gözlemler, tarlada gözlenen fotosentez oranlarının, maksimum fotosentez kapasitesinden ziyade tane verimine katkıda bulunduğuna işaret etmektedir (Lawson ve ark., 2012).

Yazlık ve kışık buğdayların bayrak yapraklarındaki asimilasyon oranının tek noktadan ölçümlerinin verim ve çeşidin tescil edilip çiftçinin kullanımına sunulduğu piyasaya sürüm yılı ile hem pozitif hem de negatif korelasyona sahip olduğu görülmüştür (Sadras ve ark., 2012; Gaju ve ark., 2016). Sağlam veya kopmuş başakların klorofil floresansının görüntülenmesi, buğday başaklarının fotosentetik kapasitesini tahmin etmek için bir alternatif sunar. Fotosentezin ve diğer enerji dağılım süreçlerinin ETR'ye (fotosentetik elektron taşıma oranı, photosynthetic electron transport rate) katkısı, bir dizi ışık yoğunluğunda klorofil floresansının söndürülmesi ölçülerek izlenebilir (Furbank ve ark., 2020).

Makine öğrenme algoritmaları, gaz değişimi ölçümleriyle elde edilen fotosentetik parametreleri tahmin etmek için buğday yapraklarından gelen hiperspektral sinyali çözebilir (Silva-Perez ve ark., 2018). Hiperspektral görüntüleme ve derin öğrenme (Hasan ve ark., 2018) veya sinir ağları (Qiongyan ve ark., 2017) ile görüntü analizleri kullanılarak başakları tespit etmek için mevcut yöntemlerin birleşimi, buğday başak fotosentezindeki genetik çeşitliliği belirlemede etkili olabilir (Furbank ve ark., 2020).

Illumina genotipleme platformları, bitki genetik kaynaklarının genetik çeşitliliğinin değerlendirilmesi için oldukça etkili bir araçtır (Soleimani ve ark., 2020). Silva-Pérez ve ark., (2020), buğdayda fotosentetik özellikler için genetik çeşitliliği inceleyen bir çalışmada, modellenmiş yaprak seviyesi

özelliklerindeki varyasyonun itici güçlerini tanımlamak için fotosentetik kapasite ve fotosentetik verimlilik kavramını ortaya koymuştur. Buğday için birkaç genotipleme dizisi tabanlı platform yayınlanmıştır (Ganal ve ark., 2019). İlk olarak, Cavanagh ve ark., (2013) 9.000 SNP içeren bir 9K Illumina iSelect SNP dizisi geliştirmiştir. 2014 yılında, Wang ve ark., (2014) 9K dizi teknolojisine dayalı bir 90K Illumina iSelect SNP dizisi bildirmiştir. Buğday genotiplemesi için üçüncü dizi tabanlı platform, Winfield ve ark., (2016) tarafından sunulan Affymetrix Axiom 820K SNP dizisi olmuştur. Bu dizi ile yalnızca heksaploid buğdayın genotipini belirlemek değil, aynı zamanda farklı kaynaklardan gelen introgresyonları tespit etmek ve izlemek de mümkün olmuştur. Bu 820K dizisinde kullanılan belirteçlerin bir alt kümesi daha sonra, özel olarak elit buğday germ plazmasını hedef alan Axiom 35K SNP dizisini geliştirmek için kullanılmıştır (Allen ve ark., 2017).

Molero ve ark., (2019) buğdayda biyokütle birikiminin ve RUE'nin (ışık kullanım etkinliği, Radiation use efficiency) genetik temelini genom çapında bir ilişki çalışması (GWAS, genome-wide association study) ile araştırmışlardır. Birçok yerel çeşit ve sentetik olarak geliştirilmiş hatlar da dahil olmak üzere 150 elit yazlık buğday genotipini, zaman içinde verim bileşenlerini ve biyokütle birikimini ölçmek ve tahmini yakalanan radyasyonla (intercepted radiation) birleştirmek gibi daha geleneksel yaklaşımlar kullanılarak incelemişlerdir. Belirteç-özellik ilişkisi, çeşitli büyüme aşamalarında RUE ve son biyokütle ile birlikte verim, agronomik ve fenolojiyle ilgili özelliklerle önemli ölçüde ilişkili 94 SNP belirlenmiş ve bu da fenotipik varyasyonun %7-17'sini açıklamıştır. 5A ve 7A kromozomlarında tane verimi, son biyokütle ve RUE için ortak SNP belirteçleri olarak belirlenmiştir. Birkaç QTL, reaktif oksijen detoksifikasyonu ve PSII'nin fotokorunması gibi fotosentezle ilişkili süreçlerde yer alan genleri kapsar bulunmuştur.

7. SONUÇ

Buğdayda asimilatların kullanılabilirliğini artırmak için kanopi fotosentezinin geliştirilmesi yoluyla ürün radyasyon kullanım verimliliğini (RUE, birim radyasyon başına üretilen kuru ağırlık biyokütlesi) ve verimi artırmak gerekir. Fotosentezin geliştirilmesi yoluyla ürün biyokütlesini ve radyasyon kullanım verimliliğini artırmak,

ana tarımsal ürün verimlerini iyileştirmek için en iyi seçeneklerden biri olarak sunulmuştur.

Fotosentez bitki verimliliğinin birincil belirleyicisi olmasına rağmen, önceki araştırmalar, birim yaprak alanı başına fotosentez hızı ile verim arasında güçlü bir pozitif ilişki için nadiren iyi kanıt sağlamıştır. Buğdaydaki çeşitliliği değerlendiren önceki çalışmaların çoğu, küçük germplazma setleri üzerinde sınırlı ölçümler içermiştir. Ancak, farklı deneysel yaklaşımların uygulanması nedeniyle, bu çalışmalarda mevcut olan bilgiler doğrudan karşılaştırılabilir değildir. Bu nedenle, fotosentez özelliklerinin mevcut buğday çeşitlerinde ne ölçüde değiştiği hala belirsizliğini korumaktadır.

KAYNAKÇA

- Ainsworth, E. A., & Long, S. P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165(2), 351-372.
- Allen, A. M., Winfield, M. O., BurrIDGE, A. J., Downie, R. C., Benbow, H. R., Barker, G. L., ... & Edwards, K. J. (2017). Characterization of a Wheat Breeders' Array suitable for high-throughput SNP genotyping of global accessions of hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Biotechnology Journal*, 15(3), 390-401.
- Amthor, J. S. (2010). From sunlight to phytomass: on the potential efficiency of converting solar radiation to phyto-energy. *New Phytologist*, 188(4), 939-959.
- An, Q., Li, C., Li, H., Zheng, Q., Li, B., & Li, Z. (2022). An analysis of the genetic relation between photosynthesis and yield-related traits in Wheat. *Agriculture*, 12(4), 560.
- Araus, J. L., Sanchez-Bragado, R., & Vicente, R. (2021). Improving crop yield and resilience through optimization of photosynthesis: panacea or pipe dream? *Journal of Experimental Botany*, 72(11), 3936-3955.
- Barbour, M. M., Bachmann, S., Bansal, U., Bariana, H., & Sharp, P. (2016). Genetic control of mesophyll conductance in common wheat. *New Phytologist*, 209(2), 461-463.
- Bhusal, N., Sharma, P., Sareen, S., & Sarial, A. K. (2018). Mapping QTLs for chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in wheat under heat stress. *Biologia Plantarum*, 62(4), 721-731.
- Bobik, K., & Burch-Smith, T. M. (2015). Chloroplast signaling within, between and beyond cells. *Frontiers in Plant Science*, 6, 781.
- Broberg, M. C., Högy, P., Feng, Z., & Pleijel, H. (2019). Effects of elevated CO₂ on wheat yield: non-linear response and relation to site productivity. *Agronomy*, 9(5), 243.
- Burgess, A. J., Retkute, R., Pound, M. P., Foulkes, J., Preston, S. P., Jensen, O. E., ... & Murchie, E. H. (2015). High-resolution three-dimensional structural data quantify the impact of photoinhibition on long-term

- carbon gain in wheat canopies in the field. *Plant Physiology*, 169(2), 1192-1204.
- Cabrera-Bosquet, L., Fournier, C., Brichet, N., Welcker, C., Suard, B., & Tardieu, F. (2016). High-throughput estimation of incident light, light interception and radiation-use efficiency of thousands of plants in a phenotyping platform. *New Phytologist*, 212(1), 269-281.
- Carmo-Silva, E., Andralojc, P. J., Scales, J. C., Driever, S. M., Mead, A., Lawson, T., ... & Parry, M. A. (2017). Phenotyping of field-grown wheat in the UK highlights contribution of light response of photosynthesis and flag leaf longevity to grain yield. *Journal of Experimental Botany*, 68(13), 3473-3486.
- Cavanagh, C. R., Chao, S., Wang, S., Huang, B. E., Stephen, S., Kiani, S., ... & Akhunov, E. (2013). Genome-wide comparative diversity uncovers multiple targets of selection for improvement in hexaploid wheat landraces and cultivars. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(20), 8057-8062.
- Chen, X., Li, W., Lu, Q., Wen, X., Li, H., Kuang, T., ... & Lu, C. (2011). The xanthophyll cycle and antioxidative defense system are enhanced in the wheat hybrid subjected to high light stress. *Journal of Plant Physiology*, 168(15), 1828-1836.
- Cui, F., Zhao, C., Ding, A., Li, J., Wang, L., Li, X., ... & Wang, H. (2014). Construction of an integrative linkage map and QTL mapping of grain yield-related traits using three related wheat RIL populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 127, 659-675.
- Czyczyło-Mysza, I., Marcińska, I., Skrzypek, E., Chrupek, M., Grzesiak, S., Hura, T., ... & Quarrie, S. (2011). Mapping QTLs for yield components and chlorophyll a fluorescence parameters in wheat under three levels of water availability. *Plant Genetic Resources*, 9(2), 291-295.
- Driever, S. M., Lawson, T., Andralojc, P. J., Raines, C. A., & Parry, M. A. J. (2014). Natural variation in photosynthetic capacity, growth, and yield in 64 field-grown wheat genotypes. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4959-4973.
- Driever, S. M., Simkin, A. J., Alotaibi, S., Fisk, S. J., Madgwick, P. J., Sparks, C. A., ... & Raines, C. A. (2017). Increased SBPase activity improves photosynthesis and grain yield in wheat grown in greenhouse

- conditions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372 (1730), 20160384.
- Evans, J. R., & Lawson, T. (2020). From green to gold: agricultural revolution for food security. *Journal of Experimental Botany*, 71(7), 2211-2215.
- Fang, J., Zhu, W., & Tong, Y. (2020). Knock-down the expression of brassinosteroid receptor TaBRI1 reduces photosynthesis, tolerance to high light and high temperature stresses and grain yield in wheat. *Plants*, 9 (7), 840.
- Foulkes, M. J., & Murchie, E. H. (2011). Optimizing canopy physiology traits to improve the nutrient utilization efficiency of crops. *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*, 65-82.
- Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Davies, W. J., Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Martre, P., ... & Reynolds, M. P. (2011). Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 469-486.
- Furbank, R. T., Jimenez-Berni, J. A., George-Jaeggli, B., Potgieter, A. B., & Deery, D. M. (2019). Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. *New Phytologist*, 223 (4), 1714-1727.
- Furbank, R. T., Quick, W. P., & Sirault, X. R. (2015). Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges. *Field Crops Research*, 182, 19-29.
- Furbank, R. T., Sharwood, R., Estavillo, G. M., Silva-Perez, V., & Condon, A. G. (2020). Photons to food: genetic improvement of cereal crop photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 71(7), 2226-2238.
- Gaju, O., DeSilva, J., Carvalho, P., Hawkesford, M. J., Griffiths, S., Greenland, A., & Foulkes, M. J. (2016). Leaf photosynthesis and associations with grain yield, biomass and nitrogen-use efficiency in landraces, synthetic-derived lines and cultivars in wheat. *Field Crops Research*, 193, 1-15.
- Ganal, M. W., Plieske, J., Hohmeyer, A., Polley, A., Röder, M. S. (2019). "High-Throughput Genotyping for Cereal Research and Breeding," in *Applications of Genetic and Genomic Research in Cereals* (Woodhead Publishing), 3-17.
- Gao, F., Wen, W., Liu, J., Rasheed, A., Yin, G., Xia, X., ... & He, Z. (2015). Genome-wide linkage mapping of QTL for yield components, plant

- height and yield-related physiological traits in the Chinese wheat cross Zhou 8425B/Chinese Spring. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1099.
- Hakeem, S., Ali, Z., Saddique, M. A. B., Merrium, S., Arslan, M., & Habib-ur-Rahman, M. (2023). Leaf wettability and leaf angle affect air-moisture deposition in wheat for self-irrigation. *BMC Plant Biology*, 23(1), 115.
- Hasan, M. M., Chopin, J. P., Laga, H., & Miklavcic, S. J. (2018). Detection and analysis of wheat spikes using convolutional neural networks. *Plant Methods*, 14, 1-13.
- Joynson, R., Molero, G., Coombes, B., Gardiner, L. J., Rivera-Amado, C., Piñera-Chávez, F. J., ... & Hall, A. (2021). Uncovering candidate genes involved in photosynthetic capacity using unexplored genetic variation in spring wheat. *Plant Biotechnology Journal*, 19(8), 1537-1552.
- Kheir, A. M., El Baroudy, A., Aiad, M. A., Zoghdan, M. G., Abd El-Aziz, M. A., Ali, M. G., & Fullen, M. A. (2019). Impacts of rising temperature, carbon dioxide concentration and sea level on wheat production in North Nile delta. *Science of the Total Environment*, 651, 3161-3173.
- Kromdijk, J., & Long, S. P. (2016). One crop breeding cycle from starvation? How engineering crop photosynthesis for rising CO₂ and temperature could be one important route to alleviation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283 (1826), 20152578.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer Science & Business Media.
- Lawson, T., & Blatt, M. R. (2014). Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiology*, 164(4), 1556-1570.
- Lawson, T., Kramer, D. M., & Raines, C. A. (2012). Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 215-220.
- Li, H., Lin, F., Wang, G., Jing, R., Zheng, Q., Li, B., & Li, Z. (2012). Quantitative trait loci mapping of dark-induced senescence in winter wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Integrative Plant Biology*, 54(1), 33-44.
- Li, H., Wang, G., Zheng, Q., Li, B., Jing, R., & Li, Z. (2014). Genetic analysis of biomass and photosynthetic parameters in wheat grown in different light intensities. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56(6), 594-604.

- Li, Y. T., Li, Y., Song, J. M., Guo, Q. H., Yang, C., Zhao, W. J., ... & Zhang, Z. S. (2022). Has breeding altered the light environment, photosynthetic apparatus, and photosynthetic capacity of wheat leaves? *Journal of Experimental Botany*, 73(10), 3205-3220.
- Li, Y. T., Yang, C., Zhang, Z. S., Zhao, S. J., & Gao, H. Y. (2021). Photosynthetic acclimation strategies in response to intermittent exposure to high light intensity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 181, 104275
- Long, S. P., Marshall-Colon, A., & Zhu, X. G. (2015). Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell*, 161(1), 56-66.
- McAusland, L., Viallet-Chabrand, S., Jauregui, I., Burrige, A., Hubbard-Edwards, S., Fryer, M. J., ... & Murchie, E. H. (2020). Variation in key leaf photosynthetic traits across wheat wild relatives is accession dependent not species dependent. *New Phytologist*, 228(6), 1767-1780.
- Molero, G., & Reynolds, M. P. (2020). Spike photosynthesis measured at high throughput indicates genetic variation independent of flag leaf photosynthesis. *Field Crops Research*, 255, 107866.
- Molero, G., Joynson, R., Pinera-Chavez, F. J., Gardiner, L. J., Rivera-Amado, C., Hall, A., & Reynolds, M. P. (2019). Elucidating the genetic basis of biomass accumulation and radiation use efficiency in spring wheat and its role in yield potential. *Plant Biotechnology Journal*, 17(7), 1276-1288.
- Moraga, F., Alcaíno, M., Matus, I., Castillo, D., & Del Pozo, A. (2022). Leaf and canopy traits associated with stay-green expression are closely related to yield components of wheat genotypes with contrasting tolerance to water stress. *Plants*, 11(3), 292.
- Murchie, E. H. (2017). Safety conscious or living dangerously: what is the 'right' level of plant photoprotection for fitness and productivity?. *Plant, Cell & Environment*, 40(8), 1239-1242.
- Murchie, E. H., & Niyogi, K. K. (2011). Manipulation of photoprotection to improve plant photosynthesis. *Plant Physiology*, 155(1), 86-92.
- Murchie, E. H., & Reynolds, M. (2013). Crop radiation capture and use efficiency. In P. Christou, R. Savin, B. A. Costa-Pierce, I. Misztal, & C.

- B. A. Whitelaw (Eds.), *Sustainable Food Production* (pp. 591–614). Springer.
- Murchie, E. H., & Ruban, A. V. (2020). Dynamic non-photochemical quenching in plants: from molecular mechanism to productivity. *The Plant Journal*, 101(4), 885-896.
- Murchie, E. H., Kefauver, S., Araus, J. L., Muller, O., Rascher, U., Flood, P. J., & Lawson, T. (2018). Measuring the dynamic photosynthome. *Annals of Botany*, 122(2), 207-220.
- Murchie, E. H., Townsend, A., & Reynolds, M. (2019). Crop radiation capture and use efficiency. In *Crop Science* (pp. 73-106). Springer, New York, NY.
- Niinemets, U. (2010). A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. *Ecological Research*, 25, 693-714.
- Parry, M. A., Reynolds, M., Salvucci, M. E., Raines, C., Andralojc, P. J., Zhu, X. G., ... & Furbank, R. T. (2011). Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 453-467.
- Pogson, B. J., Ganguly, D., & Albrecht-Borth, V. (2015). Insights into chloroplast biogenesis and development. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1847(9), 1017-1024.
- Qiongyan, L., Cai, J., Berger, B., Okamoto, M., & Miklavcic, S. J. (2017). Detecting spikes of wheat plants using neural networks with Laws texture energy. *Plant Methods*, 13, 1-13.
- Retkute, R., Smith-Unna, S. E., Smith, R. W., Burgess, A. J., Jensen, O. E., Johnson, G. N., ... & Murchie, E. H. (2015). Exploiting heterogeneous environments: does photosynthetic acclimation optimize carbon gain in fluctuating light ?. *Journal of Experimental Botany*, 66(9), 2437-2447.
- Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S. C., Furbank, R. T., Manès, Y., Mather, D. E., & Parry, M. A. (2011). Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 439-452.
- Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., ... & Slafer, G. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 35(10), 1799-1823.

- Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A., Snape, J. W., & Angus, W. J. (2009). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(7), 1899-1918.
- Richards, R. A., Cavanagh, C. R., & Riffkin, P. (2019). Selection for erect canopy architecture can increase yield and biomass of spring wheat. *Field Crops Research*, 244, 107649.
- Robles-Zazueta, C. A. (2022). *Evaluating wheat for genetic variation in radiation use efficiency: scaling traits from leaves to canopies* (Doctoral dissertation, University of Nottingham). United Kingdom.
- Sadras, V. O., Lawson, C., & Montoro, A. (2012). Photosynthetic traits in Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. *Field Crops Research*, 134, 19-29.
- Saeed, I., Bachir, D. G., Chen, L., & Hu, Y. G. (2016). The expression of TaRca2- α gene associated with net photosynthesis rate, biomass and grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. *PLoS One*, 11(8), e0161308.
- Saint Pierre, C., Trethowan, R., & Reynolds, M. (2010). Stem solidness and its relationship to water-soluble carbohydrates: association with wheat yield under water deficit. *Functional Plant Biology*, 37(2), 166-174.
- Sanchez-Bragado, R., Vicente, R., Molero, G., Serret, M. D., Maydup, M. L., & Araus, J. L. (2020). New avenues for increasing yield and stability in C3 cereals: exploring ear photosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 223-234.
- Sharwood, R. E. (2017). Engineering chloroplasts to improve Rubisco catalysis: prospects for translating improvements into food and fiber crops. *New Phytologist*, 213(2), 494-510.
- Silva-Pérez, V., De Faveri, J., Molero, G., Deery, D. M., Condon, A. G., Reynolds, M. P., ... & Furbank, R. T. (2020). Genetic variation for photosynthetic capacity and efficiency in spring wheat. *Journal of Experimental Botany*, 71(7), 2299-2311.
- Silva-Perez, V., Molero, G., Serbin, S. P., Condon, A. G., Reynolds, M. P., Furbank, R. T., & Evans, J. R. (2018). Hyperspectral reflectance as a tool to measure biochemical and physiological traits in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 69(3), 483-496.

- Simkin, A. J., Faralli, M., Ramamoorthy, S., & Lawson, T. (2020). Photosynthesis in non-foliar tissues: implications for yield. *The Plant Journal*, 101(4), 1001-1015.
- Sinclair, T. R., Rufty, T. W., & Lewis, R. S. (2019). Increasing photosynthesis: unlikely solution for world food problem. *Trends in Plant Science*, 24(11), 1032-1039.
- Soleimani, B., Lehnert, H., Keilwagen, J., Plieske, J., Ordon, F., Naseri Rad, S., ... & Perovic, D. (2020). Comparison between core set selection methods using different Illumina marker platforms: A case study of assessment of diversity in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1040.
- Song, Q., Wang, Y., Qu, M., Ort, D. R., & Zhu, X. G. (2017). The impact of modifying photosystem antenna size on canopy photosynthetic efficiency—Development of a new canopy photosynthesis model scaling from metabolism to canopy level processes. *Plant, Cell & Environment*, 40(12), 2946-2957.
- Su, J. Y., Tong, Y. P., Liu, Q. Y., Li, B., Jing, R. L., Li, J. Y., & Li, Z. S. (2006). Mapping quantitative trait loci for post-anthesis dry matter accumulation in wheat. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48(8), 938-944.
- Takagi, D., Ihara, H., Takumi, S., & Miyake, C. (2019). Growth light environment changes the sensitivity of photosystem I photoinhibition depending on common wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 10, 686.
- Tang, Y., Wu, X., Li, C., Yang, W., Huang, M., Ma, X., & Li, S. (2017). Yield, growth, canopy traits and photosynthesis in high-yielding, synthetic hexaploid-derived wheats cultivars compared with non-synthetic wheats. *Crop and Pasture Science*, 68(2), 115-125.
- Thomas, H., & Ougham, H. (2014). The stay-green trait. *Journal of Experimental Botany*, 65(14), 3889-3900.
- Valluru, R., Reynolds, M. P., & Lafarge, T. (2015). Food security through translational biology between wheat and rice. *Food and Energy Security*, 4(3), 203-218.
- Violet-Chabrand, S. R., Matthews, J. S., McAusland, L., Blatt, M. R., Griffiths, H., & Lawson, T. (2017). Temporal dynamics of stomatal behavior: modeling and implications for photosynthesis and water use. *Plant Physiology*, 174(2), 603-613.

- Wang, S., Wong, D., Forrest, K., Allen, A., Chao, S., Huang, B. E., ... & Akhunov, E. (2014). Characterization of polyploid wheat genomic diversity using a high-density 90 000 single nucleotide polymorphism array. *Plant Biotechnology Journal*, 12(6), 787-796.
- Winfield, M. O., Allen, A. M., Burrridge, A. J., Barker, G. L., Benbow, H. R., Wilkinson, P. A., ... & Edwards, K. J. (2016). High-density SNP genotyping array for hexaploid wheat and its secondary and tertiary gene pool. *Plant Biotechnology Journal*, 14(5), 1195-1206.
- Xu, Y. F., Li, S. S., Li, L. H., Ma, F. F., Fu, X. Y., Shi, Z. L., ... & An, D. G. (2017). QTL mapping for yield and photosynthetic related traits under different water regimes in wheat. *Molecular Breeding*, 37, 1-18.
- Ying, Y., Liu, F. F., Li, G. P., Zheng, Q., Li, B., Li, Z. S., ... & Li, H. W. (2020). Silencing of the receptor-like cytoplasmic kinase gene TaRKL1 reduces photosynthetic capacity in wheat. *Photosynthetica*, 58(5), 1188-1199.
- Zhou, B., Sanz-Sáez, Á., Elazab, A., Shen, T., Sánchez-Bragado, R., Bort, J., ... & Araus, J. L. (2014). Physiological traits contributed to the recent increase in yield potential of winter wheat from Henan Province, China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56(5), 492-504.
- Zhu, X. G., Long, S. P., & Ort, D. R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology*, 19(2), 153-159.
- Zhu, X. G., Long, S. P., & Ort, D. R. (2010). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annual Review of Plant Biology*, 61(1), 235-261.

BÖLÜM 2

ORGANİK TARIM ATIKLARININ BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANIMI, HASTALIKLARLA MÜCADELEDE ETKİNLİĞİ VE EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKISI

Dr. Naime Filiz KARADAŞ¹, Doç. Dr. Osman Doğan BULUT²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15850657>

¹Atatürk Üniversitesi. Su Ürünleri Fakültesi. filizkaradas66@gmail.com
orcid no: 0000-0003-3488-3481

²Iğdır Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Tarım Ekonomisi Bölümü. dgnblt@gmail.com
orcid no: 0000-0003-2682-6356

Giriş

Küresel nüfus artışı, su ürünleri sektörünün önemini her geçen gün artırmakta, balık yetiştiriciliği ise hayvansal protein üretiminde sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (FAO, 2022). Ancak, geleneksel balık yemi üretiminde sıklıkla kullanılan balık unu ve balık yağı gibi bileşenler hem ekosistemlerin dengesini tehdit etmekte hem de maliyetleri artırmaktadır (Tacon & Metian, 2008). Bu nedenle, çevre dostu, sürdürülebilir ve ekonomik yem kaynaklarının araştırılması son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır.

Son yıllarda artan çevre bilinci, tarım ve su ürünleri sektörlerinde "atıkların yeniden değerlendirilmesi" konusunu ön plana çıkarmıştır. Tarımda ortaya çıkan organik atıklar, yalnızca bir çevre kirliliği sorunu değil, aynı zamanda biyolojik değeri yüksek ve işlenebilir yem kaynakları olarak değerlendirilmelidir. Bu atıkların balık beslenmesinde kullanımıyla hem döngüsel ekonomi desteklenmekte hem de sürdürülebilir üretim sistemleri kurulmaktadır (Oliveira *et al.*, 2021). Organik tarım atıkları, bu bağlamda dikkat çeken alternatif yem bileşenleri arasında yer almaktadır. Meyve ve sebze kabukları, çekirdekler, posalar ve diğer tarımsal artıklar, hem yüksek besin değeri hem de doğada kolayca parçalanabilir özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Güroy *et al.*, 2012). Bu atıkların balık yemlerine eklenmesiyle, hem atık yönetimine katkı sağlanmakta hem de su ürünleri sektöründe daha sürdürülebilir üretim yöntemleri desteklenmektedir. Diğer yandan, yoğun ve kapalı sistemlerde yürütülen balık yetiştiriciliği, hastalıkların daha hızlı yayılmasına neden olmakta, bu da sık antibiyotik ve kimyasal kullanımını beraberinde getirmektedir (Cabello, 2006). Ancak bu uygulamalar, dirençli bakteri suşlarının gelişimi, çevresel kirlilik ve insan sağlığına yönelik riskler gibi ciddi sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu noktada, organik tarım atıklarının içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler gibi doğal antimikrobiyal ve antioksidan maddeler, balık hastalıklarına karşı doğal bir savunma mekanizması sunarak alternatif bir tedavi ve önleme yöntemi olabilir (Reverter *et al.*, 2014).

Nitekim yapılan çeşitli çalışmalarda, tarımsal bitkisel atıkların içerdiği biyoaktif maddelerin balık bağışıklığını artırdığı, özellikle bakteriyel enfeksiyonlara karşı koruyucu etkiler sağladığı bildirilmektedir (Awad & Austin, 2010; Yousefian & Amiri, 2009). Ayrıca, bu tür doğal bileşiklerin

bağırsak sağlığını düzenleyerek balıkların yemden daha iyi yararlanmasını ve stres faktörlerine karşı direnç geliştirmesini sağladığı da gözlemlenmiştir.

1. Organik Tarım Atıkları

Tarım sektörü, hem gıda üretiminde hem de ekonomik kalkınmada temel bir role sahiptir. Ancak, tarımsal faaliyetlerin bir sonucu olarak her yıl büyük miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların önemli bir kısmını, çevreye zarar verme potansiyeli taşıyan **organik tarım atıkları** oluşturmaktadır. Bu atıklar uygun şekilde değerlendirilmediğinde çevre kirliliğine, kötü kokulara, böcek popülasyonlarında artışa ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesine yol açabilmektedir (Adelodun *et al.*, 2020).

Organik tarım atıkları, bitkisel veya hayvansal kökenli olup biyolojik olarak kolayca parçalanabilen materyallerdir. Bu atıklar genellikle tarla bitkileri, meyve ve sebze üretimi, gıda işleme endüstrisi ve hayvancılık faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Tarımsal üretim süreçlerinden çıkan bu biyokütle, zengin besin içeriği sayesinde hayvan yemlerine katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir (FAO, 2013). Organik tarım atıkları temel olarak karbon, azot, lif, vitamin ve çeşitli biyoaktif bileşikler içermektedir. Özellikle bitkisel kökenli atıklarda bulunan flavonoidler, fenolik asitler ve tanen gibi doğal bileşikler, balık sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir (Reverter *et al.*, 2014).

Organik tarım atıkları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Balık yetiştiriciliğinde kullanılabilecek potansiyele sahip organik atıklar, aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

a) Meyve ve Sebze Atıkları

- Narenciye kabukları (portakal, limon, greyfurt)
- Elma, armut, şeftali posaları
- Üzüm çekirdekleri ve kabukları
- Domates kabukları ve çekirdekleri

Bu atıklar, karbonhidrat, vitamin, pektin, polifenol ve antioksidanlar açısından zengindir. Narenciye kabukları, antimikrobiyal özellikleriyle özellikle dikkat çekmektedir (Güroy *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2021).

b) Tahıl ve Baklagil Artıkları

- Buğday kepeği
- Arpa posası
- Mısır sapı ve koçanı
- Nohut, mercimek kabukları

Bu atıklar lif ve enerji açısından değerlidir. Ayrıca bazı amino asitleri içerebilmektedir.

c) Yağlı Tohum Atıkları

- Ayçiçek, susam ve zeytin posaları
- Ceviz, fındık ve badem kabukları

Bu tür atıklar, yağ asidi profili açısından önemlidir. Özellikle ceviz kabuğu ve yeşil kabuğu, antioksidan ve antimikrobiyal bileşikler içermektedir.

d) Bitki Yaprak ve Sap Artıkları

- Şeker pancarı yaprakları
- Marul, lahanada dış yaprakları
- Mısır ve yonca yaprakları

Yem değeri genellikle düşüktür, ancak lif ve bazı vitaminler açısından zengindir.

e) İşlenmiş Tarımsal Endüstri Artıkları

- Meyve suyu üretimi artıkları
- Sebze konservesi posaları
- Zeytin salamurası artıkları

Bu tür atıklar hem organik madde yükü hem de mikrobiyal zenginliği nedeniyle dikkatle işlenmelidir.

2. Değerlendirme Potansiyeli

Bu atıkların balık yetiştiriciliğinde kullanılabilirliği, içerdiği besin maddeleri, antioksidan kapasite, sindirilebilirlik ve toksisite gibi faktörlere bağlıdır. Uygun şekilde kurutulmuş, öğütülmüş ve gerektiğinde fermentasyon işlemi uygulanmış atıklar, balık yemlerine belirli oranlarda katılarak yem maliyetlerini düşürebilir ve balık sağlığına katkı sağlayabilir (Yousefian &

Amiri, 2009). Ancak her organik atık doğrudan yem olarak kullanılamaz. Bazılarında bulunan antinutrisyonel faktörler (örneğin tanen, fitik asit) sindirim sistemine zarar verebilir. Bu nedenle uygun ön işlemler (ısıtma, fermentasyon, ekstraksiyon) önerilmektedir (Francis *et al.*, 2001).

3. Balık Beslemesinde Kullanılan Geleneksel Ve Alternatif Yem Kaynakları

Balıkların büyüme, gelişim ve bağışıklık fonksiyonlarını sürdürebilmeleri için dengeli ve kaliteli yemlerle beslenmeleri gerekmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan yemler, aynı zamanda üretim maliyetlerinin %50–70’ini oluşturarak sektörün ekonomik sürdürülebilirliğini doğrudan etkilemektedir (Naylor *et al.*, 2009). Bu nedenle, yem formülasyonunda kullanılan hammaddelerin hem besin değeri hem de ekonomik ve çevresel etkileri büyük önem taşımaktadır.

3.1. Geleneksel Yem Kaynakları

Geleneksel olarak su ürünleri yemlerinde başlıca şu hammaddeler kullanılmaktadır.

a) Balık Unu ve Balık Yağı

Su ürünleri yemlerinde en yaygın kullanılan hayvansal protein ve yağ kaynaklarıdır. Balık unu, yüksek protein içeriği (yaklaşık %60–72) ve dengeli amino asit profili ile besleyicilik açısından oldukça değerlidir (Tacon & Metian, 2008). Ancak bu hammaddeler deniz balıkçılığına bağımlıdır ve bu kaynaklar giderek azalmaktadır. Aşırı avcılık ve kaynakların tükenmesi, balık unu ve yağı fiyatlarının yükselmesine neden olmuştur.

b) Bitkisel Protein Kaynakları

Soya unu, pamuk tohumu küspesi, ayçiçek küspesi, buğday gluteni ve mısır gluteni gibi bitkisel kaynaklar da sıklıkla kullanılır. Ancak bazı bitkisel proteinler, düşük sindirilebilirlik veya antinutrisyonel faktörler (örneğin fitat, lektin) içerebilir.

c) Tahıl ve Tahıl Türevleri

Buğday, mısır ve arpa gibi tahıllar; hem enerji kaynağı olarak hem de peletleme kalitesini artırmak amacıyla kullanılır. Ancak karbonhidrat sindirimi özellikle etobur türlerde sınırlıdır.

3.2. Geleneksel Kaynakların Sınırları

Geleneksel yem kaynaklarının kullanımı, çeşitli sınırlamalarla karşı karşıyadır:

- **Ekonomik:** Balık unu ve balık yağı fiyatları dalgalanmakta ve üretici maliyetlerini artırmaktadır.
- **Ekolojik:** Deniz kaynaklı yem bileşenlerinin kullanımı, aşırı avcılığa ve ekosistem bozulmalarına yol açmaktadır (Jackson & Shepherd, 2012).
- **Etik:** Yetiştirilen balıkların beslenmesinde vahşi balıkların kullanılması, hayvancılığın sürdürülebilirliği açısından eleştirilmektedir.
- **Sağlık:** Bitkisel kökenli hammaddelerdeki bazı bileşikler (örneğin oksalat, tanen), balıkların sindirim ve bağışıklık sisteminde olumsuz etkiler yaratabilir (Francis *et al.*, 2001).

3.3. Alternatif Yem Kaynakları

Bu sınırlamaları aşmak için çeşitli alternatif yem kaynakları araştırılmaktadır. Bunlar arasında:

a) Organik Tarım Atıkları

Meyve ve sebze posaları, kabuklar, tohum kalıntıları gibi atıklar, düşük maliyetli ve yerel olarak temin edilebilen yem katkılarıdır. Bu atıkların çoğu antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahiptir (Oliveira *et al.*, 2021).

b) Bitkisel Ekstraktlar ve Fonksiyonel Katkılar

Sarımsak, kekik, zerdeçal gibi bitki ekstraktları bağışıklık sistemini desteklemek amacıyla yemlere eklenmektedir (Reverter *et al.*, 2014).

c) Mikroalgler

Spirulina, Chlorella gibi mikroalg türleri yüksek protein ve pigment içeriği ile dikkat çeker. Ancak yüksek üretim maliyetleri sınırlayıcıdır.

d) İnsekt Kaynaklı Proteinler

Siyah asker sineği (*Hermetia illucens*) larvası gibi böcek proteinleri, hem çevre dostu hem de yüksek sindirilebilirliğe sahiptir.

e) Fermantasyon Ürünleri

Mayalar, mantarlar ve bakteriler tarafından üretilen mikrobiyal proteinler (*single cell protein* – SCP), gelecekte önemli bir kaynak olabilir.

3.4. Neden Alternatiflere Yöneliyoruz?

Alternatif yem kaynaklarına olan ilgi yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda çevresel ve sağlık temellidir. Özellikle organik tarım atıkları gibi düşük maliyetli, yerli ve doğa dostu hammaddelerin değerlendirilmesi, şu avantajları sunmaktadır:

- Atıkların geri dönüşümü ile çevresel yükün azaltılması.
- Yem maliyetlerinin düşürülmesi.
- Balık sağlığına olumlu etkiler (bağışıklık, antioksidan destek).
- Kimyasal ve antibiyotik kullanımının azaltılması.
- Tüketici nezdinde daha doğal ve güvenli üretim algısı.

4. Organik Atıkların Besin Değeri ve Balıklar Üzerine Etkisi

Organik tarım atıkları, yalnızca atık yönetimi açısından değil, aynı zamanda alternatif yem kaynağı olarak da giderek artan bir ilgi görmektedir. Bu materyallerin besin içeriği, türüne, hasat zamanına ve işlenme şekline bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, çoğu atık yüksek oranda karbonhidrat, lif, vitamin, mineral ve bazı protein fraksiyonları içermektedir (Oliveira *et al.*, 2021).

4.1. Besin İçeriği

Organik tarım atıkları türüne göre farklı bileşenler taşısa da genellikle aşağıdaki ana gruplarda öne çıkmaktadır:

a) Karbonhidratlar ve Lifler

Meyve kabukları, posalar ve tahıl artıkları yüksek miktarda sindirilebilir ve sindirilemeyen karbonhidratlar içerir. Bu bileşenler, özellikle otçul ve omnivor türlerde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Aynı zamanda sindirim sistemi sağlığı için yararlı olan diyet lifleri (selüloz, hemiselüloz, pektin) içerir (Francis *et al.*, 2001).

b) Protein

Organik atıkların çoğu düşük ila orta düzeyde protein içeriğine sahiptir (%6–18). Ancak protein kalitesi, amino asit profiline bağlıdır. Örneğin üzüm çekirdeği ve ceviz yeşil kabuğu gibi atıklar, kısmen kullanılabilir protein kaynaklarıdır.

c) Vitamin ve Mineraller

Birçok meyve ve sebze atığı, doğal olarak C vitamini, E vitamini, karotenoidler, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi önemli mikro besinleri içerir (Güroy *et al.*, 2012).

d) Biyoaktif Bileşikler

Organik atıklar aynı zamanda fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler, antosiyaninler gibi doğal antioksidanlar açısından zengindir. Bu bileşenler, balıklarda bağışıklık sistemi üzerinde destekleyici etki gösterebilir (Reverter *et al.*, 2014).

4.2. Büyüme Performansı ve Yem Değerlendirme Parametreleri

Organik tarım atıklarının balık yemlerine belirli oranlarda katılması, büyüme performansını çeşitli şekillerde etkileyebilir. Bu etki, genellikle aşağıdaki yem değerlendirme parametreleriyle ölçülür:

- Canlı ağırlık artışı (CGA)
- Özgül büyüme oranı (SGR)
- Yem değerlendirme oranı (FCR)
- Protein verimliliği oranı (PER)

Yapılan çalışmalarda, narenciye kabuklarının veya üzüm posası gibi atıkların %5–10 oranlarında diyetlere dahil edilmesinin balıklarda büyümeyi olumsuz etkilemediği, hatta bazı durumlarda sindirimi kolaylaştırdığı ve

bağışıklık direncini artırdığı bildirilmiştir (Güroy *et al.*, 2012; Nya & Austin, 2009).

4.3. Sindirim Fizyolojisi ve Yem Sindirilebilirliği

Bazı atıklar içerdikleri lifli yapı ve antinutrisyonel bileşenler nedeniyle sindirimde zorluk oluşturabilir. Özellikle yüksek tanenli ve lifli atıklar (örneğin ceviz kabuğu), bazı türlerde proteaz inhibitörleri içererek sindirimi olumsuz etkileyebilir. Bu gibi durumlarda ön işleme teknikleri (fermantasyon, kurutma, öğütme) ile sindirilebilirlik artırılabilir (Francis *et al.*, 2001). Sindirim enzim aktiviteleri (örneğin tripsin, lipaz, amilaz), balıkların yemden yararlanma kapasitesi hakkında önemli bilgiler sağlar. Organik atık katkılarının bu enzimler üzerindeki etkileri deneysel çalışmalarla gösterilmiştir.

4.4. Bağışıklık ve Stres Yanıtı

Organik atıkların içerdiği doğal antioksidan ve fenolik bileşikler, balıklarda oksidatif stresi azaltarak bağışıklık sistemini destekler. Reverter ve arkadaşları (2014), bu tür bileşiklerin lökosit aktivitesini artırabileceğini ve bakteriyel enfeksiyonlara karşı direnci yükseltebileceğini belirtmiştir. Nya & Austin (2009), üzüm çekirdeği ekstraktı ile zenginleştirilmiş yemlerin, *Aeromonas hydrophila* enfeksiyonu karşısında tilapyalarda hayatta kalma oranını önemli ölçüde artırdığını bildirmiştir.

4.5. Kullanım Sınırlamaları ve Uyarılar

Her organik atık potansiyel olarak faydalı olsa da doğrudan yem katkısı olarak kullanılmadan önce bazı noktalar dikkate alınmalıdır:

- Mikrobiyal bulaş riski: Özellikle taze atıkların kontaminasyon riski yüksektir.
- Antinutrisyonel faktörler: Tohum kabuklarında tanen, oksalat ve fitik asit olabilir.
- Toksik bileşikler: Bazı bitkiler doğal toksinler içerebilir (örneğin domates sapı, patates kabuğu).
- Dozaj hassasiyeti: Faydalı etkiler dozla sınırlıdır. Yüksek oranlar yem tüketimini ve büyümeyi olumsuz etkileyebilir.

5. Sağlık ve Bağışıklık Üzerine Etkiler

Su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim yoğunluğunun artması, stres faktörlerinin çoğalması ve kapalı sistemlerin yaygınlaşması, balıklarda hastalıklara yatkınlığı artırmaktadır. Geleneksel yaklaşımlarda, balık hastalıklarının önlenmesi veya tedavisinde sıklıkla antibiyotikler ve kimyasal maddeler kullanılmıştır. Ancak bu maddelerin aşırı ve bilinçsiz kullanımı; çevresel kirlenmeye, antibiyotik dirençli bakterilerin gelişimine ve halk sağlığına yönelik risklere yol açmıştır (Cabello, 2006). Bu nedenle, doğal bağışıklık uyarıcıları (immunostimülanlar) içeren alternatif besleme stratejileri ön plana çıkmaktadır. Organik tarım atıkları, bu bağlamda hem fonksiyonel yem katkısı hem de doğal koruyucu ajan olarak değerlendirilmektedir.

5.1. Bağışıklık Sistemi ve Beslenme İlişkisi

Balıkların bağışıklık sistemi, doğuştan gelen (doğal/innate) ve kazanılmış (adaptive) olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilir. Özellikle kültür balıklarında doğal bağışıklık mekanizmaları daha belirgindir. Bu sistem, fagositik hücreler, lizozim aktivitesi, komplement sistemi ve lökosit aktivitesi gibi unsurları içerir (Whyte, 2007).

Besinlerle alınan bazı bileşikler, bağışıklık sistemi hücrelerinin aktivitesini artırarak hastalıklara karşı direnci güçlendirebilir. Organik tarım atıkları, içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler ve tanenler sayesinde bu açıdan önemlidir (Reverter *et al.*, 2014).

5.2. Antioksidan Aktivite ve Oksidatif Stresin Azaltılması

Yoğun yetiştiricilik koşullarında balıklar oksidatif stres altına girer. Bu durum, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesine ve hücre hasarına neden olur. Organik tarım atıklarında bulunan antioksidanlar (örneğin C vitamini, E vitamini, polifenoller), bu zararlı etkileri nötralize ederek hücreleri korur (Oliveira *et al.*, 2021). Özellikle üzüm çekirdeği ekstraktı, nar kabuğu, ceviz yeşil kabuğu gibi atıklar, yüksek toplam fenolik madde içeriği (TPC) ile antioksidan kapasite sunar.

5.3. Lökosit, Lizozim ve Fagositik Aktivite Üzerine Etkiler

Yapılan deneysel çalışmalarda, organik atık katkılı yemlerle beslenen balıklarda:

- Lökosit sayısında artış,

- Fagositik aktivitenin yükselmesi,
- Serum lizozim aktivitesinin artması,
- Komplement sisteminin uyarılması gibi olumlu etkiler gözlemlenmiştir (Awad & Austin, 2010; Yousefian & Amiri, 2009).

Bu parametreler, balığın enfeksiyonlara karşı savunma kapasitesini doğrudan yansıttığı için, organik atık katkılarının balık sağlığını destekleyici potansiyeli bilimsel olarak desteklenmektedir.

5.4. Hastalıklara Karşı Direnç

Organik atıkların bağışıklık sistemine etkisi dolaylı olarak hastalıklara karşı dayanıklılığı da artırmaktadır. Bitkisel kökenli antioksidanlar ve antimikrobiyaller, patojen mikroorganizmaların gelişimini baskılayarak enfeksiyon riskini azaltır.

Örneğin:

- **Üzüm çekirdeği ekstraktı:** *Aeromonas hydrophila* enfeksiyonuna karşı tilapyada %80'e kadar hayatta kalma oranı sağlamıştır (Nya & Austin, 2009).
- **Nar kabuğu tozu:** *Streptococcus iniae* enfeksiyonuna karşı bağışıklık sistemini uyararak koruma sağlamıştır (Harikrishnan *et al.*, 2011).
- **Ceviz yeşil kabuğu:** Yüksek tanen içeriğiyle antibakteriyel potansiyel taşımaktadır. Özellikle *Yersinia ruckeri* gibi su ürünleri patojenlerine karşı direnç oluşturduğu görülmüştür (Karadaş, 2025).

5.5. Kimyasal ve Antibiyotik Kullanımının Azaltılması

Bu tür doğal katkıların kullanımı sayesinde, antibiyotik uygulamalarının sıklığı azaltılabilir. Böylece:

- Su ortamında antibiyotik kalıntısı oluşmaz.
- Antibiyotik dirençli patojen gelişimi engellenmiş olur.
- Tüketici güvenliği artar ve ürün kalitesi iyileşir.

Bu durum, hem sürdürülebilir akuakültür uygulamalarının geliştirilmesine hem de “antibiyotiksiz yetiştiricilik” yaklaşımına katkı sağlamaktadır.

6. Organik Atıkların Balık Hastalıklarına Karşı Doğrudan Antimikrobiyal Etkisi

Balık hastalıkları, akuakültür sektörünün en önemli sorunlarından biridir. Bakteriyel, viral ve fungal patojenler, balıkların sağlığını tehdit etmekte, üretimde kayıplara neden olmaktadır (Austin & Austin, 2016). Geleneksel olarak kullanılan antibiyotik ve kimyasalların uzun vadeli zararları göz önüne alındığında, doğal ve çevre dostu alternatiflerin araştırılması önem kazanmıştır. Organik tarım atıkları, içerdiği biyolojik aktif bileşikler sayesinde balık hastalıklarına karşı doğrudan antimikrobiyal etki gösterebilmektedir.

6.1. Antimikrobiyal Bileşikler ve Mekanizmaları

Organik atıkların antibakteriyel, antifungal ve antiviral etkileri, çoğunlukla içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler, alkaloidler, saponinler ve organik asitler gibi metabolitlerden kaynaklanır (Cowan, 1999).

- **Fenolik bileşikler:** Hücre duvarı ve membran bütünlüğünü bozarak mikroorganizma ölümüne yol açar.
- **Flavonoidler:** Enzim aktivitesini inhibe ederek bakteriyel büyümeyi engeller.
- **Tanenler:** Protein bağlayıcı özellikleriyle mikroorganizma yüzey proteinlerini etkiler.
- **Saponinler:** Hücre membranlarında delikler açarak lizise neden olur.

Bu bileşikler, tek başlarına veya sinerjik etkileşimlerle patojenleri baskılayabilir.

6.2. Bakteriyel Hastalıklara Karşı Etkiler

Bakteriyel patojenler (örneğin *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia ruckeri*, *Flavobacterium columnare*) su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın ve zararlıdır.

- **Nar kabuğu özütü ve üzüm posası ekstraktı** gibi narenciye ve meyve atıkları, *Aeromonas* türlerine karşı güçlü inhibisyon göstermiştir (Güroy *et al.*, 2012; Nya & Austin, 2009).
- **Ceviz yeşil kabuğu**, yüksek tanen ve fenolik içerikleri nedeniyle *Yersinia ruckeri* gibi bakterilere karşı antibakteriyel aktivite sergilemektedir (Karadaş, 2025).

6.3. Antifungal ve Antiviral Etkiler

Organik atıklardan elde edilen bazı bileşiklerin, mantar türleri örneğin *Saprolegnia spp.* ve virüslere karşı da etkili olduğu bulunmuştur. Bitkisel ekstraktların antiviral etkileri, virüslerin hücrelere girişini engelleme ve çoğalma mekanizmalarını bozma üzerinden gerçekleşmektedir (Harikrishnan *et al.*, 2011).

6.4. Sınırlamalar ve Gelecek Perspektifler

Organik atıkların antimikrobiyal kullanımı oldukça umut verici olsa da:

- Dozaj optimizasyonu gereklidir; aşırı kullanım balık sağlığını olumsuz etkileyebilir.
- Bazı atıkların içerdiği bileşikler balıklarda toksisite yaratabilir.
- Standardizasyon ve kalite kontrol yöntemleri geliştirilmelidir.
- Klinik uygulamalara geçmeden önce kapsamlı toksikolojik ve farmakokinetik çalışmalar yapılmalıdır.

7. Organik Atıkların Balık Yemi Üretiminde Kullanım Teknikleri Ve İşleme Yöntemleri

Balık yemlerinde organik tarım atıklarının kullanımı, hem besin değerini artırmak hem de yemlerin güvenli ve sindirilebilir olmasını sağlamak için uygun işlem tekniklerini gerektirir. Organik atıklar, genellikle yüksek nem oranına, antinutrisyonel faktörlere ve mikroorganizma kontaminasyonuna sahip olabilir. Bu nedenle, yem hammaddesi olarak kullanılmadan önce çeşitli işlemlerden geçirilmelidir.

7.1. Ön İşleme Yöntemleri

a) Kurutma

Organik atıkların nem oranı genellikle yüksektir ve hızlı bozulmaya eğilimlidir. Kurutma işlemi, atıkların raf ömrünü uzatmak ve mikrobiyal yükünü azaltmak için temel bir yöntemdir. Güneşte kurutma, sıcak hava fırını veya vakumlu kurutucular yaygın olarak kullanılır (Oliveira *et al.*, 2021).

b) Öğütme

Kurutulan atıkların öğütülmesi, partikül boyutunun küçültülerek yem üretiminde kullanılabilir hale gelmesini sağlar. İnce öğütülmüş materyaller yem hamurunun homojen olmasını destekler.

7.2. İşleme Teknikleri

a) Fermantasyon

Fermentasyon, organik atıkların sindirilebilirliğini artırmak, antinutrisyonel faktörleri azaltmak ve probiyotik özellikler kazandırmak için kullanılan etkili bir yöntemdir. Laktik asit bakterileri ile yapılan fermentasyon, yem bileşenlerinin besin değerini artırırken, patojen mikroorganizmaların gelişimini engeller (Khosravi et al., 2015).

b) Ekstraksiyon ve Konsantrasyon

Biyoaktif bileşenlerin (fenolikler, flavonoidler) konsantre edilmesi için çözücü ekstraksiyonları (su, etanol gibi) uygulanabilir. Bu ekstraktlar, doğrudan yem katkısı olarak veya sağlık destekleyici olarak kullanılabilir (Reverter et al., 2014).

c) Isıl İşlem

Pastörizasyon veya sterilizasyon işlemleri, mikroorganizma sayısını düşürmek için kullanılır. Aynı zamanda bazı antinutrisyonel bileşenlerin etkisini azaltabilir. Ancak aşırı ısı işlem besin kayıplarına yol açabilir.

7.3. Yem Formülasyonunda Kullanım

Organik atıklar, balık yemlerinde genellikle %5-15 oranında kullanılır. Bu oran, atığın tipine ve işleme yöntemine göre değişkenlik gösterebilir. Dengeli amino asit profili ve enerji dengesi sağlamak için diğer protein ve karbonhidrat kaynaklarıyla birlikte formüle edilir.

7.4. Kalite Kontrol ve Standartlar

Organik atıkların yem hammaddesi olarak kullanılabilmesi için mikrobiyal kontaminasyon, toksin (aflatoksin vb.), ağır metal ve antinutrisyonel madde analizleri yapılmalıdır. Ulusal ve uluslararası standartlara uygunluk önemlidir (NRC, 2011).

8. Organik Tarım Atıklarının Ekonomik ve Çevresel Yönleri

8.1. Ekonomik Yönler

Organik tarım atıklarının su ürünleri yemlerinde kullanılması, üretim maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptir. Geleneksel yem hammaddeleri olan balık unu ve balık yağının fiyatları, dünya piyasalarındaki dalgalanmalar nedeniyle zaman zaman önemli ölçüde artmaktadır (Naylor ve ark., 2009).

Organik atıklar ise çoğunlukla üretim tesislerinde yan ürün veya atık olarak bulunmakta ve düşük maliyetli olmaktadır.

Bu durum:

- Yem üretim maliyetlerinin azalması,
- Yerli kaynakların değerlendirilmesiyle döviz tasarrufu,
- Atık yönetimi maliyetlerinin düşürülmesi gibi ekonomik avantajlar sağlamaktadır (Oliveira *et al.*, 2021).

Ayrıca, organik ve doğal ürünlere yönelik artan tüketici talebi, organik atık katkılı balık ürünlerinin pazarda daha yüksek değer görmesine olanak tanımaktadır.

8.2. Çevresel Yönler

Organik tarım atıklarının değerlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır. Gıda ve tarım sektörlerinden kaynaklanan atıkların önemli bir kısmı, uygun şekilde yönetilmediğinde çevre kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır (Gustavsson ve ark., 2011).

Bu atıkların yem hammaddesi olarak kullanılması:

- Atık miktarını azaltır ve çevre kirliliğini önler.
- Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını destekler.
- Karbon ayak izini düşürür ve sera gazı emisyonlarını azaltır.

Aynı zamanda, daha az balık unu kullanılması, deniz ekosistemleri üzerindeki baskıyı hafifletir (Jackson & Shepherd, 2012).

8.3. Sürdürülebilir Akuakültür ve Organik Tarım Atıkları

Sürdürülebilir akuakültür, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dengede tutan bir üretim modeli olarak öne çıkmaktadır. Organik tarım atıklarının kullanımı, bu modelin önemli bir bileşeni olarak, doğal kaynakların verimli kullanımı ve atıkların geri dönüşümü yoluyla çevresel etkilerin azaltılmasına olanak tanır (FAO, 2018).

9. Ekonomik Yönü ve Sürdürülebilirliğe Katkısı

Su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, son yıllarda hızla büyüyen ancak aynı zamanda maliyet baskısı altında olan bir alandır. Özellikle yem girdileri, üretim maliyetlerinin %50-70'ini oluşturmakta olup, bu oran düşük kâr marjıyla çalışan küçük ölçekli üreticiler için ciddi bir ekonomik yük oluşturmaktadır (Tacon & Metian, 2008). Bu bağlamda, organik tarım atıklarının balık

yemlerine katılması hem maliyetleri düşürebilmekte hem de sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

9.1 Yem Maliyetine Etkisi

Ticari balık yemlerinde kullanılan balık unu, soya küspesi ve mısır gibi protein ve enerji kaynakları, hem ithalata dayalı olması hem de fiyatlarının dalgalanması nedeniyle maliyetleri artırmaktadır. Oysa organik tarım atıkları yerel olarak ve çoğu zaman ücretsiz ya da düşük bedelle temin edilebildiğinden yem formülasyonlarında değerlendirildiğinde yem maliyetlerini %10-20 oranında azaltma potansiyeli taşımaktadır (El-Sayed, 2020; Sarker *et al.*, 2018). Örneğin, meyve posalarının veya kabuklarının %5-10 oranında yemlere katılması, özellikle erken büyüme dönemlerinde hem sindirimi kolaylaştırmakta hem de bağışıklık sistemini destekleyerek hastalık oranlarını düşürmektedir. Bu durum, yem verimliliğini artırarak birim yemle daha fazla canlı ağırlık kazanımı sağlanmasına olanak verir (Ngugi *et al.*, 2015).

9.2 İlaç ve Antibiyotik Maliyetlerinin Azaltılması

Balık hastalıkları, özellikle bakteriyel enfeksiyonlar, yetiştiricilikte önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle üreticiler sıkça antibiyotik ve kimyasal tedavilere başvurmakta, bu da hem doğaya hem de üretim bütçesine zarar vermektedir. Organik tarım atıklarıyla geliştirilen doğal yem katkıları ve bitkisel ekstraktlar, bağışıklık sistemini uyarak ilaç kullanımını azaltabilir, bu da üreticiye önemli ölçüde ekonomik katkı sağlamaktadır (Citarasu, 2010; Harikrishnan *et al.*, 2011). Örneğin, ceviz yeşil kabuğu, nar kabuğu ve sarımsak ekstraktı gibi doğal bileşiklerin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, antibiyotik kullanımına gerek kalmadan hayatta kalma oranlarının yükseldiği ve hastalık baskısının azaldığı gösterilmiştir. Bu da yıllık ilaç ve tedavi giderlerinde %30'a varan tasarruf anlamına gelmektedir (Karadaş, 2025; Reverter *et al.*, 2014).

9.3 Atık Yönetimi ve Çevresel Maliyetlerin Azaltılması

Tarım atıkları, çevreye bilinçsizce bırakıldığında ciddi bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu atıkların balık yetiştiriciliği gibi alternatif alanlarda değerlendirilmesi sayesinde:

- Atık bertarafı için gerekli olan toplama, taşıma ve imha maliyetleri ortadan kalkar.
- Belediye ve tarımsal işletme düzeyinde atık işleme giderleri azalır.
- Organik atıklardan katma değerli ürün elde edilerek yerel ekonomiye katkı sağlanır.

Bu çerçevede değerlendirildiğinde, organik tarım atıklarının döngüsel ekonomi modeli içinde değerlendirilmesi, sadece balıkçılık sektörü değil, kırsal kalkınma ve tarım ekonomisi açısından da olumlu yansımalar doğurmaktadır (FAO, 2018).

9.4 Yerel Kalkınmaya ve Gıda Güvencesine Katkısı

Organik tarım atıklarının su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı, özellikle küçük ölçekli çiftlikler için yeni bir ekonomik fırsat sunmaktadır. Bu uygulama:

- Yerel çiftçilerle balık üreticileri arasında atık-tabanlı işbirliklerinin gelişmesine yol açar.
- Bölgesel istihdam yaratır ve kadın emeğinin değerlendirilmesini teşvik eder.
- Gıda güvencesi ve güvenli gıda üretimi açısından halk sağlığına katkı sunar.

Bu bütüncül model, sürdürülebilir tarım ve su ürünleri üretiminin temel taşlarından biri olarak değerlendirilmektedir (World Bank, 2013).

Sonuç

Organik tarım atıklarının su ürünleri yetiştiriciliğinde yem hammaddesi ve bağışıklık destekleyici katkı olarak değerlendirilmesi, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlayan yenilikçi ve gelecek vadeden bir yaklaşımdır. Bu atıkların içerdiği doğal biyoaktif bileşenler sayesinde balıkların büyüme performansı artırılabilirken, bağışıklık sistemleri güçlendirilmekte ve hastalıklara karşı dirençleri doğal yollarla desteklenebilmektedir. Böylece, sektörde sıklıkla karşılaşılan antibiyotik ve kimyasal madde kullanımına duyulan ihtiyaç da azaltılmış olmaktadır.

Bununla birlikte, organik atıkların doğrudan yemlere katılması bazı riskleri de beraberinde getirebilir. Özellikle antinutrisyonel faktörler, toksik bileşikler ve uygun olmayan işleme yöntemleri, balık sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğinden, bu alanda bilimsel temelli standartlara ve

kontrollü kullanım protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu uygulamaların etkinliğini artırmak ve olası riskleri ortadan kaldırmak için çok disiplinli bilimsel çalışmaların ve endüstriyel ölçekte deneme üretimlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise, bu atıkların kullanımı yem maliyetlerini düşürerek üreticilere rekabet avantajı sunmakta; aynı zamanda yerel kaynakların değerlendirilmesiyle kırsal kalkınmaya ve döngüsel ekonominin gelişimine katkı sağlamaktadır. Çevresel boyutta ise atıkların geri dönüşüme kazandırılması, karbon ayak izinin azaltılmasını ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, organik tarım atıklarının akuakültür sektöründe kullanımı, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda hem üretim verimliliğini artırmakta hem de çevreye duyarlı bir model sunmaktadır. Bu yaklaşımın yaygınlaştırılması, yalnızca balık sağlığının korunmasına değil, aynı zamanda ekolojik denge ve ekonomik refah arasında daha dengeli bir sistemin inşa edilmesine de olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Austin, B., & Austin, D. A. (2016). *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. Springer
- Adelodun, B., et al. (2020). Agricultural waste utilization strategies and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122832.
- Awad, E., & Austin, B. (2010). Use of *Lactobacillus plantarum* in tilapia (*Oreochromis niloticus*) aquaculture: a review. *Aquaculture*, 277(3–4), 1–6.
- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137–1144.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.
- Citarasu, T. (2010). Herbal biomedicines: A new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*, 18(3), 403–414.
- El-Sayed, A. F. M. (2020). *Tilapia Culture*. Academic Press.
- FAO. (2013). *Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources*. Rome: FAO.
- FAO. (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Francis, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), 197–227.
- Gustavsson, J., et al. (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention.
- Güroy, D., Cirik, S., & Güroy, B. (2012). Evaluation of citrus by-products as a dietary energy source in aquaculture. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12(2), 313–318.
- Harikrishnan, R. et al. (2011). *Fish & Shellfish Immunology*, 30(3), 720–726.

- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M. S. (2011). Impact of plant products on innate and adaptive immune system of cultured finfish and shellfish. *Aquaculture*, 317(1–4), 1–15.
- Jackson, A., & Shepherd, J. (2012). The future of fishmeal and fish oil. In *The Encyclopedia of Fish Physiology* (Vol. 3, pp. 1448–1455).
- Karadaş, N.F., Gültepe, N. (2025). Effects of walnut (*Juglans regia*) green peel extract on growth performance and challenge to enteric redmouth disease (*Yersinia ruckeri*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* Vol. 77, Issue 1
- Khosravi, S., et al. (2015). Effects of fermented plant-based diets on growth performance and gut microbiota in fish. *Aquaculture Nutrition*, 21(6), 787–795.
- Naylor, R. L., et al. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103–15110.
- National Research Council (NRC). (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press.
- Nya, E. J., & Austin, B. (2009). Use of garlic, *Allium sativum*, to control *Aeromonas hydrophila* infections in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Journal of Fish Diseases*, 32(11), 963–970.
- Oliveira, M., et al. (2021). Fruit and vegetable by-products as feed ingredients for sustainable aquaculture: A review. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127699.
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50–61.
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., et al. (2018). Towards sustainable aquafeeds: Evaluating the protein quality of alternative feed ingredients. *Aquaculture*, 495, 174–182.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158.
- Yousefian, M., & Amiri, M. S. (2009). Herbal remedies in aquaculture. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 1(2), 88–92.

- Whyte, S. K. (2007). The innate immune response of finfish—a review of current knowledge. *Fish & Shellfish Immunology*, 23(6), 1127–1151.
- World Bank. (2013). *Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture*. Report No. 83177-GLB.

BÖLÜM 3

MOR BUĞDAYIN GENETİĞİ VE ISLAHINA GENEL BİR BAKIŞ

Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR¹

Dr. Sinan BAYRAM²

Zir. Yük. Müh. Fehmi KOZVEREN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15850681>

¹ Iğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Iğdır, Türkiye. ozcan.caglar@igdir.edu.tr Orcid No: 0000-0002-7886-5157

² Sakarya Mısır Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Islah ve Genetik Bölümü, Serin İklim Tahılları Şubesi, Sakarya, Türkiye. sinan.bayram@tarimorman.gov.tr Orcid No: 0000-0002-1010-4263

³ CIMMYT Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi, Ankara, Türkiye. F.KOZVEREN@cgiar.org Orcid No: 0000-0001-9154-3948

1. GİRİŞ

Renkli taneli buğday (*Triticum aestivum*), yüksek antioksidan kapasitesi ile dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalar, bu buğday türünün anti-inflamatuar ve anti-kanser etkiler gösterdiğini; aynı zamanda glisemik kontrolün iyileştirilmesinde ve kardiyovasküler hastalık riskinin azaltılmasında olumlu rol oynayabileceğini ortaya koymuştur. Bu sağlık yararları, özellikle renkli tanelerde bulunan antosiyaninler ve diğer fenolik bileşikler sayesinde ortaya çıkmaktadır (Garg ve ark., 2016). Renkli buğday çeşitleri, beyaz buğdaya kıyasla yalnızca antosiyanin içeriği açısından değil; aynı zamanda temel besin öğeleri bakımından da daha zengindir. Bu çeşitler, protein, çinko (Zn), demir (Fe), magnezyum (Mg), potasyum (K) ve E vitamini yönünden daha yüksek değerlere sahiptir (Lachman ve ark., 2018). Bu besin öğeleriyle zenginleştirilmiş profili sayesinde renkli buğday, fonksiyonel gıda geliştirme süreçlerinde ve beslenmeye yönelik yenilikçi tarım yaklaşımlarında önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, renkli buğdayların yüksek protein içeriği ve uygun amino asit bileşimi, gıda endüstrisi için sağlıklı ve besleyici ürünler geliştirmede kritik rol oynamakta; diyetleri zenginleştirmek amacıyla kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Guo ve ark., 2013).

Zeleny sedimentasyon hacmi (ZSED), laktik asit SRC (LASRC), glutenin şişme indeksi (SIG), makro sodyum dosedil sülfat (MSDS), maksimum pik zamanı (PMT) ve farinograf su absorpsiyonu (FWA) gibi gluten kalitesini gösteren analizler ekmeklik buğday genotiplerini kalite açısından kırmızı > mor > mavi şeklinde sıralamaktadır. Buna karşın, mavi ve mor buğday genotipleri; toplam fenolik içeriği (TPC), toplam flavonoid içeriği (TFC), toplam karotenoid içeriği (TCC) ve toplam antioksidan kapasite (TAC) açısından daha yüksek değerlere sahiptir. Genotiplerdeki bu yüksek antioksidan içeriğinin, unlarda mavileşmenin artışıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Akman ve ark., 2025).

Mavi taneli buğday türleri, 20. yüzyılın ilk yarısında buğday ve buğdayın yakın akrabaları arasında yapılan türler arası melezlemeler ile geliştirilmiştir. Başlangıçta bu melezlemeler hastalık direnci, kışa dayanıklılık, çok yıllık özelliği, yem özellikleri ve verim bileşenleri için genleri aktarmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Avrupa'da 'Blaukorn' germ plazmasında gözlenen mavi aleuronun genetik kaynağı olarak *Triticum boeoticum* veya *Triticum*

monococcum gösterilmiştir. Bunun dışında, çeşitli mavi taneli buğday türlerinin kökeni; *Agropyron* (*Thinopyrum*) ve diğer yabani buğday akrabalarıyla gerçekleştirilen türler arası melezlemelere dayanmaktadır (Zeven, 1991).

Günümüzde gıda endüstrisi, biyoaktif özellikleri nedeniyle fonksiyonel gıda formüllerinde mor bileşenlerin kullanılmasına yönelik çalışmalara daha fazla önem vermektedir (Çebi ve Yangılar, 2024). Mor taneli buğday, mavi, mor veya her iki rengin karışımını ifade eden özel bir buğday türüdür. Mor taneli buğday unu ürünlerinin uzun süreli tüketimi bağıışıklığı, kalsiyum eksikliğini, yüksek tansiyonu, yüksek kan kolesterolünü, koroner kalp hastalığını ve diyabeti iyileştirebilir (Hu ve ark., 2025).

Buğday tanelerinin işlenme özellikleri, tane renklerine (kırmızı, mor ve mavi) göre farklılık göstermektedir. Bu farklılık, tohum kabuğunda yer alan pigmentler (karotenler, ksantofiller, antosiyaninler ve fenolik bileşikler) tarafından belirlenmektedir. Tane rengi, özellikle kepek katmanlarındaki pigmentlerin konumuna ve yoğunluğuna bağlı olarak şekillenmektedir.

Kırmızı renkli taneler, tohum kabuğunun diploit testa tabakasında bulunan minör antosiyaninler, majör tanenler ve kateşin içeriğinden kaynaklanırken; mavi renk, aleuron tabakasında biriken antosiyaninler tarafından oluşturulmaktadır. Mor renk ise, diploit perikarp tabakasındaki yoğun antosiyanin birikimiyle meydana gelmektedir (Garg ve ark., 2016).

Mor renkli buğdayın tohum kabuğu özellikleri, Etiyopya, Somali ve Yemen kökenli tetraploid buğday türlerinden elde edilen genetik materyalin günümüz ekmeklik buğday genotiplerine aktarılmasıyla kazandırılmıştır (Musilova ve ark., 2013).



Şekil 1. Etiyopya'nın Tigray bölgesine bağlı güney dağlık alanlardaki Maichew pazarında, temizlenmeden önceki haliyle satışa sunulmuş olan yerel köy popülasyonu "Habeş mor buğdayı" örneği. (Fotoğraf: Hagos Hailu Kassegn) (Hailu Kassegn, 2018).

Siyah buğday ise, mor ve mavi buğday genotiplerinin melezlenmesiyle geliştirilmiş pigmentli bir buğday çeşididir. Tanenin siyah rengi, dış tabakada biriken antosiyanin pigmentlerinden kaynaklanmaktadır (Dhua ve ark., 2021).

Tohum kabuğunun başlıca pigment bileşenleri antosiyaninlerdir. Antosiyaninler, koyu renkli meyve ve sebzelerde bol miktarda bulunan, doğal olarak oluşan polifenolik bileşiklerdir. Aynı zamanda siyah pirinç, kırmızı sorgum ve mor mısır gibi pigmentli tahıllarda da yoğun şekilde birikirler. Besin bileşimi açısından değerlendirildiğinde, siyah taneli buğdayın polisakkarit ve protein içeriğinin konvansiyonel buğday türlerine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Liu ve ark., 2018).

2. BUĞDAYLARDAKİ ANTOSİYANİNLER

Antosiyaninler, çeşitli bitki organlarında mavi, mavi-siyah, kırmızı ve mor renklerin oluşumundan sorumlu olan fenolik bileşiklerdir ve flavonoid sınıfına dahildirler. Bu bileşikler, buğday tanelerinde perikarp ve/veya aleuron tabakasında birikir (Böhmdorfer ve ark., 2018). Mavi peygamber çiçeğinde ilk antosiyaninin keşfinden bu yana, yüzlerce farklı antosiyanin bileşiği yapısal olarak tanımlanmıştır (Schwinn ve Davies, 2004).

Günümüzdeki buğday çeşitlerinin büyük çoğunluğu kırmızı tane rengine sahiptir; beyaz renkli çeşitler ise daha az yaygın olarak görülmektedir. Özellikle Avrupa kökenli buğdaylarda kırmızı renk baskındır. Bu pigmentasyon, flavonoid biyosentez sürecinde üretilen kateşin ve tanen türevlerinden kaynaklanmaktadır (Himi ve Noda, 2005).

Buğday tanesinin kırmızı rengi; daha yüksek oranda acı fenolik bileşik içeriği, daha düşük hidrolitik enzim aktivitesi ve çimlenmeye karşı daha yüksek direnç ile ilişkilidir. Fenolik asitler, antioksidan aktiviteye sahip düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir ve tanede polifenol oksidaz enzimi aracılığıyla daha koyu renkli yapılara (örneğin tanenler ve lignin) oksitlenebilirler. Bu bileşikler aynı zamanda lipoksijenaz enzimini inhibe ederek, patojenlere karşı koruyucu etki gösteren güçlü biyokimyasal engelleyiciler olarak görev yaparlar (Lachman ve ark., 2003).

Beyaz taneli buğdaylar, düşük düzeyde polifenol oksidaz enzimi içermektedir. Bu durum, acı bileşiklerin oluşumunu sınırlandırarak ürünün doğal olarak daha tatlı bir aromaya sahip olmasını sağlar; bu özellik özellikle şekerleme endüstrisi açısından değerli olabilir. Ayrıca, beyaz buğday çeşitleri çimlenmeye daha yatkındır ve öğütme işlemi sırasında daha yüksek un verimi sunar. Bu yüksek verim, elde edilen unun lif, mineral ve protein içeriğini artırma potansiyeli taşır (Martinek ve ark., 2014).

Ferulik asit, mor taneli buğdayın başlıca antioksidan bileşiği olan fenolik bir asittir. Kepek içermeyen beyaz (rafine) buğday ununda ise fenolik bileşiklerin bulunmadığı bildirilmiştir (Brandolini ve ark., 2013). Liu ve ark. (2010), mor buğday çeşitlerinden Charcoal ve Konini'nin sırasıyla en yüksek ve ikinci en yüksek fenolik içeriğe sahip olduğunu, bunları kırmızı (Red Fife) ve sarı (Luteus) buğday çeşitlerinin takip ettiğini raporlamıştır. Knievel ve ark. (2009), buğday tanesindeki antosiyanin düzeylerinin tane gelişimi süresince hızla arttığını ve tam olgunlaşma öncesinde azalma gösterdiğini bildirmiştir.



Şekil 2. Tane dolum aşamasında farklı buğday çeşitlerine ait bağlı fenolik bileşiklerin birikimi. Beyaz buğday “Yumai49-198”, kırmızı buğday “Yangmai22” ve mor buğday “Zhouheimail” (DAA: Days after anthesis-çiçeklenmeden sonraki gün sayısı) (Ma ve ark., 2016).

Yapılan araştırmalar, tarımsal uygulamaların ve başak yapısının mor buğdaydaki antosiyanin düzeyi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle başakların üst kısımlarındaki tanelerde pigment miktarının daha düşük olduğu ve kaynak-depo ilişkilerinin antosiyanin içeriğini anlamlı biçimde etkilediği bildirilmiştir. Bu bulgular, yetiştirme tekniklerinin mor buğdaydaki biyoaktif bileşiklerin miktarını optimize etmede önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Bustos ve ark., 2012).

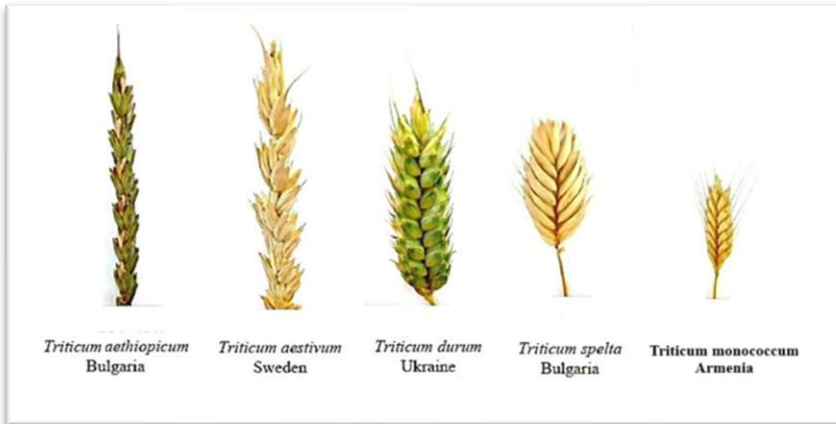
Mor buğday tanesinde bulunan antosiyaninlerin termal ve teknolojik işlem süreçlerindeki stabilitesi, elde edilen son ürünün fonksiyonel özelliklerinin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Literatür verileri, öğütme, fermentasyon ve fırınlama gibi gıda proseslerinde sıcaklık ve pH parametrelerindeki değişimlerin antosiyanin konsantrasyonunda %40–60 arasında kayıplara neden olabildiğini göstermektedir (Hosseinian ve ark., 2008). Bu durum, üretim aşamalarında kullanılan işlem koşullarının, mor buğdayın biyolojik aktif bileşen içeriği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

3. *Triticum aethiopicum*

Buğdaylarda, antosiyaninlerin perikarp dokularında birikmesiyle oluşan tanelerin mor rengi, ilk kez 1870'li yıllarda Habeşistan (günümüzde Etiyopya) kökenli tetraploid buğday türü *Triticum aethiopicum* Jakubz.'da tanımlanmıştır (Zeven, 1991). *Triticum aethiopicum*, muhtemelen Etiyopya emmer buğdayından türemiş olup zamanla Etiyopya, Eritre ve Yemen'e yayılmış; uzun süre bu bölgelerde endemik tür olarak kabul edilmiştir (Badaeva ve ark., 2018). Günümüzde mor taneli tetraploid buğday, özellikle Etiyopya'nın dağlık bölgelerinde yetiştirilmektedir. Bu bölgelerde, beyaz ve kırmızı taneli buğdaylara kıyasla daha erken olgunlaşma, daha kısa bitki boyu, daha yüksek verimlilik, artan kardeşlenme kapasitesi ve yüksek hasat indeksi gibi agronomik avantajlar sergilemektedir.

Yerel halk tarafından bu mor taneli buğday, bölgenin serin ve nemli ikliminde geleneksel olarak mide rahatsızlıklarını hafifletmek ve bedeni ısıtmak amacıyla tüketilen yerel bir damıtılmış içecek olan Arekie'nin hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Etiyopya'da yetiştirilen diğer tetraploid buğday türleri olan *Triticum polonicum*, *Triticum carthlicum* ve *Triticum durum*, genetik varyasyonları nedeniyle bazı bireylerinde mor perikarp pigmentasyonu sergileyebilmektedir (Belay ve ark., 1995). Bu durum, söz konusu türlerin antosiyanin biyosentez yollarına ilişkin genetik kapasite taşıdığını ve çevresel faktörler ile genotip-fenotip etkileşimlerinin pigment ifadesinde rol oynadığını göstermektedir.

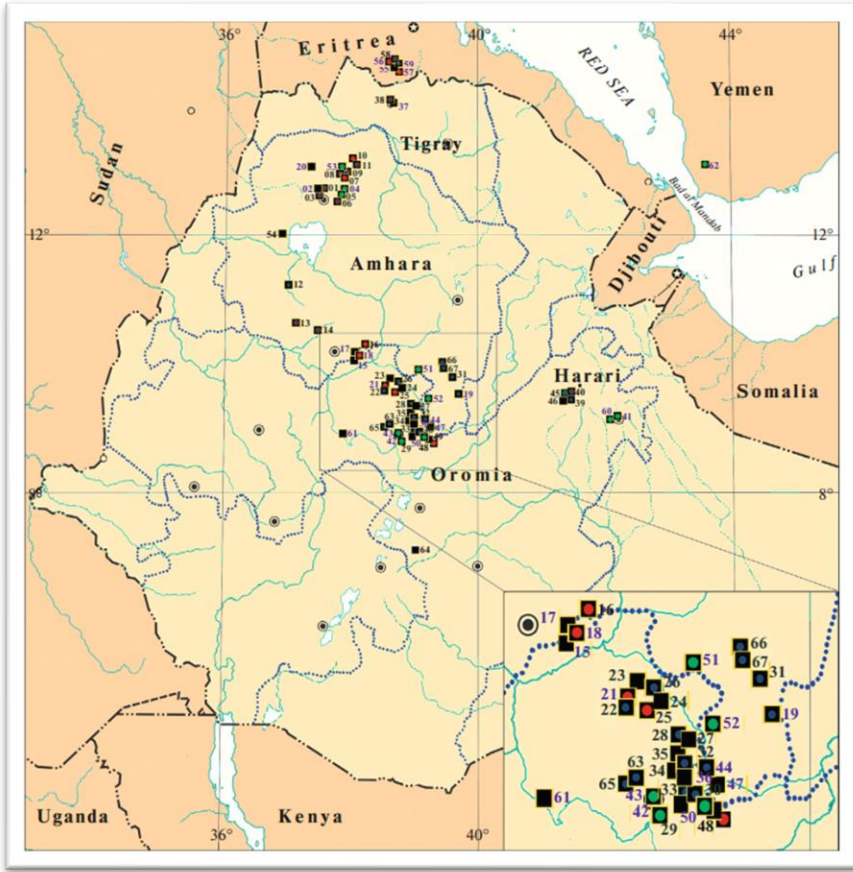


Şekil 3. Farklı *Triticum* türlerinde başak tipleri (Chuprina ve ark., 2021).

Buğdayda, antosiyanin kaynaklı pigmentasyon neredeyse tüm organlarda gözlemlenebilir. Mor renkli buğday taneleri ilk kez 1879 yılında Ludwig Wittmack tarafından tanımlanmıştır. Bu taneler, botanikçi Johann Maria Hildebrandt'in 1872-1873 yılları arasında Doğu Afrika'ya gerçekleştirdiği bilimsel seyahat sırasında toplanmış ve ardından Berlin Tarım Müzesi'ne teslim edilmiştir. Takip eden dönemlerde, mor perikarp özelliği taşıyan tetraploid Etiyopya kökenli buğday türlerinden elde edilen genetik materyal, hekzaploid ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum*) gen havuzuna başarıyla aktarılmıştır (Syed Jaafar ve ark., 2013).

Mor buğday, 19. yüzyıldan bu yana fonksiyonel gıda geliştirme ve fırın ürünlerini biyolojik açıdan zenginleştirme amacıyla umut vadeden bir genetik kaynak olarak değerlendirilmektedir (Khlestkina ve ark., 2010). Mor tane rengi, kromozom 2A üzerinde yer alan **Pp3** geni ile sırasıyla 7B ve 7D kromozomlarında haritalanan tamamlayıcı **Pp-1** genlerinin etkileşimi sonucunda oluşmaktadır. Bu genetik yapı, tetraploid *Triticum durum*'un 7B kromozomundaki **Pp-B1** ve hekzaploid *Triticum aestivum*'un 7D kromozomundaki **Pp-D1** alelleri aracılığıyla tanımlanmıştır (Tereshchenko ve ark., 2012). Söz konusu pigmentasyon genleri, Etiyopya'nın Habeş bölgesinden orijinlenen tetraploid buğday türü *Triticum turgidum* subsp. *abyssinicum* Vavilov'dan modern buğday genotiplerine başarıyla aktarılmıştır (Martinek ve ark., 2014).

Triticum aethiopicum türünde gözlenen kılçıksızlık özelliği, *Triticum* cinsine özgü olmayan çekinik bir gen tarafından kontrol edilmektedir (Goncharov ve ark., 2003). Buğdayın yabani akrabaları arasında yalnızca B genomunun donörü olan *Aegilops speltoides*'te, kılçıksız glumaların çekinik bir genetik karakter olarak kalıtıldığı gösterilmiştir (Badaeva ve ark., 2018).



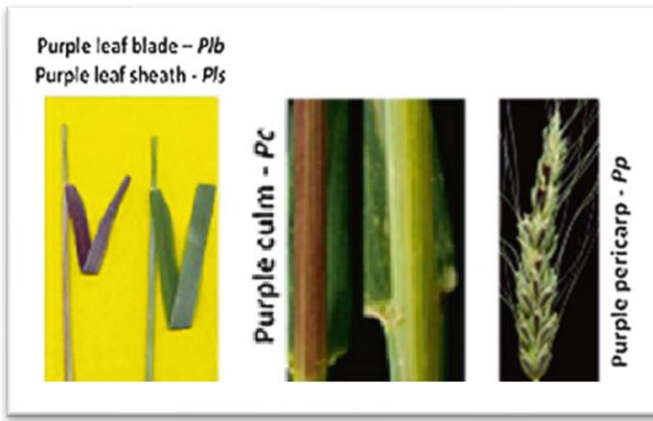
Şekil 4. N.I. Vavilov (1927) ve JERBE (2012) keşifleri tarafından *T. aethiopicum* örnekleri toplama alanlarının şematik haritası. Kırmızı sayılar 2A:4B translokasyonu olmayan katılımları, siyah sayılar bu translokasyonu taşıyan katılımları, yeşil sayılar translokasyonu ve inversiyonu aynı anda taşıyan katılımları gösterir. Karelerdeki kırmızı noktalar "Etiyopya" tipinde kromozom 1B'nin varlığını, mavi noktalar "Fas" tipinde kromozom 5B'nin varlığını, parlak yeşil noktalar "durum" tipinde kromozom 5B'nin varlığını gösterir. Çift nokta, aynı anda karşılık gelen işaretleyici kromozomların iki varyantını taşıyan katılımları gösterir (Badaeva ve ark., 2018).

4. MOR BUĞDAYDA ANTOSİYANİN BİYOSENTEZİNİN YAPISAL GENLERİ

Antosiyanin biyosentezinde görev alan enzimleri kodlayan genler, yapısal genler olarak tanımlanmaktadır. Antosiyanin biyosentez yolu, flavonoid biyosentez yolları ağacının bir dalını oluşturmaktadır (Winkel-Shirley, 2001).

Buğdayda antosiyanin pigmentleri, bitkinin farklı morfolojik bölgelerinde çeşitli renklendirme örüntüleri sergilemektedir. Bu pigmentasyon; mor renk (kılçıklar, kulakçıklar, yaprak kınları, glumalar, anterler ve tane perikarpı), kırmızı/mor renk (koleoptil ve kulakçıklar) ve mavi renk (aleuron tabakası) biçiminde gözlemlenmektedir.

Buğday bitkisinin farklı doku ve organlarındaki antosiyanin pigmentasyonunun genetik kontrolüne ilişkin çok sayıda gen tanımlanmış ve bunların kromozomal konumları haritalanmıştır (McIntosh ve ark., 2013).



Şekil 5. Buğday bitkisinin farklı kısımlarında antosiyanin pigmentasyonu (Khlestkina, 2012).

Buğday tanesinin renk özellikleri, tanede biriken pigmentlerin türü ve lokasyonuna bağlı olarak belirlenmektedir. Mavi aleuron tabakası, antosiyanin varlığıyla ilişkilendirilmiş *Ba* genleri tarafından; mor perikarp dokusu, *Pp* genleriyle; sarı endosperm ise karotenoidlerin biyosentezinden sorumlu *Psy* genleriyle kontrol edilmektedir (Martinek ve ark., 2014). Son yıllarda, kalkon sentaz enziminin buğdaydaki biyosentetik yoluna ilişkin moleküler mekanizmaların aydınlatılmasına yönelik önemli adımlar atılmış ve ilgili gen dizisi tanımlanmıştır (Trojan ve ark., 2014). Modern heksaploid buğday çeşitlerinde kırmızı tane rengi, genetik olarak üç baskın alel *R-A1* (3AL), *R-B1* (3BL) ve *R-D1* (3DL) tarafından kontrol edilmektedir. Bu aleller, flavonoid yolları üzerinden kateşin ve tanen türevlerinin perikarp dokusunda birikimini yönlendirerek kırmızı renk oluşumuna neden olur. Buna karşılık, beyaz tane rengi ise söz konusu genlerin çekinik formları olan *r-A1*, *r-B1* ve *r-D1*

alelleriyle belirlenmektedir (Himi ve Noda, 2005). Buğday tanesindeki kırmızı renk, perikarp dokusunda kateşin ve tanen türevlerinin birikimi sonucunda oluşmaktadır. Mor karyopsisli buğday çeşitlerinde, perikarp tabakasında özellikle *siyanidin-3-glikozit* adlı antosiyaninin birikimi baskın pigmentasyonu oluşturmaktadır (Musilova ve ark., 2013).

Mavi karyopsisli buğday çeşitlerinde, antosiyanin bileşiği *delfinidin-3-glikozit*'in aleuron tabakasında birikimi karakteristik bir özelliktir (Abdel-Aal ve Hucl, 2003). Bu pigmentasyon, kromozom 4B üzerinde yer alan ko-dominant *Ba1* geni veya kromozom 4A'daki *Ba2* geni tarafından genetik olarak kontrol edilmektedir. İlgili genetik materyalin buğday genomuna, henüz tanımlanmamış bir tür aracılığıyla disomik ikame yoluyla introgresyon (gen aktarımı) sürecinde kazandırıldığı bildirilmektedir (Zeven, 1991).

Buğday tanesindeki sarı renk, endosperm dokusunda biriken karotenoid pigmentlerinden kaynaklanmaktadır (Howitt ve ark. 2009). Karotenoid biyosentezinden sorumlu temel genetik elemanlar olan *Psy1* ve *Psy2* genleri, sırasıyla homolog kromozom grupları 7 ve 5 üzerinde lokalize edilmiştir (Pozniak ve ark., 2007). Bu genler, karotenoidlerin sentezi için gerekli enzimleri kodlamakta olup, sarı pigmentasyonun genetik kontrolünde kilit rol oynamaktadır.

Mor tane rengi, Etiyopya'nın Habeşistan bölgesinden köken alan tetraploid buğday türü *Triticum turgidum* L. subsp. *abyssinicum*'dan aktarılan mor perikarp pigmentasyonu ile ilişkili *Pp* genleri tarafından belirlenmektedir. Bu renklenme, buğday tanesinin yüzey tabakasında (perikarp) biriken antosiyanin pigmentleri ile karakterize edilir.

Monosomik analizler sonucunda, *Purple Feed* çeşidinde sırasıyla kromozom 7B ve 7A üzerinde lokalize olan *Pp1* ve *Pp2* genleri tanımlanmıştır. Buna karşılık, *Purple* çeşidi hem *Pp1* hem de 2A kromozomunda yer alan *Pp3* genlerini içermektedir (Arbuzova ve Maystrenko, 2000). Takip eden genetik çalışmalar *Pp3* geninin, 2A kromozomunun sentromerik bölgesinde konumlanmış iki alelden oluştuğunu ve bunların *Pp3a* ile *Pp3b* olarak adlandırıldığını ortaya koymuştur (Dobrovolskaya ve ark., 2006; Martinek ve ark., 2014). Mor tane özelliği, yalnızca antosiyanin birikimi ile değil, aynı zamanda mikro besin içeriklerindeki artışla da ilişkilendirilmekte olup bu özellik fonksiyonel gıda gelişimi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Fisenko ve Dragovich, 2023).

Triticum aethiopicum ($2n = 28$), mor tane rengi ile ilişkili genetik materyalin buğday türleri içerisindeki temel kaynağını temsil etmektedir. Mor buğday, antik Habeş buğdayı (*T. aethiopicum*) ile Kavılca buğdayı (*Triticum dicoccum*) arasında oluşmuş bir melez olarak tanımlanmaktadır. Doğal pigment içeriği ve potansiyel sağlık yararları nedeniyle, mor taneli tetraploid buğday günümüzde giderek artan bir ilgiyle karşılanmakta ve fonksiyonel gıda üretiminde önemli bir genetik kaynak olarak değerlendirilmektedir. Yumuşak buğdayda (hekzaploid *T. aestivum*), antosiyanin biyosentezinin genetik düzenleyici ağının merkezinde, MYB-benzeri *TaPpm1* ve bHLH-1/MYC-benzeri *TaPpb1* transkripsiyon faktörleri yer almaktadır. Söz konusu genler, sırasıyla kromozom 2A ve 7D üzerinde lokalize edilmiş olup, antosiyanin biyosentez yolundaki yapısal genlerin transkripsiyonunu eşzamanlı ve tamamlayıcı şekilde aktive ederek pigment sentezinin düzenlenmesini sağlamaktadır (Fisenko ve Dragovich, 2023).

Mevcut çalışmalar, buğday tanesinin mor renklenmesinin *Pp* genleri; kırmızı renklenmesinin ise *R* genleri aracılığıyla genetik olarak kontrol edildiğini göstermektedir. Buna karşın, mavi aleuron renginin genetik temeline ilişkin araştırmalar henüz yeterli düzeyde değildir ve bu konuda daha fazla çalışma gerekmektedir. Mor perikarp pigmentasyonu, tetraploid buğday türlerinde tek baskın gen ile katılırken; hekzaploid buğday çeşitlerinde iki inkomplet (eksik) baskın genin etkileşimiyle aktarılmaktadır. Mavi aleuron renk özelliği ise, *Triticum monococcum* L. spp. *aegilopoides*, *Thinopyrum ponticum* (*Agropyron elongatum*) ve *Th. bessarabicum* gibi yabani buğday akrabalarından, genetik introgresyon yoluyla kazanılan *Ba* genleri tarafından kontrol edilmektedir (Garg ve ark., 2016).



Şekil 6. Buğday tanesinin rengi, farklı tane katmanlarında antosiyanin birikmesinden kaynaklanır: a) beyaz (antosiyanin yok), b) mor perikarp (*Pp*), c) mavi aleuron (*Ba*) ve d) koyu mor (*Ba+Pp*) (Böhmdorfer ve ark., 2018).

Haritalama çalışmaları, mor perikarp özelliğinin 7D ve 2A kromozomları üzerinde bulunan iki tamamlayıcı gen aracılığıyla genetik olarak kontrol edildiğini ortaya koymuştur (Jiang ve ark., 2018). Buğday bitkisindeki antosiyanin pigmentasyonu; *Rc* (koleoptil), *Pc* (gövde), *Plb* (yaprak ayası), *Pls* (yaprak kını), *Pp* (tane perikarpı), *Pan* (anterler) ve *Ra* (kulakçıklar) genlerinin baskın alelleri tarafından yönlendirilmekte ve bitkinin farklı organlarında mor renklilik biçiminde ifade edilmektedir (Tereshchenko ve ark., 2013). Pigmentasyonun yoğunluğunu belirleyen güçlü aleller, yapısal genlerin daha yoğun transkripsiyonunu indükleyerek, antosiyanin biyosentez ağında düzenleyici rollerini gösterir (Morgounov ve ark., 2020).

Buğday perikarpındaki antosiyanin biyosentez yolunun aktivasyonu, sırasıyla kromozom 2A ve kromozom 7'nin homoeolog grubunda haritalanan iki tamamlayıcı gen olan *Pp3* ve *Pp-1* tarafından kontrol edilmektedir. Son yıllarda bu genlerin moleküler işlevleri detaylandırılmıştır. *Pp3* geninin işlevsel bir adayı olarak, bHLH protein alanına sahip bir transkripsiyon faktörünü kodlayan *TaMyc1* geni önerilmiştir (Shoeva ve ark., 2014). Bu genin baskın ve çekinik alelleri arasındaki işlevsel farklılık, promotör bölgesinde yer alan

tandem tekrar dizilerinin kopya sayısındaki varyasyona dayanmaktadır (Jiang ve ark., 2018). Antosiyanin biyosentezinin aktivasyonu için gerekli olan diğer tamamlayıcı gen *Pp-1*, buğday bitkisinin farklı dokularında pigmentasyon oluşturma sürecinde pleiotropik etkilere sahiptir. Bu gen, *R2R3-MYB* transkripsiyon faktör ailesine ait bir düzenleyici proteini kodlamaktadır (Himi ve Taketa, 2015).

Pek çok bitki türünde, antosiyanin biyosentez yolu kapsamlı biçimde karakterize edilmiş ve ilgili yapısal ve düzenleyici genler izole edilmiştir. Bu biyosentetik süreç, *R2R3-MYB*, *bHLH* ve *WD40* proteinlerinden oluşan bir transkripsiyonel düzenleyici kompleks olan MBW kompleksi aracılığıyla kontrol edilmektedir (Koes ve ark., 2005). MBW kompleksinde yer alan *WD40* proteini, *MYB* ve *bHLH* transkripsiyon faktörleri arasındaki etkileşimi kolaylaştırmakta ve kompleksin yapısal stabilitesini sağlamaktadır. Ancak, *WD40* proteininin kendisi doğrudan DNA bağlayıcı özelliğe veya hedef gen ekspresyonunu başlatma kapasitesine sahip değildir; bunun yerine bir moleküler yerleştirme platformu olarak işlev görmektedir (Hichri ve ark., 2010).

Bitki MYB transkripsiyon faktörleri, çeşitli fizyolojik ve metabolik süreçlerde görev alan çok sayıda üyeye sahip geniş bir protein ailesini temsil etmektedir (Nesi ve ark., 2001). Bu faktörlerin ortak özelliği, genellikle bir ila dört arasında değişen kusurlu MYB tekrar (R) bölgelerine sahip olmalarıdır. Bu tekrarlar, DNA bağlanma aktivitesi ve protein-protein etkileşimlerinde bireysel veya birlikte görev alarak düzenleyici işlev görmektedir (Feller ve ark., 2011). Bu grup içerisinde yer alan *R2R3-MYB* tipi transkripsiyon faktörleri, N-terminal bölgelerinde iki kusurlu tekrar (*R2* ve *R3*) bulundurulur ve antosiyanin biyosentezinin transkripsiyonel düzenlenmesinde en yaygın ve fonksiyonel alt sınıf olarak kabul edilmektedir (Nesi ve ark., 2001).

Korunan *R3* tekrar bölgesi, antosiyanin biyosentez yolunda görev alan *bHLH* yardımcı transkripsiyon faktörleriyle etkileşime girmede kritik bir rol üstlenirken, hedef gen ekspresyonunu düzenleyen *C-terminal* bölgesi yapısal olarak değişkendir (Hichri ve ark., 2011). *bHLH* proteinleri, *MYB* faktörleriyle birlikte antosiyanin biyosentezinde görev alan başlıca transkripsiyonel düzenleyicilerden biridir. *bHLH* proteinlerinin yapısı, DNA'ya özgü bağlanmayı sağlayan temel bir bölge ile homo- veya heterodimer oluşumuna olanak tanıyan heliks–loop–heliks (*HLH*) motifinden oluşmaktadır. Model bitki

Arabidopsis thaliana'da bHLH proteinlerinin antosiyanin biyosentezini aktive ettiği gösterilmiş olup, bu proteinler filogenetik olarak “III_f” kladında sınıflandırılmaktadır (Heim ve ark., 2003). Bu transkripsiyon faktörleri, özgül zamansal ve mekansal gen ifadesi profilleriyle karakterize edilir ve hem çevresel sinyaller hem de bitkisel gelişim süreçleri tarafından regüle edilerek dokularda farklı pigment dağılımları oluşturmaktadır (Ramsay ve Glover, 2005).

Transkripsiyon faktörleri (*TF'ler*) olan *bHLH* ve *MYB* proteinlerine ait promotör veya kodlama bölgelerinde meydana gelen mutasyonlar, bu faktörlerin alt akıştaki yapısal genleri aktive etme kapasitelerinde değişikliklere yol açmaktadır. Bu genetik varyasyonlar, antosiyanin pigmentasyonuna ilişkin renk yoğunluğu ve dağılımındaki farklılıkların oluşmasında temel belirleyicilerdendir (Rahman ve ark., 2013). Hekzaploid buğdayda antosiyanin birikimi; koleoptil, yaprak, gluma, gövde, anter ve perikarp gibi çeşitli dokularda gözlemlenmektedir. Perikarp renginin genotipler arasında beyaz, kırmızı, mavi ve mor olmak üzere farklı biçimlerde ifade edildiği bildirilmiştir. Özellikle perikarp dokusunda biyoaktif antosiyanin bileşikleriyle zenginleşmiş mor taneli çeşitler, fonksiyonel özellikleri bakımından önemli bir germplazm kaynağı olarak buğday ıslah programlarında değerlendirilmektedir (Hosseinian ve ark., 2008).

Antosiyanin biyosentezine ilişkin genetik haritalama çalışmaları, mor perikarp pigmentasyonunun düzenlenmesinden sorumlu iki lokusun; *Pp-D1* (kromozom 7D) ve *Pp3* (kromozom 2A) üzerinde lokalize edildiğini ortaya koymuştur (Tereshchenko ve ark., 2012). Bu lokuslara dayalı analizler sonucunda, mor perikarp pigmentasyonu ile ilişkili *bHLH* transkripsiyon faktörünü kodlayan *Tamyc1* (KJ747954) geni izole edilmiş ve yapılan ifade analizleri bu genin mor perikarp dokusunda yüksek düzeyde transkribe edildiğini göstermiştir (Shoeva ve ark., 2014).

Renkli buğday çeşitleri arasında siyah buğday, fenolik bileşikler açısından dikkat çekici bir profil sergilemektedir. Özellikle fenolik asit ve ferulik asit olmak üzere toplam fenolik içerik düzeyi, sarı buğdaya kıyasla yaklaşık altı kat daha yüksektir. Siyah ve sarı buğday çeşitleri arasında çoğunluğu flavonoid grubuna ait olmak üzere yaklaşık 225 farklı metabolitin varyasyonu gözlemlenmiş olup, bu metabolik farklılıklar renk oluşum mekanizmalarının temelini oluşturmaktadır. Siyah buğdayda, flavonoid

biyosentez yolunun anahtar enzimlerini kodlayan *TaCHI*, *TaDFR*, *TaF3H*, *TaUGT*, *TaANS* ve *TaMT* yapısal genlerinin ekspresyon düzeyleri; diğer pigmentli buğday çeşitlerine ve geleneksel (renksiz) buğdaylara kıyasla anlamlı biçimde daha yüksektir (Dhua ve ark., 2021).

Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.; $2n = 6x = 42$, BBAADD) tanesinde antosiyanin pigmentleri, perikarp veya aleuron tabakası gibi farklı dokularda lokalize olmaktadır. Bazı genotiplerde bu dokulardaki antosiyanin birikimi, taneye mor ya da mavi bir görünüm kazandırmaktadır. Mor tane pigmentasyonunun genetik temeli, homeolog grup 7 kromozomlarının kısa kollarında yer alan *Pp-1* genleri ile kromozom 2A'nın uzun kolunda lokalize olan *Pp3* geninin etkileşimine dayanmaktadır (Dobrovolskaya ve ark., 2006; Khlestkina ve ark., 2010).

Karşılaştırmalı haritalama çalışmaları, *Pp-1* genlerinin hem mısırdaki *Cl* hem de çeltikteki *OsCl* genleri ile ortolog ilişkide olduğunu ortaya koymuştur. Bu genler, antosiyanin biyosentezinde görev alan yapısal genlerin transkripsiyonel aktivasyonunu gerçekleştiren MYB-benzeri transkripsiyon faktörlerini kodlamaktadır (Khlestkina, 2013). Benzer şekilde, *Pp3* geni hem çeltikteki *Pb/Ra* hem de mısırdaki *Lc/R* genleri ile ortolog olarak tanımlanmıştır. Bu gen, antosiyanin sentezinin düzenlenmesinde rol alan MYC-benzeri transkripsiyon faktörlerinin ekspresyonundan sorumludur (Shoeva ve ark., 2014).

5. MOR BUĞDAYDA ISLAH ÇALIŞMALARI

Mor renkli tetraploid buğday (*Triticum durum*) ilk kez 1870'li yıllarda Habeşistan'da (günümüzde Etiyopya) toplanmış, ardından Avrupa'ya taşınarak burada botanikçiler tarafından yaygın biçimde dağıtılmış ve bilimsel çevrelerde tanıtımı gerçekleştirilmiştir. Mor tane rengi özelliği zamanla ekmeklik buğday (*T. aestivum*) gen havuzuna aktarılmıştır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda mor buğday, yemlik buğdayları ayırt etmek, açık tozlaşma oranlarını belirlemek ve melezleme sistemlerinin etkinliğini artırmak amacıyla küresel düzeyde geliştirilmiştir. Takip eden süreçte, ticari mor buğday çeşitleri Avustralya, Kanada, Çin, Yeni Zelanda ve çeşitli Avrupa ülkelerinde pazara sunulmuştur. Ayrıca mor taneli yerel buğday çeşitleri Etiyopya'da halen yetiştirilmekte olup, özellikle Tigray Bölgesi'ndeki yerel pazarlarda ticari olarak bulunabilmektedir (Morgounov ve ark., 2020).

Perikarp ve/veya aleuron tabakasındaki antosiyanin pigmentasyonu, çeşitli amaçlar için genetik belirteç olarak önerilmiştir: (i) yüksek besin değerine sahip buğday genotiplerinin tanımlanması, (ii) kendine tozlaşan buğday türlerinde dış melezleme oranlarının izlenmesi, (iii) melezleme sistemlerinin geliştirilmesi ve (iv) yaygın buğdayda apomiktik formların varlığı varsayılarak apomiksisi tespitine yönelik protokol geliştirilmesi (Syed Jaafar ve ark., 2013). Mor perikarpa sahip buğday hatları genellikle daha küçük tane yapısı sergilemekle birlikte, *Fusarium head blight* (FHB) hastalığına karşı yüksek düzeyde direnç göstermektedir. Geri melezleme yöntemleri, bu geleneksel olmayan pigmentasyonun yaygın buğday genetik materyaline aktarılmasında etkin şekilde kullanılmaktadır (Martinek ve ark., 2014).

Mor tane renginin yemlik buğdayları ekmeklik türlerden ayırt edilmesinde belirteç olarak kullanılması fikriyle, ilk mor taneli hekzaploid buğday; Habeşistan kökenli tetraploid buğday hattı *E0450* ile hekzaploid buğday çeşidi *Arawa*'nın melezlenmesiyle geliştirilmiştir (Copp, 1965). 1977 yılında kışlık mor buğday çeşidi *Charcoal*, Amerika Birleşik Devletleri'nde tescillenerek piyasaya sürülmüştür (Jensen, 1977). 1986'da Yeni Zelanda kaynaklı mor buğday hatları, Batı Kanada'da hayvan yemi ve biyoetanol üretimine yönelik yeni buğday çeşitlerinin geliştirilmesinde genetik materyal olarak kullanılmıştır (Gordeeva ve ark., 2020). İnsan tüketimi için mor taneli buğdayların yetiştirilmesine dair ilk raporlar, 1981 yılında Yeni Zelanda'da tam buğdaylı ekmek üretiminde kullanılan ve ticari olarak piyasaya sunulan *Konini* çeşidine işaret etmektedir (Griffin, 1987).

Günümüzde antosiyanin içeriği artırılmış faydalı ticari buğday çeşitleri; Kanada, Çin, Japonya ve çeşitli Avrupa ülkelerinde başarıyla piyasaya sunulmuştur. Fırıncılık ve şekerleme endüstrisine yönelik bileşen üretiminde önde gelen küresel firmalardan biri olan Avusturya merkezli Backaldrin şirketi (*The Kornspitz Company*, Asten, Avusturya), "PurPur" markası altında mor buğdaydan türetilmiş yeni ticari ürünleri tescil ettirmiştir (Syed Jaafar ve ark., 2013). Kanada'da yetiştirilen mor buğday kaynaklı ürünler; tam un, kepek ve gevrek formunda olmak üzere AnthoGrain™ ticari markası altında (*InfraReady Products Ltd.*, Saskatoon, SK, Kanada) endüstriyel ölçekte üretilmektedir (Gordeeva ve ark., 2020).

Buğday ve buğday ürünlerinin antioksidan özellikleri hem genotipik varyasyonlardan hem de çevresel koşullardan anlamlı düzeyde etkilenmektedir.

Toplam fenolik içerik, antioksidan aktivite ile vanilik asit, siringik asit ve ferulik asit gibi bireysel fenolik bileşiklerin miktarları; genotip etkilerine kıyasla çevresel faktörlerden daha belirgin düzeyde etkilenmektedir (Mpofu ve ark., 2006).

Zong XueFeng ve ark. (2006), buğday tanesinin rengi ile antioksidan aktivite arasında güçlü bir korelasyon olduğunu bildirmiştir. Özellikle mavi, siyah-mor ve mor buğday taneleri; beyaz ve kırmızı renge sahip tanelere kıyasla anlamlı biçimde daha yüksek antioksidan kapasite sergilemektedir. Ancak Mpofu ve ark. (2006), tane renginin antioksidanla ilişkili parametrelerin ekspresyonunda doğrudan belirleyici bir faktör olmadığını ortaya koyarak, renk ile antioksidan içerik arasındaki ilişkinin tek yönlü olmadığını göstermiştir.

Artırılmış antosiyanin içeriğine sahip buğday tanelerinin ıslahında, mor perikarp (*Pp1* ve *Pp3*) ve mavi aleuron (*Ba1* ve *Ba2*) pigmentasyonlarından sorumlu genler, gelişmiş melezleme teknikleriyle genetik olarak piramitleştirilebilir. Ancak bu genotiplerin değerlendirilmesinde, döllerde antosiyanin içeriği ve bileşiminin nesnel ölçümlerle analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Mavi aleuron, mor perikarp ve koyu mor buğday genotiplerinin antosiyanin profillerine göre ayırt edilmesinde, kemometrik veri analizleriyle entegre edilen yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemi etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Hu ve ark., 2007). Alternatif olarak, yüksek performanslı ince tabaka kromatografisi (HPTLC) yöntemi, ayırma sağlamlığını artırmak ve analiz süresini kısaltmak amacıyla HPLC'nin yerine tercih edilebilir. Ancak *HPTLC* verilerine kemometrik analiz uygulamak, teknik karmaşıklık nedeniyle daha zorlu bir süreçtir (Ristivojevic ve Morlock, 2016).

Bir buğday ıslah programına başlanmadan önce, renkli karyopsis özelliğine sahip genotiplerin seçimi ve bunların işlevsel gıdalar olarak değerlendirilmesi, mevcut genetik materyalin ayrıntılı biçimde tanımlanmasını gerektirmektedir. Bu amaçla morfolojik belirteçler, protein bazlı belirteçler ve DNA tabanlı moleküler belirteçler kullanılabilmektedir (Zhang ve ark., 2007). DNA belirteçleri arasında yer alan mikrosatellitler, yani Basit Dizi Tekrarları (SSR), yüksek polimorfizm düzeyi ve kodominant kalıtım özellikleri sayesinde bu tür genotipik karakterizasyon çalışmalarında özellikle avantaj sağlamaktadır (Yi ve ark., 2008). Nadir tane rengine sahip buğday genetik kaynaklarında genetik benzerlik düzeyi, SSR belirteçleri kullanılarak başarıyla

değerlendirilmiş ve genetik çeşitlilik analizi gerçekleştirilmiştir (Musilova ve ark., 2013).

Badaeva ve ark. (2018), N.I. Vavilov'un 1927 yılında gerçekleştirdiği ilk ekspedisyondan tam 85 yıl sonra, 2012 yılında yürütülen "Etiyopya-Rusya Ortak Biyolojik Seferi" (*Joint Ethiopian-Russian Biological Expedition, JERBE*) kapsamında, Etiyopya'nın aynı bölgelerinden toplanan 67 farklı buğday örneği üzerinde sitogenetik analiz gerçekleştirmiştir. Çalışma, Etiyopya buğday popülasyon yapısında zamanla gerçekleşen değişimlerin, bazı spesifik kromozomal varyantların frekanslarında kaymalara ve işaretleyici yeniden düzenlenme taşıyan genotip oranlarında artışa yol açtığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, heterokromatik kromozom bölgelerindeki polimorfizm yapısının korunmuş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kromozomal yeniden düzenlenme olaylarından *2A:4B translokasyonu* ve *5A inversiyonunun* coğrafi dağılımında belirgin eşitsizlikler gözlenmiş; Eritre'den gelen buğday örneklerinin, Etiyopya'nın merkez bölgelerindeki popülasyonlardan sitogenetik olarak en fazla izole olmuş genetik yapı sergilediği belirlenmiştir. İlginç şekilde, aynı kromozomal yeniden düzenlenme varyantlarının yaygınlığına rağmen Etiyopya buğdayında düşük düzeyde genel polimorfizm saptanmış ve bu durum türün monofiletik kökenine işaret eden önemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir. *Triticum aethiopicum*'un, Etiyopya emmer buğdayı ile diğer buğday türleri arasında gerçekleşen melezleşme sonucu farklılaştığı ve sonrasında bu türlerin evrimsel süreçlerinin bağımsız şekilde devam etmiş olabileceği öne sürülmüştür. Ek olarak, Etiyopya buğdayının, *Triticum dicoccum*'un eşsiz Fas gen havuzunun oluşumuna katkıda bulunduğuna dair genetik kanıtlar elde edilmiştir.

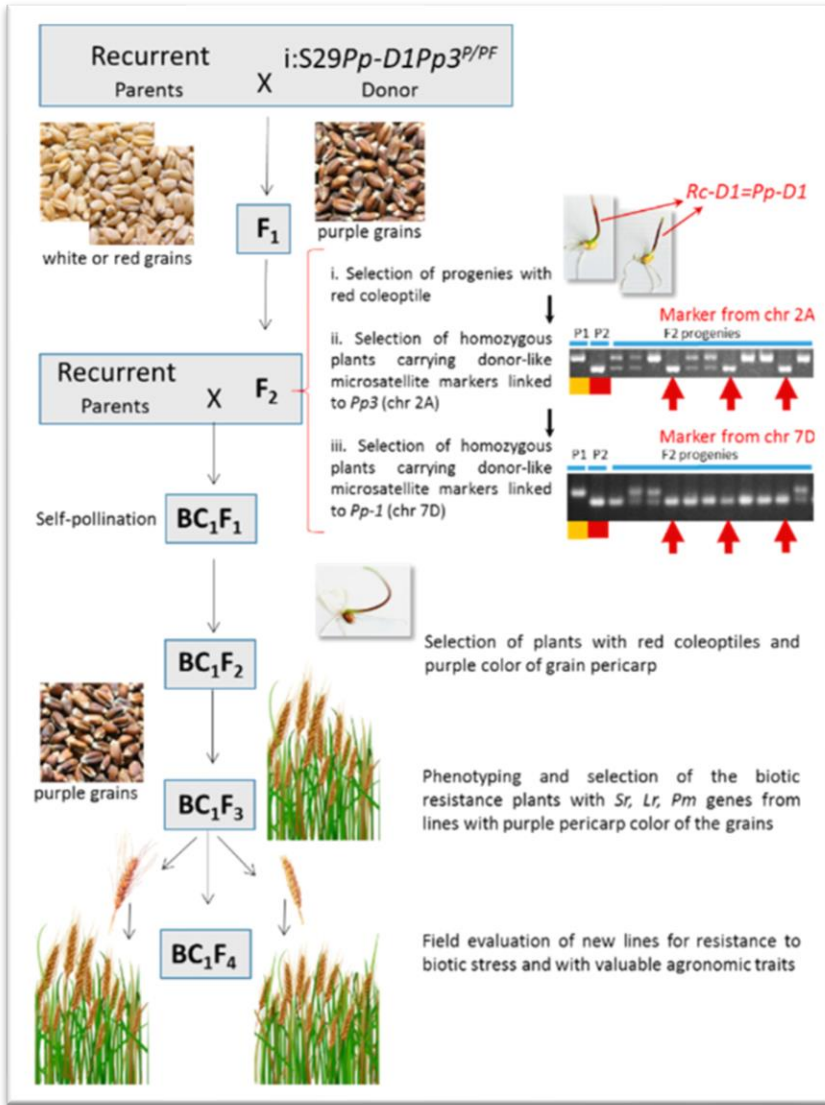
Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) bitkisinde, farklı dokulardaki antosiyanin pigmentasyonunun genetik kontrolü, belirli morfolojik genler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu genler; mor anterler, kırmızı kulakçıklar, kırmızı/mor koleoptiller, mor saplar ve kırmızı tane rengi gibi pigmentasyon özellikleriyle ilişkilidir. Bu morfolojik karakterleri kontrol eden genlerin bir kısmı, moleküler belirteçler kullanılarak ilgili kromozomlar üzerinde haritalanmıştır. (Khlestkina ve ark., 2002).

Mor buğdaya yönelik ıslah programları pek çok ülkede aktif olarak sürdürülmektedir. Ancak, *Pp* (mor perikarp) genlerinin farklı çevresel koşullarda ve ürün zinciri boyunca (tahıl-un-ekmek) tarımsal performans ve

kalite parametreleri üzerindeki etkilerine dair bilgiler hâlen sınırlıdır (Morgounov ve ark., 2020).

Fisenko ve Dragovich (2023) tarafından yürütülen çalışmada, mor taneli yumuşak buğday hatlarının geliştirilmesi amacıyla, *T. aethiopicum* k-19068 hattı, öncelikle İran yerel ırkı *T. aestivum* k-14333 ile melezlenmiştir. Elde edilen melezler, daha sonra yüksek verim potansiyeline sahip yumuşak buğday çeşidi *Liza* ile çaprazlanarak genetik materyal zenginleştirilmiştir. Geliştirilen F_6 nesil hatlar ($2n = 42$), gliadin kodlayan lokuslarda düşük düzeyde alelik çeşitliliğe sahip olup genetik çeşitlilik indeksi $H = 0,410$ olarak hesaplanmıştır. Bu hatların gliadin profilleri, büyük oranda ebeveyn çeşit *Liza*'dan kalıtımla alınan aleller tarafından domine edilmiş; *T. aethiopicum*'a özgü olabilecek hiçbir gliadin aleline rastlanmamıştır. Mor ve beyaz taneli hat grupları arasında yapılan karşılaştırmalar, verim ve bitki yapı elemanları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığını göstermiştir. Ayrıca, yüksek antosiyanin içeriği ile tahıl verimliliği arasında negatif bir korelasyon belirlenmemiştir.

Çek Cumhuriyeti'nde yürütülen bir kışlık buğday ıslah programı, farklı genetik kaynakları bir araya getirerek koyu renkli tane yapısına sahip hatların geliştirilmesini hedeflemiştir. Bu programda, yüksek verim potansiyeli, iyi pişirme kalitesi ve önemli tarımsal özellikleri taşıyan genotipler kullanılmıştır (Martinek ve ark., 2014).



Şekil 7. Antosiyanin Açısından Zengin Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Geliştirilmesine Yönelik Islah Stratejisi (Gordeeva ve ark., 2020).

Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) için yürütülen ıslah çalışmalarında, antosiyanin yönünden zengin genotiplerin geliştirilmesine yönelik strateji; elit yazlık buğday çeşitleri ve ümitvar ıslah hatlarını temel almaktadır (Şekil 7). Bu amaçla, mor pigmentasyondan sorumlu *Pp3* ve *Pp-D1* genlerini taşıyan, kromozom 2A ve 7D üzerinde cv. *Purple Feed* (PF)

introgresyonları bulunan yakın-izogenik hat *i: S29 PpD1Pp3 PF*, donör genetik materyal olarak kullanılmıştır. Islah sürecinde, üç aşamalı seçim stratejisi uygulanmıştır:

1. Koleoptil pigmentasyonu değerlendirmesi
2. Donör benzeri homozigot *Pp3* SSR lokuslarına dayalı genotipleme
3. Donör benzeri homozigot *Pp-D1* SSR lokuslarına dayalı genotipleme

Seçilen F_2 bireyleri, tekrarlayan ebeveynlerle geri melezlemeye tabi tutulmuş; koyu kırmızı koleoptil fenotipine sahip BC_1F_2 jenerasyonu bireyleri, kendi kendine tozlaştırılarak BC_1F_3 jenerasyonu tohumları elde edilmiştir. Bu aileler arazi koşullarında değerlendirilmeye alınmıştır. Perikarp rengi ayrımı gözlenmeyen, ancak küf ve pas hastalıklarına dirençli ailelerden bireysel bitkiler seçilmiş; bu seçilmiş genotipler hem tane kalitesi hem de agronomik özellikler açısından BC_1F_4 jenerasyonunda karakterize edilmiştir (Gordeeva ve ark., 2020).

Syed Jaafar ve ark. (2013), mor perikarp veya mavi aleuron özelliklerini taşıyan buğday çeşitlerinde farklı antosiyanin bileşimlerinin bulunması nedeniyle, kırmızı, mor ve mavi tane rengine sahip genotipler arasında melezlemeler gerçekleştirmiştir. Elde edilen melez döller, birkaç döngü boyunca görsel renk puanlaması yöntemiyle seçilmiştir. Islah sürecinin ilerleyen aşamalarında, F_5 jenerasyonuna ait hacimli tohum örnekleri; toplam antosiyanin içeriği açısından UV-VIS spektrofotometrisi ve HPLC-MS analizleri ile değerlendirilmiştir. Bulgular, mor perikarp ve mavi aleuron pigmentasyonlarından sorumlu genetik altyapıların kombinasyonunun, antosiyanin içeriğini artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Döllerin çoğu, mor ve mavi kontrollü çeşitler arasında yer almış olsa da bu gen kombinasyonlarıyla içeriğin optimize edilmesi mümkün görülmüştür. Ayrıca, tane rengine yönelik görsel puanlama yöntemi; erken ıslah nesillerinde hızlı, güvenilir ve etkili bir seçim aracı olarak tanımlanmıştır. Antosiyanin içeriği yüksek gelişmiş hatlar, basit ekstraksiyon protokolleri ve spektrofotometrik ölçümler ile tanımlanabilir durumdadır.

Kırmızı veya beyaz taneli ve mor taneli buğdaylar arasındaki melezlemeler, beyaz ve kırmızı tanelere kıyasla mor tane özelliğinin baskın olduğunu göstermiştir (Dobrovolskaya ve ark., 2006). Arbuzova ve ark. (1998) kırmızı taneli buğday çeşidi ‘Saratovskaya 29’un genetik arka planında Avustralyalı ‘Purple Feed’ ve Kanadalı ‘Purple’ çeşidinden kaynaklanan mor

renk genlerini taşıyan yakın-izogenik iki hat geliştirmiştir. Yapılan monosomik analizler sonucunda, *Purple Feed* çeşidinden gelen genler sırasıyla kromozom 7B üzerinde *Pp1* ve kromozom 6A üzerinde *Pp2* lokuslarıyla ilişkilendirilmiş; *Purple* çeşidinden gelen genler ise kromozom 7B üzerinde *Pp1* ve kromozom 2A üzerinde *Pp3* lokuslarına eşlenmiştir (Arbuzova ve Maystrenko, 2000).

Kanada'nın Saskatchewan bölgesinde yürütülen daha güncel bir çalışmada, dokuz farklı mor buğday genotipi üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, antosiyanin içeriği ve bileşiminin hem genotipik farklılıklardan hem de genotip ile çevre etkileşiminden ($G \times E$) anlamlı derecede etkilendiği belirlenmiştir (Abdel-Aal ve ark., 2016).

Antosiyanin içeriği üzerinde kaynak-depo (source-sink) ilişkisinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Başakta tane konumu, antosiyanin miktarını belirlemede kritik rol oynamakta olup, distal konumdaki tanelerde antosiyanin içeriğinin belirgin biçimde azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kaynak kapasitesinin azaltılması, antosiyanin seviyelerinde %25 ila %50 oranında düşüşe neden olmuştur (Bustos ve ark., 2012). Öte yandan, ısı stresi koşulları buğday tanelerindeki antosiyanin birikimini pozitif yönde etkilemektedir (Li ve ark., 2018). Besin yönetimi açısından değerlendirildiğinde, azot ve fosforun birlikte uygulanması, aralarında iki mor taneli buğday çeşidinin de bulunduğu altı farklı genotipte antioksidan aktivitenin artmasına neden olmuştur (Ma ve ark., 2018). Bitkinin fosfor kullanımında rol alan mor asit fosfatazlar (PAP'ler), *metalo-fosfoesteraz* enzim ailesinin önemli üyeleri arasında yer almakta ve fosfor beslenmesi açısından hayati bir işlev üstlenmektedir (Hou ve ark., 2025).

Knivel ve ark. (2009), Kanada'nın Saskatoon bölgesinde yürütülen çalışmada, iki sezon boyunca mavi ve mor perikarplı adaptasyon kazanmış yazlık buğday hatlarını incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, antosiyanin konsantrasyonu açısından genotipler arasında istatistiksel olarak anlamlı varyasyon tespit edilmiştir. Buna karşın, yıl etkisi ile genotip-yıl etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, çevresel yıl değişkenliğine karşı antosiyanin ekspresyonunun genotip düzeyinde stabil seyretmesi nedeniyle, ilgili özelliğin genetik seleksiyonunda ıslah sürecini kolaylaştırıcı bir avantaj sunmaktadır.

Mor buğday genotiplerinin çevresel stres koşullarına karşı gösterdiği tolerans, antosiyanin birikimi ile doğrudan ilişkilidir. Saha denemeleri, orta düzeydeki ısı stresinin mor buğday tanelerinde antosiyanin seviyesini

artırdığını ve bu durumun bitkinin oksidatif strese karşı savunma mekanizmalarını güçlendirdiğini ortaya koymuştur.

Kuraklık, tuzluluk ve diğer abiyotik stres koşulları altında benzer adaptasyon mekanizmalarının etkin hale gelmesi, mor buğdayı zorlu yetiştirme alanları için değerli bir genetik kaynak konumuna getirmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, mor buğday genotipleri; iklim değişikliği ve artan kuraklık riski bağlamında yürütülecek gelecekteki ıslah programlarına stratejik olarak entegre edilmelidir (Li ve ark., 2018).

Oklahoma State Üniversitesi'nin 2024 yılı saha raporu, markör destekli geri melezleme (MABC) stratejisiyle geliştirilen *OK21DTR1720-92* hattının, *Canadian Western Red Spring (CWRS)* genotipleri temel alınarak mor perikarp özelliğini koruduğunu ve aynı zamanda un kalitesi parametrelerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını ortaya koymuştur. Geliştirilen bu hat, tam un (whole-meal) formunda ortalama 25 µg/g düzeyinde antosiyanin içeriğine ulaşmakta olup, endüstriyel fırıncılık uygulamaları açısından fonksiyonel bir katkı potansiyeli sunmaktadır. Elde edilen bulgular, mor perikarp pigmentasyonunun sabit tutulduğu genotiplerde hem yüksek verimlilik hem de işlenebilirlik hedeflerinin aynı anda sürdürülebilir biçimde gerçekleştirilebildiğini göstermektedir (Carver ve ark., 2024).

2025 yılında yürütülen çalışmada, *Hengzi151* mor buğday hattı üzerinde gerçekleştirilen entegre metabolomik ve transkriptomik analizler; pigmentasyon karakteristiğini belirleyen yapısal genler ile transkripsiyon faktörlerinin tanımlanmasına önemli katkı sağlamıştır. Özellikle *PAL*, *CAD* ve *CHS* gibi fenilpropanoid yolunun temel enzimlerini kodlayan genlerin, mor perikarp dokusunda beyaz buğday varyetesine kıyasla anlamlı düzeyde aşırı ifade edildiği saptanmıştır. Aynı zamanda, *MYB*, *bHLH* ve *WD40* ailesine ait transkripsiyon faktörlerinin renk oluşumuna etkileri, güçlü gen-koşullu ağ analizleri ile doğrulanmıştır. Bu veriler, mor buğday ıslahında antosiyanin biyosentez yollarının optimize edilmesi için potansiyel moleküler hedeflerin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Zhang ve ark., 2025).

KAYNAKÇA

- Abdel-Aal, E. S. M., Hucl, P. (2003). Composition and stability of anthocyanins in blue-grained wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2174-2180
- Abdel-Aal, E. S. M., Hucl, P., Shipp, J., Rabalski, I. (2016). Compositional differences in anthocyanins from blue-and purple-grained spring wheat grown in four environments in Central Saskatchewan. *Cereal Chemistry*, 93(1), 32-38.
- Akman, H., Karaduman, Y., & Zengin, G. (2025). Assessing phytochemical composition, technological quality, and yield traits of blue, purple, and black wheat genotypes for colored wheat-derived products. *Journal of Cereal Science*, 123, 104159.
- Arbuzova, V. S., Maystrenko, O. I., & Popova, O. M. (1998). Development of near-isogenic lines of the common wheat cultivar ‘Saratovskaya 29’. *Cereal Research Communications*, 26, 39-46.
- Arbuzova, V. S., & Maystrenko, O. I. (2000). Chromosomal location of genes for purple grain colour introgressed in common wheat. *Cereal Research Communications*, 28, 235-237.
- Badaeva, E. D., Shishkina, A. A., Goncharov, N. P., Zuev, E. V., Lysenko, N. S., Mitrofanova, O. P., ... & Kudriavtsev, A. M. (2018). Evolution of *Triticum aethiopicum* Jakubz. from the position of chromosome analysis. *Russian Journal of Genetics*, 54, 629-642.
- Belay, G., Tesemma, T., Bechere, E., & Mitiku, D. (1995). Natural and human selection for purple-grain tetraploid wheats in the Ethiopian highlands. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 42, 387-391.
- Böhmendorfer, S., Oberlerchner, J. T., Fuchs, C., Rosenau, T., & Grausgruber, H. (2018). Profiling and quantification of grain anthocyanins in purple pericarp× blue aleurone wheat crosses by high-performance thin-layer chromatography and densitometry. *Plant Methods*, 14, 1-15.
- Brandolini, A., Castoldi, P., Plizzari, L., & Hidalgo, A. (2013). Phenolic acids composition, total polyphenols content and antioxidant activity of *Triticum monococcum*, *Triticum turgidum* and *Triticum aestivum*: A two-years evaluation. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 123-131.

- Bustos, D. V., Riegel, R., & Calderini, D. F. (2012). Anthocyanin content of grains in purple wheat is affected by grain position, assimilate availability and agronomic management. *Journal of Cereal Science*, 55(3), 257-264.
- Carver, B. F., Wang, Y., & Zhang, H. (2024). Wheat variety development. In *OSU Wheat Research Report 2024*. Oklahoma State University Agricultural Experiment Station. <https://agresearch.okstate.edu/research/wheat-report/2024/wheat-variety-development-2024.html>
- Chuprina, Y. Y., Klymenko, I. V., Golovan, L. V., Buzina, I. M., Belay, Y. M., Mikheev, V. H., ... & Khainus, D. D. (2021). Variability of morphological markers and vegetation period of spring wheat samples of different ecological and geographical origin. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 241-248.
- Copp, L. G. L. (1965). Purple grain in hexaploid wheat. *Wheat Inf. Serv.* 20, 18.
- Çebi, K., & Yangılar, F. (2024). Evaluation of α -glucosidase inhibitor activity and bioactive compounds in purple wheat flour yogurts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 135373.
- Dhua, S., Kumar, K., Kumar, Y., Singh, L., & Sharanagat, V. S. (2021). Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 780-794.
- Dobrovolskaya, O., Arbuzova, V. S., Lohwasser, U., Röder, M. S., & Börner, A. (2006). Microsatellite mapping of complementary genes for purple grain colour in bread wheat (*Triticum aestivum*) L. *Euphytica*, 150, 355-364.
- Feller, A., Machemer, K., Braun, E. L., & Grotewold, E. (2011). Evolutionary and comparative analysis of MYB and bHLH plant transcription factors. *The Plant Journal*, 66(1), 94-116.
- Fisenko, A. V., & Dragovich, A. Y. (2023). On the Use of the Genetic Resources of Tetraploid Wheat *Triticum aethiopicum* for the Development of Purple-Grain Soft Wheat with a High Content of Anthocyanins. *Russian Journal of Genetics*, 59(8), 846-850.
- Garg, M., Chawla, M., Chunduri, V., Kumar, R., Sharma, S., Sharma, N. K., ... & Singh, S. P. (2016). Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science*, 71, 138-144.

- Goncharov, N. P., & Konovalov, A. A. (1996). Inheritance of glucose phosphate isomerase, awnedness, hairy glume, and growth habit in *Aegilops speltoides* and *Aegilops aucheri*. *Генетика*, 32(5), 656-662.
- Goncharov, N. P., Mitina, R. L., & Anfilova, N. A. (2003). Inheritance of awnlessness in tetraploid wheat species. *Russian Journal of Genetics*, 39, 463-466.
- Gordeeva, E., Shamanin, V., Shoeva, O., Kukoeva, T., Morgounov, A., & Khlestkina, E. (2020). The strategy for marker-assisted breeding of anthocyanin-rich spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Siberia. *Agronomy*, 10(10), 1603.
- Griffin, W. B. (1987). Outcrossing in New Zealand wheats measured by occurrence of purple grain. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30(3), 287-290.
- Guo, Z. F., Zhang, Z. B., Xu, P., & Guo, Y. N. (2013). Analysis of nutrient composition of purple wheat. *Cereal Research Communications*, 41, 293-303.
- Hailu Kassegn, H. (2018). Determination of proximate composition and bioactive compounds of the Abyssinian purple wheat. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1421415.
- Heim, M. A., Jakoby, M., Werber, M., Martin, C., Weisshaar, B., & Bailey, P. C. (2003). The basic helix-loop-helix transcription factor family in plants: a genome-wide study of protein structure and functional diversity. *Molecular Biology and Evolution*, 20(5), 735-747.
- Hichri, I., Heppel, S. C., Pillet, J., Léon, C., Czemmell, S., Delrot, S., ... & Bogs, J. (2010). The basic helix-loop-helix transcription factor MYC1 is involved in the regulation of the flavonoid biosynthesis pathway in grapevine. *Molecular Plant*, 3(3), 509-523.
- Hichri, I., Barrieu, F., Bogs, J., Kappel, C., Delrot, S., & Lauvergeat, V. (2011). Recent advances in the transcriptional regulation of the flavonoid biosynthetic pathway. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2465-2483.
- Himi, E., & Noda, K. (2005). Red grain colour gene (R) of wheat is a Myb-type transcription factor. *Euphytica*, 143, 239-242.

- Himi, E., & Taketa, S. (2015). Isolation of candidate genes for the barley Ant1 and wheat Rc genes controlling anthocyanin pigmentation in different vegetative tissues. *Molecular Genetics and Genomics*, 290, 1287-1298.
- Hosseinian, F. S., Li, W., & Beta, T. (2008). Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food Chemistry*, 109(4), 916-924.
- Hou, L., Zhang, D., Wu, Q., Gao, X., & Wang, J. (2025). Analysis and profiling of the purple acid phosphatase gene family in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Protoplasma*, 262(1), 73-86.
- Howitt, C. A., Cavanagh, C. R., Bowerman, A. F., Cazzonelli, C., Rampling, L., Mimica, J. L., & Pogson, B. J. (2009). Alternative splicing, activation of cryptic exons and amino acid substitutions in carotenoid biosynthetic genes are associated with lutein accumulation in wheat endosperm. *Functional & Integrative Genomics*, 9, 363-376.
- Hu, C., Cai, Y. Z., Li, W., Corke, H., & Kitts, D. D. (2007). Anthocyanin characterization and bioactivity assessment of a dark blue grained wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Hedong Wumai) extract. *Food Chemistry*, 104(3), 955-961.
- Hu, D., Cheng, S., Wei, X., & Man, C. (2025). Purple-Grain Wheat Regulation of Blood Lipids and Blood Glucose in Diet-Induced Hyperlipidemic Mice and Type 2 Diabetic Mice. *Nutrients*, 17(8), 1310.
- Jensen, N. F. (1977). Registration of Charcoal wheat germplasm (Reg. No. GP 84).
- Jiang, W., Liu, T., Nan, W., Jeewani, D. C., Niu, Y., Li, C., ... & Wang, Z. (2018). Two transcription factors TaPpm1 and TaPpb1 co-regulate anthocyanin biosynthesis in purple pericarps of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 69(10), 2555-2567.
- Khlestkina, E. K., Pestsova, E. G., Röder, M. S., & Börner, A. (2002). Molecular mapping, phenotypic expression and geographical distribution of genes determining anthocyanin pigmentation of coleoptiles in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 632-637.
- Khlestkina, E. K., Röder, M. S., & Börner, A. (2010). Mapping genes controlling anthocyanin pigmentation on the glume and pericarp in tetraploid wheat (*Triticum durum* L.). *Euphytica*, 171, 65-69.

- Khlestkina, E. K. (2013). Genes determining the coloration of different organs in wheat. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 3, 54-65.
- Khlestkina, E. K. (2014). Genes determining coloration of different organs in wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 16(1), 202-216.
- Khlestkina, E. K., Shoeva, O. Y., & Gordeeva, E. I. (2015). Flavonoid biosynthesis genes in wheat. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 5, 268-278.
- Knievel, D. C., Abdel-Aal, E. S., Rabalski, I., Nakamura, T., & Hucl, P. (2009). Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*, 50(1), 113-120.
- Koes, R., Verweij, W., & Quattrocchio, F. (2005). Flavonoids: a colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways. *Trends in Plant Science*, 10(5), 236-242.
- Lachman, J., Dudjak, J., Orsák, M., & Pivec, V. (2003). Effect of accelerated ageing on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Plant Soil and Environment*, 49(1), 1-7.
- Lachman, J., Hejtmánková, A., Orsák, M., Popov, M., & Martinek, P. (2018). Tocotrienols and tocopherols in colored-grain wheat, tritordeum and barley. *Food chemistry*, 240, 725-735.
- Li, X., Lv, X., Wang, X., Wang, L., Zhang, M., & Ren, M. (2018). Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat. *Crop and Pasture Science*, 69(12), 1208-1214.
- Liu, Q., Qiu, Y., & Beta, T. (2010). Comparison of antioxidant activities of different colored wheat grains and analysis of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9235-9241.
- Liu, Y., Qiu, J., Yue, Y., Li, K., & Ren, G. (2018). Dietary black-grained wheat intake improves glycemic control and inflammatory profile in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 247-256.
- Ma, D., Li, Y., Zhang, J., Wang, C., Qin, H., Ding, H., ... & Guo, T. (2016). Accumulation of phenolic compounds and expression profiles of phenolic acid biosynthesis-related genes in developing grains of white, purple, and red wheat. *Frontiers in Plant Science*, 7, 528.

- Ma, D., Zhang, J., Hou, J., Li, Y., Huang, X., Wang, C., ... & Guo, T. (2018). Evaluation of yield, processing quality, and nutritional quality in different-colored wheat grains under nitrogen and phosphorus fertilizer application. *Crop Science*, 58(1), 402-415.
- Martinek, P., Jirsa, O., Vaculová, K., Chrpová, J., Watanabe, N., Burešová, V., ... & Trojan, V. (2014). Use of wheat gene resources with different grain colour in breeding. *Proceedings of the Tagungsband der*, 64(1), 75-8.
- McIntosh, R. A., Yamazaki, Y., Dubcovsky, J., Rogers, J., Morris, C., Appels, R., & Xia, X. E. (2013, September). Catalogue of gene symbols for wheat. In *Proceedings of the 12th international wheat genetics symposium* (pp. 8-13). Yokohama Japan. www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp
- Morgounov, A., Karaduman, Y., Akin, B., Aydogan, S., Baenziger, P. S., Bhatta, M., ... & Khlestkina, E. (2020). Yield and quality in purple-grained wheat isogenic lines. *Agronomy*, 10(1), 86.
- Mpofu, A., Sapirstein, H. D., & Beta, T. (2006). Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1265-1270.
- Musilova, M., Trojan, V., Vyhnanek, T., & Havel, L. (2013). Genetic variability for coloured caryopses in common wheat varieties determined by microsatellite markers. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 49(3), 116-122.
- Nesi, N., Jond, C., Debeaujon, I., Caboche, M., & Lepiniec, L. (2001). The Arabidopsis TT2 gene encodes an R2R3 MYB domain protein that acts as a key determinant for proanthocyanidin accumulation in developing seed. *The Plant Cell*, 13(9), 2099-2114.
- Pozniak, C. J., Knox, R. E., Clarke, F. R., & Clarke, J. (2007). Identification of QTL and association of a phytoene synthase gene with endosperm colour in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 114, 525-537.
- Rahman MM, Lee KE, Lee ES, Matin MN, Lee DS, Yun JS, Kim JB, Kang SG. 2013. The genetic constitutions of complementary genes Pp and Pb determine the purple color variation in pericarps with cyanidin-3- O-glucoside depositions in black rice. *Journal of Plant Biology* 56, 24–31.

- Ramsay, N. A., & Glover, B. J. (2005). MYB–bHLH–WD40 protein complex and the evolution of cellular diversity. *Trends in Plant Science*, 10(2), 63-70.
- Ristivojevic, P. M., & Morlock, G. E. (2016). The influence of preprocessing methods on multivariate image analysis in high-performance thin-layer chromatography fingerprinting. *JPC-Journal of Planar Chromatography-Modern TLC*, 29(4), 310-317.
- Schwinn, K. E., & Davies, K. M. (2004). 4 Flavonoids. *Plant pigments and their manipulation*, 92.
- Shoeva, O. Y., Gordeeva, E. I., & Khlestkina, E. K. (2014). The regulation of anthocyanin synthesis in the wheat pericarp. *Molecules*, 19(12), 20266-20279.
- Syed Jaafar, S. N., Baron, J., Siebenhandl-Ehn, S., Rosenau, T., Böhmendorfer, S., & Grausgruber, H. (2013). Increased anthocyanin content in purple pericarp× blue aleurone wheat crosses. *Plant Breeding*, 132(6), 546-552.
- Tereshchenko, O., Gordeeva, E., Arbuzova, V., Börner, A., & Khlestkina, E. (2012). The D genome carries a gene determining purple grain colour in wheat. *Cereal Research Communications*, 40(3), 334-341.
- Tereshchenko, O. Y., Arbuzova, V. S., & Khlestkina, E. K. (2013). Allelic state of the genes conferring purple pigmentation in different wheat organs predetermines transcriptional activity of the anthocyanin biosynthesis structural genes. *Journal of Cereal Science*, 57(1), 10-13.
- Trojan, V., Musilová, M., Vyhnánek, T., Klejdus, B., Hanáček, P., & Havel, L. (2014). Chalcone synthase expression and pigments deposition in wheat with purple and blue colored caryopsis. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 48-55.
- Winkel-Shirley, B. (2001). Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant physiology*, 126(2), 485-493.
- Yi, Y. J., Liu, H. Y., Huang, X. Q., An, L. Z., Wang, F., & Wang, X. L. (2008). Development of molecular markers linked to the wheat powdery mildew resistance gene Pm4b and marker validation for molecular breeding. *Plant Breeding*, 127(2), 116-120.
- Zeven, A. C. (1991). Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica*, 56, 243-258.

- Zhang, L., Li, H., Wang, H., & Li, L. (2007). Genetic diversification of the Chinese wheat landrace Mazhamai as revealed by morphological characteristics, seed storage proteins, and microsatellite markers. *Canadian Journal of Plant Science*, 87(4), 763-771.
- Zhang, H., Ma, Y., & Chen, R. (2025). Metabolomic and transcriptomic profiling of purple pericarp wheat reveals key regulatory networks. *BMC Genomic Data*, 26(1), 1–13. <https://bmcgenomdata.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12863-024-01294-y>
- Zong XueFeng, Z. X., Zhang JianKui, Z. J., Li BangXiu, L. B., Yu GuoDong, Y. G., Shi YouMing, S. Y., & Wang SanGen, W. S. (2006). Relationship between antioxidation and grain colors of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agron Sin.* 32(02): 237-242.

BÖLÜM 4

ORGANİK TARIM ATIKLARININ BALIKLARDA YEM KATKISI OLARAK KULLANIMI, SÜRDÜRÜLEBİLİR BESLEME YAKLAŞIMI

Dr. Naime Filiz KARADAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15851094>

¹ Atatürk Üniversitesi. Su Ürünleri Fakültesi. filizkaradas66@gmail.com orcid no:
0000-0003-3488-3481

GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, dünya genelinde hızla büyüyen ve protein ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynayan bir gıda üretim sektörüdür. Artan dünya nüfusu ve doğal stoklardaki azalma, su ürünleri üretiminde sürdürülebilirliği daha da önemli hale getirmiştir (FAO, 2022). Bu bağlamda, yetiştiricilik faaliyetlerinde kullanılan yemlerin kalitesi ve sürdürülebilirliği, hem ekonomik verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir faktördür. Balık yemlerinin üretiminde geleneksel olarak kullanılan hammadde kaynaklarının (örneğin balık unu ve balık yağı) sınırlılığı, maliyetlerin artmasına ve çevresel baskının yoğunlaşmasına neden olmaktadır (Tacon & Metian, 2015). Bu durum, alternatif yem kaynaklarının araştırılmasını ve geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda, organik tarım atıkları gibi çevresel yükü düşük, ekonomik ve fonksiyonel bileşenler içeren materyallerin yem katkısı olarak değerlendirilmesi yönünde çalışmalar artış göstermiştir. Organik tarım uygulamaları sonucunda ortaya çıkan meyve kabukları, sebze artıkları, çekirdekler, posalar gibi biyolojik olarak zengin atıklar, balıklar için potansiyel besin kaynağı olarak değerlendirilmektedir (El-Haroun *et al.*, 2009; Chakraborty *et al.*, 2021). Bu atıklar, sadece karbonhidrat, lif, vitamin ve mineral gibi temel besin öğeleri bakımından değil, aynı zamanda antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip fenolik bileşikler yönünden de zengindir (Reverter *et al.*, 2014). Bu özellikleriyle organik tarım atıkları, yalnızca büyüme performansını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda balıkların bağışıklık sistemlerini güçlendirme potansiyeli de taşımaktadır. Özellikle ceviz (*Juglans regia*), nar (*Punica granatum*), üzüm (*Vitis vinifera*), turunçgiller (*Citrus spp.*) gibi bitkilerin kabukları ve posaları, hem antioksidan aktiviteye sahip fenolik bileşikleri içermeleri hem de kolay temin edilebilir olmaları nedeniyle balık beslemesinde dikkat çeken organik atık kaynaklarıdır (Mokrani & Madani, 2016; Gopi *et al.*, 2019). Bu tür atıkların yem formülasyonlarına uygun oranlarda katılmasıyla, hem yem maliyetlerinin azaltılması hem de üretim sistemlerinin çevresel etkilerinin düşürülmesi mümkün olabilmektedir (Klinger & Naylor, 2012). Diğer taraftan, bu tür atıkların hayvansal üretimde kullanımına yönelik çalışmalar, atıkların toksik etkilerinden arındırılması, uygun işleme tekniklerinin belirlenmesi ve etkin dozaj aralıklarının tespit edilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, balık türüne özgü sindirim fizyolojisi

ve yem tercihleri, kullanılacak atık türü ve işlenme yöntemi açısından belirleyici faktörlerdir (Suresh *et al.*, 2022). Dolayısıyla, organik tarım atıklarının balık beslemesinde kullanılabilirliğine ilişkin çalışmalar, hem deneysel hem de uygulamalı araştırmalarla desteklenmelidir.

Organik su ürünleri yetiştiriciliği geliştikçe, daha fazla tür sertifikalı programlar kapsamında üretilmekte ve daha fazla ülke toplam organik üretime katkı sunmaktadır. Balıkçılık endüstrisinin büyümesi, ekonomik ve gıda güvenliği açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak su ürünleri üretiminin hızla artması, çevresel bozulma, yem kaynaklarının sürdürülebilirliği ve hastalık salgınları gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır (Naylor *et al.*, 1998, 2000; Sapkota *et al.*, 2008). Bu gelişmeler, su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesini zorunlu kılmıştır. Sürdürülebilir akuakültür, yalnızca ekonomik verimlilikle sınırlı kalmayıp ekolojik, biyolojik ve kurumsal boyutları da kapsar. Aynı zamanda sosyal ve kültürel etkenlerle de doğrudan ilişkilidir (Mente *et al.*, 2007, 2010). Ekolojik sürdürülebilirlik; ekosistem sağlığının korunması, doğal kaynakların aşırı tüketiminden kaçınılması ve gelecek kuşakların kaynaklara erişiminin garanti altına alınması gibi temel hedefleri içerir. Biyolojik sürdürülebilirlik ise yetiştirilen balık türlerinin sağlıklı büyüme koşullarında beslenmesi ve hastalıklardan korunmasına odaklanır. Bu noktada, organik su ürünleri yetiştiriciliği, sürdürülebilir üretim anlayışıyla uyumlu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Organik üretim, çevresel etkileri minimize etmenin yanı sıra hayvan refahını gözetir ve insan tüketimi için daha sağlıklı, kaliteli ürünler sunma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda, organik akuakültüre olan ilgi, başta Avrupa olmak üzere birçok gelişmiş ülkede artış göstermiştir. Bu artışta; geleneksel üretim yöntemlerinin lezzet, doku kalitesi ve güvenilirlik açısından yetersiz bulunması, çevresel kirlenme risklerinin yükselmesi ve hayvan refahına yönelik kaygılar etkili olmuştur. Tüketici tercihlerindeki bu değişim, organik su ürünlerinin pazar payını büyütmüş ve sektöre yeni yönelimler kazandırmıştır (Wessells *et al.*, 1999).

1. Organik Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Organik su ürünleri yetiştiriciliği, geleneksel yetiştiricilik yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen, çevresel sürdürülebilirlik, hayvan refahı ve tüketici sağlığı gibi temel ilkeler üzerine inşa edilmiş bir üretim modelidir. Bu sistemde

üretim döngüsü boyunca yapay yem katkıları, kimyasal ilaçlar, antibiyotikler ve genetik olarak değiştirilmiş organizmaların kullanımı sınırlandırılmış veya tamamen yasaklanmıştır (IFOAM, 2014). Organik yetiştiricilikte amaç yalnızca çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak değil, aynı zamanda daha sağlıklı ve güvenilir hayvansal protein üretimi sağlamaktır (Bergleiter, 2011). Sektörde artan çevresel baskılar, özellikle yoğun üretim yapılan sistemlerde su kalitesinin bozulması, atık yükünün artması ve hastalıkların daha hızlı yayılması gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu olumsuzluklar, tüketici güvenini zedelemiş ve daha sürdürülebilir alternatiflere yönelimi hızlandırmıştır. Bu bağlamda organik akuakültür, doğal çevreyle daha uyumlu bir üretim yapısı sunarak çevresel etkileri minimuma indirmeyi hedeflemektedir (Mente *et al.*, 2011). Hayvan refahı açısından da organik sistemler önemli avantajlar sunmaktadır. Daha düşük stoklama yoğunlukları, daha doğal davranışların sergilenebileceği yaşam alanlarının sağlanması ve strese neden olan uygulamalardan kaçınılması gibi faktörler, balıkların sağlığını olumlu yönde etkilemektedir (Bostock *et al.*, 2009). Ayrıca, organik yetiştiricilikte kullanılan yemlerin de belirli standartlara sahip olması gerekmektedir. Organik yemler, GDO içermeyen, çevreye duyarlı yöntemlerle üretilmiş bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilmeli; sentetik katkı maddeleri içermemelidir (EU Regulation, 2018/848).

Organik su ürünlerine olan talep, özellikle gelişmiş ülkelerde her geçen yıl artmaktadır. Tüketicilerin çevre bilincinin yükselmesi, gıda güvenliğine yönelik hassasiyetin artması ve sürdürülebilir üretim yöntemlerine olan ilginin büyümesi, organik su ürünlerini tercih edilen bir seçenek haline getirmiştir (Wessells *et al.*, 2001). Avrupa'da organik balık üretimi özellikle Norveç, İrlanda ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde yaygınlaşmış olup, somon, alabalık ve levrek gibi türler bu kapsamda öne çıkmaktadır (Bergleiter, 2011). Tüm bu gelişmeler, organik su ürünleri yetiştiriciliğinin sadece bir pazarlama stratejisi değil; çevresel, etik ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da ciddi bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yüksek üretim maliyetleri, sertifikasyon süreçlerinin karmaşıklığı ve tüketici fiyatlarının geleneksel ürünlere göre yüksek olması gibi bazı yapısal engellerin de varlığı sektörde yaygınlaşmayı sınırlayabilmektedir (Sanchez-Sabate & Sabaté, 2019).

2. Organik Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Yemleme ve Beslenme

Su ürünleri yetiştiriciliğinde beslenme, yalnızca balık sağlığı ve verimliliği açısından değil, aynı zamanda üretim sisteminin ekonomik sürdürülebilirliği bakımından da kritik bir faktördür. Özellikle geleneksel üretim modellerinde yem giderleri, toplam değişken işletme maliyetlerinin yarısından fazlasını oluşturmaktadır (Rana *et al.*, 2009). Organik yetiştiricilikte ise, sertifikalı yemlerin maliyeti daha yüksek olup, çoğunlukla %50 oranında ek maliyetle satılmaktadır. Ancak yem dönüşüm oranlarının iyileştirilmesi bu maliyetin dengelenmesine katkı sağlayabilmektedir (Bergleiter *et al.*, 2009). Beslenme kavramı, sadece dışsal yem kaynaklarının sunumunu değil; organizmanın temel yaşamsal süreçlerini destekleyecek besin maddelerinin alınmasını sağlayan tüm mekanizmaları kapsamaktadır (Guillaume *et al.*, 1999). Bu kapsamda hem dış (doğal veya yapay yemler) hem de iç besin kaynakları, besleme davranışı ve uygulanan yemleme teknikleri birlikte değerlendirilmelidir.

Organik su ürünleri yetiştiriciliğinde temel amaçlardan biri, yetiştirilen canlıların doğal davranışlarını destekleyen, onların fizyolojik gelişimini teşvik eden ve türlerine özgü beslenme ihtiyaçlarını karşılayan bir yemleme yaklaşımı geliştirmektir (EU, 2007; 2009; KRAV, 2009; Soil Association, 2009). Bununla birlikte, kullanılan yemlerin dengeli besin içeriğine sahip olması, hayvan sağlığını ve büyüme performansını artırması, üretilen gıdanın kalitesini yükseltmesi ve çevresel etkisinin minimum düzeyde tutulması beklenmektedir.

Su ürünleri beslenme uygulamaları, yetiştiricilik sisteminin yapısına göre çeşitlilik göstermektedir. Bu farklılıklar;

- Üretim yoğunluğu (ekstensif, yarı-intensif, intensif gibi),
- Yetiştiricilik ortamı (toprak havuzları, beton tanklar, entegre tarım-akvakültür sistemleri, kapalı devre sirkülasyon sistemleri, deniz kafesleri vb.)
- ve
- Türün beslenme biyolojisi (otçul, hepçil veya etçil) gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Ayrıca, yem formülasyonlarında kullanılan hammaddeler de bu farklılıklara göre şekillenmektedir. Örneğin etçil balık türleri için hazırlanan yemlerde balık unu ve balık yağı gibi deniz kaynaklı içeriklerin bulunması

zorunlu hale gelebilmektedir. Bunun yanı sıra, pelet ve ekstrüde yemler gibi farklı üretim teknikleri de yemin sindirilebilirliği ve besin kullanılabilirliği üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, organik su ürünleri üretiminde beslenmeye dair tüm unsurlar dikkatle planlanmalı; hayvan refahını, çevresel duyarlılığı ve ekonomik verimliliği birlikte gözeten bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir.

3. Organik Yoğun Üretim Sistemlerinde Beslenme

İç su kaynaklarında (örneğin havuzlar, ağ kafesleri ve göller) yetiştiriciliği yapılan sazan, tilapia, yayın balığı, levrek, turna, coregonid türleri, mersin balığı, süt balığı, penaeid karidesleri ve tatlı su karidesleri gibi sucul türlerin beslenmesi, öncelikli olarak doğal ekosistemden sağlanan kaynaklara dayandırılmalıdır. Bu bağlamda, su kolonisi içerisinde doğal olarak bulunan sucul bitkiler, algler, planktonik organizmalar, küçük omurgasız canlılar ve detritus materyalleri temel besin kaynaklarını oluşturmaktadır (EU, 2009).

Organik ve çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yürütülen bu tür üretim sistemlerinde, dış çevreden gelen olumsuz etkileri en aza indirmek ve ekosistem bütünlüğünü korumak amacıyla, üretim alanlarının çevresinde doğal bitki örtüsüne sahip tampon bölgelerin oluşturulması önerilmektedir. Bu tampon alanlar, karasal faaliyetlerden kaynaklı kirleticilerin sucul üretim birimlerine ulaşmasını sınırlayarak hem su kalitesinin korunmasına hem de doğal dengenin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır.

4. Organik Yarı-Entansif Üretim Sistemlerinde Beslenme

Organik yarı-entansif yetiştiricilik sistemlerinde, doğal yem kaynakları yüksek besin değerine sahip olsa da miktar yönünden sınırlıdır. Bu nedenle, üretim verimliliğini artırmak amacıyla dış kaynaklı besin girdilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla hayvansal gübreler, bitkisel atıklar ve bazı mineraller (fosfat, azot, potasyum) kullanılarak sucul ortamın üretkenliği desteklenmektedir. Avrupa Birliği mevzuatında organik gübre kullanımıyla ilgili hükümler henüz netleşmemiştir. Ancak organik üretim ilkeleri gereği, yalnızca doğal kaynaklı, GDO içermeyen ve çevreye zarar vermeyen gübrelerin kullanımı mümkündür (EU, 2007; Soil Association, 2009; KRAV, 2009). Kompostlanmış hayvan gübresi, bitkisel kalıntılar ve doğal mineraller bu

kapsamda yaygın olarak tercih edilmektedir. Gübreleme uygulamaları türlere göre sınırlandırılmakta; örneğin sazan üretiminde hektar başına yıllık azot miktarı 20–40 kg ile sınırlandırılmaktadır (EU, 2009; Naturland, 2009). Karides üretiminde ise, organik tarım alanlarından sağlanan bitkisel atıklar ve doğal fosfat kaynakları kullanılabilir. Ancak toplam gübreleme, çıkış suyunun kalitesini aşmayacak şekilde planlanmalıdır. Ayrıca, bu sistemlerde doğal üretkenlik hayvanların yem ihtiyacının en az %50'sini karşılayacak düzeyde olmalı, fitoplankton ve zooplankton ölçümleriyle izlenmelidir (Soil Association, 2009).

Gübreleme dışında, entegre tarım-su ürünleri sistemleri de organik girdilerin sağlanmasında önemli rol oynar. Tavuk, ördek, sığır gibi hayvanların yetiştirildiği alanların balık havuzlarıyla birlikte kullanılması veya çeltik gibi bitkisel üretimle entegrasyon, sürdürülebilir ve döngüsel bir yapı sağlar (Jauncey, 1998). Ancak hayvansal dışkıların doğrudan kullanımı, halk sağlığı açısından risk taşıdığından dikkatle değerlendirilmelidir. Havuz tabanının arındırılması amacıyla genellikle sönmemiş kireç ya da kireç taşı kullanılır. Ancak AB standartları yalnızca doğal kökenli kalsiyum karbonat kaynaklarına izin vermekte, CaO kullanımını yasaklamaktadır (EU, 2008; Bioland, 2009). Organik sistemlerde farklı trofik seviyelerdeki türlerin birlikte yetiştirildiği polikültür uygulamaları da teşvik edilmektedir. Bu yöntem, hem doğal yemlerin daha etkin kullanılmasını hem de üreticilere ekonomik avantaj sağlamaktadır. Ancak bu konuda bağlayıcı düzenlemeler henüz bulunmamaktadır (Bergleiter et al., 2009).

Yarı-entansif sistemlerde doğal üretkenlik yetersiz kaldığında dış yem takviyesi gereklidir. Bu yemlerin organik kökenli olması ve tercihen çiftlik bünyesinde üretilmiş bitkisel hammaddelelerden elde edilmesi önerilmektedir (EU, 2009). Alternatif olarak, organik deniz yosunu da ek yem olarak kullanılabilir. Tatlı su ortamında yetiştirilen penaid karidesleri, *Macrobrachium spp.* ve *Pangasius spp.* gibi türlerde, organik yemlere %10'a kadar sürdürülebilir balıkçılıktan elde edilen balık unu veya balık yağı eklenmesine izin verilmektedir (EU, 2009). Ancak bu oranın balık unu ve balık yağı için toplam mı yoksa ayrı ayrı mı uygulandığı net değildir; dolayısıyla açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

5. Organik Entansif Üretim Sistemlerinde Beslenme

Entansif yetiştiricilik sistemlerinde, doğal yem kaynakları yetersiz kaldığı için tüm besin ihtiyaçları dışarıdan sağlanan tam yemlerle karşılanır (Jauncey, 1998). Özellikle herbivor ve karnivor türler için organik bitkisel bileşenlerle tam yem formülasyonları yapılabilir. Ancak kullanılan tüm yem hammaddeleri, mümkünse organik sertifikalı olmalı; aksi durumda, organik formda piyasada bulunmayan ancak özel izinle onaylanan girdiler tercih edilmelidir (EU, 2007). Organik yemlerde GDO'lar, hormonlar, büyüme uyarıcılar, sentetik amino asitler, pigmentler ve antioksidanlar kesinlikle yasaktır. Bunun yerine yalnızca doğal kaynaklı vitaminler, mineraller ve antioksidanlar sınırlı miktarda kullanılabilir (KRAV, 2009; Soil Association, 2009).

Deniz yosunu, fitoplankton ve mikroalgler gibi denizel kaynaklar da yem hammaddesi olarak değerlendirilebilir. Ancak organik yemlerde hem kara hayvanlarından türetilmiş içerikler hem de organik olmayan maya bulunmamalıdır. Süt ürünleri ise yalnızca organik kaynaklı olmak kaydıyla istisna kapsamındadır. Karnivor türlerin (örneğin somon) beslenmesinde, hayvan sağlığını ve besin gereksinimlerini karşılamak adına sürdürülebilir balıkçılıktan elde edilen balık unu ve balık yağı kullanımına sınırlı şekilde izin verilmektedir (EU, 2009). Bu uygulama, organik üretimin sürdürülebilirlik ilkesine yönelik bazı eleştirilere neden olsa da, net protein üretimi sağlayan sistemlerle dengelenebileceği öne sürülmektedir (Crampton *et al.*, 2010).

6. Diğer Besleyici Yem Bileşenleri

Balıkların büyümesi, gelişimi, sağlığı ve genel yaşam kalitesi için vitaminler ile minerallerin önemi büyüktür (NRC 1993). Bu besin öğeleri birçok yem hammaddesinde bulunmasına rağmen, farklı kaynakların vitamin ve mineral içerikleri arasında önemli farklılıklar görülebilir. Bu durum, tek başına bazı yem karışımlarının balıkların tam beslenme ihtiyaçlarını karşılamasını zorlaştırır. Bu nedenle, sucul canlıların beslenmesinde vitamin ve mineral premikslerinin kullanımı yaygındır; böylece gerekli besin alımı sağlanarak ihtiyaçlar karşılanır (Hardy & Barrows 2002). Organik balık yemlerinde bu tür katkı maddelerinin kullanımı yasaldır ve bazı durumlarda, su ürünlerinde doğal vitaminlere eşdeğer olan sentetik vitaminlerin kullanımı da mümkün olmaktadır. Ancak bu katkıların kullanımıyla ilgili çeşitli kurallar ve

sınırlamalar mevcuttur; genel olarak bunların gerekliliğinin ispatlanması zorunludur ve doğal kaynakların tercih edilmesi teşvik edilmektedir. Ayrıca, kullanımları için ekstra onay alınması gerekebilir (AB 2008, 2009). Bu katkı maddelerinin doğru ve yerinde kullanımı, balık beslemesinin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, farklı türlerin vitamin ve mineral gereksinimlerine yönelik bilimsel çalışmalar ve bu doğrultuda hazırlanan diyet formülasyonları, yem ve katkı maddelerinin etkinliğini ve biyoyararlanımını artırmada önemli katkı sağlar. Fitogenikler ise bitkisel kaynaklı ürünler olup; yaprak, kök, ot ve baharatlardan elde edilen kuru, toz, ekstrakt veya uçucu yağ formlarında yemlere eklenerek tarımsal üretimde performans artırıcı olarak kullanılmaktadır (Steiner 2006). Su ürünleri yetiştiriciliğinde bu maddelerin kullanımı üzerine araştırmalar halen sürmektedir.

Sonuç

Sonuç olarak, balık yetiştiriciliğinde vitamin ve minerallerin dengeli ve yeterli miktarda sağlanması, hayvanların büyüme performansı, gelişimi, bağışıklık fonksiyonları ve genel sağlık durumu üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, yem formülasyonlarında vitamin ve mineral premikslerinin yer alması, balıkların fizyolojik ihtiyaçlarının tam olarak karşılanması açısından kritik önem taşımaktadır. Organik üretim standartları kapsamında, sentetik katkı maddelerinin kullanımı sınırlı ve kontrollü olup, doğal kaynakların tercih edilmesi teşvik edilmektedir. Bu bağlamda, bitkisel kökenli fitogenik bileşikler, yem performansını artırmak, hastalıklara karşı direnç geliştirmek ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla umut vadeden alternatifler olarak ortaya çıkmaktadır. Fitogeniklerin içerdiği biyoaktif bileşenler, antioksidan, antimikrobiyal ve bağışıklık düzenleyici etkileri sayesinde su ürünleri yetiştiriciliğinde biyolojik katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu maddelerin etkinliği türler arasında değişkenlik gösterebilmekte ve optimal dozaj, uygulama şekli gibi parametrelerin belirlenmesi için kapsamlı bilimsel çalışmalar gerekmektedir. Ayrıca, yasal düzenlemeler ve kullanım koşullarının titizlikle takip edilmesi, ürün güvenliği ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından önemlidir. Gelecekte, farklı türlerin vitamin ve mineral gereksinimlerinin ayrıntılı şekilde araştırılması, yem üretiminde kullanılan katkı maddelerinin biyoyararlanımının artırılması ve

fitogeniklerin spesifik etkilerinin daha iyi anlaşılması, su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği ve verimliliğinin artırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Böylece, hem üretici hem de tüketici açısından sağlıklı, çevre dostu ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir su ürünleri sektörü oluşturulması mümkün olacaktır.

Kaynakça

- Bergleiter, S., Berner, U., Censkowsky, U. & Julia-Camprodon, G.(2009) Organic aquaculture 2009. Production and markets.Naturland e.V. and Organic Services GmbH. Report, 120 p.
- Bergleiter, S. (2011). *Organic Aquaculture 2011: Current Status and Future Perspectives*. Naturland e.V.
- Bioland (2009) Bioland standards. <http://www.bioland.de/bioland/biolandqualitaet/standards.html>
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., ... & Little, D. (2009). Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1523), 2897–2912. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0170>
- Chakraborty, S. B., Hossain, M. S., & Chowdhury, M. A. K. (2021). Utilization of fruit waste as dietary supplement in aquaculture: A sustainable approach. *Aquaculture Reports*, 19, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100583>
- Crampton, V.O., Nanton, D.A., Ruohonen, K., Skjervold, P.-O.& EL-Mowafi, A. (2010) Demonstration of salmon farming as a net producer of fish protein and oil. *Aquacult. Nutr.*, 16,437–446
- El-Haroun, E. R., Azevedo, P. A., & Bureau, D. P. (2009). High dietary incorporation levels of rendered animal protein ingredients on performance of rainbow trout. *Aquaculture*, 290(3–4), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.011>
- EU (2007) Council Regulation (EC) No 834/2007 of 28 June 2007 on Organic Production and Labelling of Organic Products and Repealing Regulation (EEC) No 2092/91. Official Journal of the European Union, Luxembourg
- EU (2008) Commission Regulation (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 Laying Down Detailed Rules for the Implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on Organic Production and Labelling of Organic Products with Regard to Organic Production, Labelling and Control. Official Journal of the European Union, Luxembourg
- EU (2009) Commission Regulation (EC) No 710/2009 of 5 August 2009 Amending Regulation (EC) No 889/2008 Laying Down Detailed Rules

- for the Implementation of Council Regulation (EC)No 834/2007, as Regards Laying Down Detailed Rules on OrganicAquaculture Animal and Seaweed Production. Official Journal ofthe European Union, Luxembourg
- European Union. (2018). *Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council on organic production and labelling of organic products*. Official Journal of the European Union.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc0461>
- Gopi, M., Mazumder, P. B., & Krishnan, A. (2019). Application of fruit and vegetable waste as livestock feed and biofertilizer. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), 369–376. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0251-8>
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. & Metailler, R. (1999)Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans, 408 p. INRA-IFREMER and Springer-Praxis Publishing, UK
- Hardy, R.W. & Barrows, F.T. (2002) Diet formulation and manu-facture. In: Fish Nutrition (Halver, J.E. & Hardy, R.W. eds.),3rd edn, pp. 505–600. Academic Press, Elsevier Science, SanDiego, CA, USA.
- IFOAM – International Federation of Organic Agriculture Movements. (2014). *The IFOAM Norms for Organic Production and Processing*.
- Jauncey, K. (1998) Tilapia Feeds and Feeding, 241 p. Pisces PressLtd., Bridge of Allan, Scotland
- KRAV (2009) Standards for KRAV-certified production – January2009. <http://www.krav.se>.
- Klinger, D., & Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: Charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 247–276. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021111-161531>
- Mente, E., Pantazis, P., Neofitou, C., Aifanti, S., Santos, M.B.,Oxouzi, E., Bagiatis, V., Papapanagiotou, E., Kourkouta, V. &Soutsas, K. (2007) Socioeconomic interactions of fisheries andaquaculture in Greece: a case study of south Evoikos gulf. *Aquac.Econ. Manage.*, 11, 313–334.

- Mente, E., Stratakos, A., Boziaris, I.S., Kormas, K.A., Karalazos,V., Karapanagiotidis, I.T., Catsiki, V.A. & Leondiadis, L. (2010) Sustainable aquaculture development: a case of organic sea bream production. Final Report. Hellenic Ministry of Rural Development and Food, (EPAL 2000–2006), pp. 85
- Mente, E., Karalazos, V., Karapanagiotidis, I. T., & Pita, C. (2011). Sustainability of aquaculture: A review of the environmental and biological perspectives. *Sustainability*, 3(8), 817–842. <https://doi.org/10.3390/su3080817>
- Mokrani, A., & Madani, K. (2016). Effect of extraction solvent on total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of *Limoneira citriodora* leaves. *South African Journal of Botany*, 105, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.02.006>
- Naturland (2009) Naturland standards for organic aquaculture. <http://www.naturland.de/standards.html>.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J. & Williams, M. (1998) Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. *Science*, 282, 883.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & Troell, M. (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405, 1017–1024
- NRC (1993) Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC.
- Rana, K.J., Siriwardena, S. & Hasan, M.R. (2009) Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 541, ISSN 2070-7010. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>
- Sapkota, A., Sapkota, A.R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P. & Lawrence, R. (2008) Aquaculture practices and potential human health

- risks: current knowledge and future priorities. *Environ. Int.*, 34, 1215–1226
- Sanchez-Sabate, R., & Sabaté, J. (2019). Consumer attitudes towards environmental concerns of meat consumption: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1220. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071220>
- Suresh, A. V., Jaya Kumar, R., & Natesan, A. (2022). Novel feed ingredients in aquaculture: Evaluation of agricultural byproducts. *Aquafeed: Advances in Processing & Formulation*, 14(2), 45–52.
- Steiner, T. (2006) Managing Gut Health. Natural Growth Promoters as a Key to Animal Performance, 98 pp. Nottingham University Press, Nottingham, UK
- Soil Association (2009) Organic market report 2009. Retrieved on 15 July 2009 from <http://www.soilassociation.org/Businesses/Marketinformation/tabid/116/Default.aspx>.
- Soil Association (2009) Organic market report 2009. Retrieved on 15 July 2009 from <http://www.soilassociation.org/Businesses/Marketinformation/tabid/116/Default.aspx>.
- Wessells, C. R., Johnston, R. J., & Donath, H. (2001). Assessing consumer preferences for ecolabeled seafood: The influence of species, certifier, and household attributes. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(5), 1084–1089. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00115>
- Wessells, C., Johnston, R. & Donath, H. (1999) Assessing consumer preferences for ecolabeled seafood: the influence of species, certifier and household attributes. *Am. J. Agric. Econ.*, 81, 1084–1089.

BÖLÜM 5

ŞANLIURFA İLİ MERCİMEK ÜRETİM ALANLARININ SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Zir. Yük. Müh. Mustafa YİĞİT¹ Prof. Dr. Ömer SÖZEN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15851102>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kırşehir, Türkiye, mstfjygt@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8830-9024>

² Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sivas, Türkiye, omers@sivas.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5528-7887>

GİRİŞ

Mercimek yemeklik tane baklagiller içinde kurağa, sıcağa ve soğuğa en dayanıklı olan ve vejetasyon süresini 90-110 gün arasında tamamlayan tek yıllık uzun gün bitkisidir. Günümüzde dünya nüfusu hızla artmaktadır. Ancak insanların az bir bölümü yeterli düzeyde beslenebilmekte, geriye kalan önemli bir kısmı ise ya dengesiz beslenmekte, ya da yetersiz beslenmektedir. Hızla artmakta olan nüfusu beslemek bütün dünyanın sorunudur. Zira bugün Dünya'nın en önemli problemi açlıktır. Ülkemizde belirgin bir açlık problemi olmamakla birlikte dengeli bir beslenmenin de olduğu söylenemez. Bu sorunların çözümü amacıyla dünya besin kaynaklarını ve özellikle de enerji, protein, vitamin ve mineraller yönünden zengin olan besinlerin üretim ve tüketiminin yaygınlaştırılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir. İşlenebilen tarım alanlarının sınırlı olması nedeni ile dünya nüfusundaki hızlı artışa paralel olarak bitkisel üretimi artırmak için birim alandan daha fazla ve kaliteli ürün almak amacı ile çalışmalar yapılması gerekmektedir. Besin değerleri yönünden zengin olan yemeklik tane baklagillerin bitkisel üretim içinde önemli bir yeri vardır. Birleşiminde %18-31 oranında protein bulunan yemeklik dane baklagiller aynı zamanda vitaminlerce (özellikle A, B ve D vitaminlerince) zengindir. Bu özelliklerinden dolayı gelişmekte olan ülkelerde dengeli beslenmede ve bazı ihtiyaç duyulan besinlerin karşılanmasında kültürü yapılan yemeklik dane baklagillerden faydalanılabilmektedir (Şehirali, 1988). Dünyada, insan beslenmesindeki bitkisel proteinin %22'si, karbonhidratların %7'si; hayvan beslenmesindeki proteinlerin %8'i ve karbonhidratların %5'i yemeklik tane baklagillerden sağlanmaktadır (Wery ve Grinac, 1983).

Yemeklik tane baklagiller içerisinde yer alan mercimek, içerdiği protein oranının yüksek olması nedeniyle, insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ayrıca kışlık tahıl nadas tarımının uygulandığı kurak bölgelerde ekim nöbetine girerek hem üreticiye hem de ülke ekonomisine ek gelir sağlamaktadır (Ceyhan, 2007).

Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) %75 karbonhidrat, %21 protein ve %4 yağ içeriği ile yüksek enerji ve protein kaynağı bitki türü olarak tiamin, demir, fosfor ve bakır bakımından da zengindir. Vitamin C bakımından da zengin olan mercimek, yüksek oranda folik asit içermesi bakımından da başta

kalp hastalıklarının ve doğum bozukluklarının önlenmesinde oldukça önemlidir (Coşkun ve Karababa, 1998).

Eski çağlardan beri kültüre alınmış olan mercimeğin; iri tanelilerin kökeninin Akdeniz Bölgesi; orta büyüklükteki tanelilerin kökeninin yurdumuzun iç kısımlarındaki dağlık yöreler; küçük tanelilerin kökeninin ise Afganistan'ın yüksek yöreleri, Himalaya ve Hindi kuş dağları olduğu belirtilmektedir (Vavilov, 1951).

Ülkemizde yetiştirilen mercimekler tane iriliğine ve rengine göre üç grupta toplanmaktadır:

Sultani Mercimek: Daneleri 6-7 mm çapında, yassı ve yuvarlaktır. Daneleri yeşil tonda olup bin dane ağırlığı 50-65 g arasındadır. Genellikle kıyı ve batı geçit bölgelerimizde yetiştirilir.

Yeşil Mercimek: Daneleri 4-6 mm çapında olup yeşil, yanlardan basık ve yuvarlaktır. Bin dane ağırlığı 30-50 g arasındadır. Genellikle Orta Anadolu ve geçit bölgelerimizde yetiştirilmektedir.

Kırmızı Mercimek: Daneleri 3-5 mm çapında, yuvarlak şekilli ve rengi kırmızı tondadır. Bin dane ağırlığı 30-45 g arasındadır. Genellikle Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yetiştirilmektedir.

MERCİMEĞİN EKONOMİK ÖNEMİ

Yemeklik Tane Baklagiller içinde mercimek, Türkiye'de gerek ekim alanı ve gerekse ürün bakımından nohuttan sonra ve kuru fasulyeden önce gelerek ikinci sırada yer alır. Bu bitki, Türkiye'de sahil kıyıları hariç ülkemizin her tarafında yetiştirilmesindeki kolaylık, protein, mineral maddeler ve vitaminlerce zenginliği, ucuz insan gıdası olması ve havanın serbest azotunu toprağa tespit eden nodozite bakterilerine sahip olmasından dolayı tarla ziraatında büyük önem kazanmıştır.

Dünya mercimek üretimi ise bazı yıllarda verim düşüklüğünden kaynaklanan dalgalanmalar yaşamasına rağmen yükselme eğilimi göstermektedir. 2014 yılında üretim 4.781.468 ton iken %47.8'lik bir artış ile 2023 yılında 7.068.620 tona yükselmiştir (Anonim, 2023).

Dünyada ve ülkemizde yetiştirilen mercimek ve diğer yemeklik tane baklagillerin ekim alanı, üretim ve verim değerleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir (Anonim, 2023).

Tablo 1 incelendiğinde mercimek, dünyada yemeklik tane baklagiller içinde ekim alanı bakımından %6.82 ile kuru fasulye, börülce, nohut ve bezelyeden sonra beşinci sırada; üretim bakımından da aynı şekilde %8.65 ile kuru fasulye, nohut, börülce ve bezelyeden sonra beşinci sırada yer almaktadır. Türkiye 322.930 ha mercimek ekim alanı ve 474.000 ton üretimi ile dünya sıralamasında Hindistan, Kanada ve Avustralya'dan sonra dördüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 1. Dünyada nohut ve diğer yemeklik tane baklagillerin ekim, üretim ve verim değerleri*

DÜNYA						
	Fasulye	Nohut	Börülce	Bezelye	Mercimek	Bakla
Ekim (ha)	37.750.753	14.096.756	15.417.401	7.407.979	5.675.756	2.782.564
Üretim (ton)	28.505.529	16.517.592	9.784.129	13.763.334	7.068.620	6.073.526
Verim (kg/da)	75.51	117.17	63.46	185.79	124.54	218.27

*(Anonim, 2023)

Ülkemizde ise yemeklik tane baklagiller içinde 322.930 ha'lık ekim alanı ve 474.000 ton üretim ile nohuttan sonra ikinci sırada yer alır (Tablo 2). Birim alandan kaldırılan ürün miktarı bakımından Türkiye yeşil mercimekte 112 kg/da; kırmızı mercimekte ise 153 kg/da ile dünya ortalamasının üstündedir. Bu verim miktarı birçok dünya ülkesinden yüksektir. Bunun yanında ülkemiz ve dünya ekim alanı, üretim ve verim değerlerinin son 10 yıllık verileri Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'de mercimek ve diğer yemeklik tane baklagillerin ekim, üretim ve verim değerleri*

TÜRKİYE							
	Nohut	Mercimek		Kuru Fasulye	Bakla	Börülce	Bezelye
		Kırmızı	Yeşil				
Ekim (ha)	458.772	278.152	44.778	88.457	1.755	1.129	1.183
Üretim (Ton)	580.000	424.000	50.000	240.000	4.268	1.432	3.798
Verim (k/da)	126	153	112	272	243	127	321

*(Anonim, 2023)

Tablo 3 incelendiğinde 2014-2023 yılları arasında dünyada mercimek ekim alanlarında ekim alanında, üretimde ve verimde bir artışın olduğu görülmektedir. Yürütülen ıslah çalışmaları kg/da olarak alınan verimi de arttırmıştır.

Tablo 3. Dünya mercimek ekim, üretim ve verim istatistiklerinin yıllara göre değişimi*

DÜNYA			
Yıllar	Ekim Alanı (ha)	Üretim(ton)	Verim (kg/da)
2014	4.079.617	4.781.468	117.2
2015	4.709.783	5.547.571	117.79
2016	5.463.126	6.693.398	122.52
2017	6.156.691	7.129.999	115.81
2018	5.511.365	6.578.475	119.36
2019	4.863.389	5.788.195	119.02
2020	4.962.242	6.473.706	130.46
2021	5.275.396	5.574.962	105.68
2022	5.485.285	6.618.254	120.65
2023	5.675.756	7.068.620	124.54

*(Anonim, 2023)

Tablo 4. Türkiye mercimek ekim, üretim ve verim istatistiklerinin yıllara göre değişimi*

TÜRKİYE								
Kırmızı mercimek	Yıllar	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)	Yeşil mercimek	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
	2014	232.446	325.000	144		17.048	20.000	117
	2015	207.469	340.000	164		16.388	20.000	122
	2016	235.474	345.000	150		16.761	20.000	120
	2017	269.318	400.000	149		23.220	30.000	129
	2018	243.065	310.000	138		34.163	43.000	126
	2019	242.776	310.000	128		39.612	43.631	112
	2020	209.821	328.418	157		37.844	42.397	112
	2021	260.200	228.000	92		48.159	35.000	73
	2022	299.812	400.000	133		42.825	45.000	105
	2023	278.152	424.000	153		44.778	50.000	112

*(Anonim, 2023)

Tablo 4 incelendiğinde son 10 yıllık süre içerisinde hem kırmızı mercimek hem de yeşil mercimeğin ekim alanı ve üretiminde bir artışın olduğu görülmektedir. Son yıllarda özellikle araştırma enstitüleri başta olmak üzere ARGE kuruluşlarının ciddi anlamda ıslah çalışmaları ki bunlar:

- Verimi arttırmak
- Kaliteyi arttırmak
- Hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı çeşit geliştirmek
- İlk bakla yüksekliğini arttırarak makineli tarımı yaygınlaştırmak verimin artmasını sağlamıştır.

Ülkemizde yeşil mercimek 37 ilde, kırmızı mercimek ise 29 ilimizde üretilmektedir. Yeşil mercimek daha çok İç Anadolu Bölgesi'nde

yetiştirilmekte olup en fazla ekim alanına sahip illerimiz sırasıyla **Çorum, Yozgat, Ankara, Manisa ve Kırşehir**'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgemizde yaygın olarak ekimi yapılan kırmızı mercimek ise sırasıyla **Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman ve Gaziantep** illerimizde yaygınlık göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kırmızı ve yeşil mercimeğin yetiştirildiği illeri gösteren Türkiye haritası

Şekil 1 incelendiğinde Çorum, Yozgat, Ankara, Manisa ve Kırşehir illerimizde tarımı yapılan yeşil mercimek; ekim alanı bakımından toplam ekim alanın %63'ünü; toplam üretimin %61'ini oluşturmaktadır (Anonim, 2023). Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman ve Gaziantep illerimizde ise tarımı yapılan kırmızı mercimek; ekim alanı bakımından toplam ekim alanının %89'unu oluştururken, toplam üretimin ise %89'unu oluşturmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Bölgelere göre kırmızı mercimeğin ekim alanı*

Kırmızı Mercimek			
Coğrafi Bölgeler	Ekilen alan (da)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Kuzeydoğu Anadolu	370	48	130
Ortadoğu Anadolu	15513	2651	171
Güneydoğu Anadolu	2348072	391455	167
Ege Bölgesi	3098	387	125
Doğu Marmara	82	10	122
Batı Anadolu	42463	7835	189
Akdeniz Bölgesi	7730	1787	231
Orta Anadolu	6174	783	127
Batı Karadeniz	76	8	105
Doğu Karadeniz	270	36	133

*(Anonim, 2023)

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin kırmızı mercimek kuşağı olarak bilinmektedir. Yerli kırmızı gibi yerel çeşitler, Fırat-87 (Komando), Seyran-96 ve Çağıl gibi kültür çeşitler bölgede yaygın olarak ekilmektedir. Bunun tam tersi olarak Güney Doğu Anadolu Bölgesi yeşil mercimekte hemen hemen yok denecek kadar bir ekim alanına sahiptir (Tablo 6).

Tablo 6. Bölgelere göre yeşil mercimeğin ekim alanı*

Yeşil Mercimek			
Coğrafi Bölgeler	Ekilen alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Batı Marmara	907	83	92
Kuzeydoğu Anadolu	3323	316	95
Ortadoğu Anadolu	32	3	94
Güneydoğu Anadolu	53	7	132
Ege Bölgesi	9851	745	76
Doğu Marmara	982	93	95
Batı Anadolu	244150	24854	102
Akdeniz Bölgesi	4396	376	86
Orta Anadolu	374525	37531	100
Batı Karadeniz	62601	6901	110
Doğu Karadeniz	1235	90	73
Batı Marmara	907	83	92

*(Anonim, 2023)

BAKLAGİLER İÇİNDE ÖNEMİ

*Mercimek, kuru baklagil bitkilerinin yenilebilir türlerinden birisidir. Çok eski zamanlardan beri insan yiyeceği olarak kullanılmakta ve Akdeniz kıyılarından diğer ülkelere yayılmıştır.

*Mercimek, olgunlaşmış tohumlar grubundan olduklarından esas bileşimleri karbonhidrat ve proteinlerdir.

*Mercimek, en zengin protein kaynaklarından birisidir. Özellikle et ve yumurta bulunmadığı zaman mercimek tüketimi artırılarak protein gereksinimi karşılanabilir.

TÜRKİYE'DE MERCİMEK TARIMININ SORUNLARI

Türkiye'de mercimek tarımında yaşanan sorunlar birçok tarım ürününde yaşanan sorunlardan çok farklı olmayıp, özellikle yetiştirildiği dönem, ürün grubu ve özellikle yabancı otların getirdiği üretim sınırlılığı gibi bir takım nedenlerle kendine has sorunlar taşımaktadır. Bu sorunlardan önemlileri şöyledir;

- Mercimekte ve diğer baklagillerde verimin artırılması ve istikrarın sağlanması amacıyla üretim planlamasına geçilmelidir. Üretim planlaması yapılırken sadece iç tüketim değil, dış pazarlardaki kalite kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. İthalatçı ülkelerin isteklerine uygun standart ve kalitede ürün üretip ambalajlanmalıdır.
- T.M.O. baklagil destekleme alımları yapmadığında üretici tamamen tüccara dayalı ve onun tekelinde belirlenen bir fiyatla ürününü satmak durumunda kalmıştır. Üretici satış garantisi olmadığından zaman zaman mercimek yetiştiriciliğinden vazgeçmek durumunda kalmıştır. Bu durumda T.M.O.'den beklenen pazarın en büyük alımlarını yapması değil, piyasa düzenleyici işleviyle alımlara katılıp üreticinin tümüyle tüccara terk edilmemesidir.
- Mercimek yetiştiriciliği çoğu bölgemizde küçük aile işletmelerinde yapılmakta olup, ülkemizin mercimek yetiştiriciliği yapılan bütün bölgelerinde modern yetiştirme tekniklerinin uygulanması istenen düzeyin altındadır. Özellikle birçok üretim bölgemizde hemen hemen tüm işlerinin insan gücü ile yapılıyor olması ürün maliyetini arttırmaktadır.
- Baklagil üretiminin yönlendirilmesi, fiyat oluşumu, ürün pazarlaması ve üreticilerin temsil edilmesi gibi konularda hizmet vermek amacıyla Baklagil Üretici Birlikleri eksikliği mevcuttur.
- Dekara alınan verimin çiftçiye yeterli gelmemesi.
- Sertifikalı tohumluk bilinci yetersizliği üreticileri tohumluk ihtiyaçlarını mahalli pazarlar, komşular veya sertifikasız ürün satanlar gibi başka kaynaklardan karşılamaya yöneltmiştir.
- Desteklemelerin az olması.
- Makine ile hasat yapılamaması mercimek ekim alanlarını sınırlandıran en önemli faktörlerden birisidir. Makine ile hasat yapılamayan durumlarda, hasat sırasında gerekli iş gücünün sağlanamaması, sağlansa bile maliyetinin yüksek olması ekim alanlarının daha fazla artmasını engellemektedir.
- Hastalık, zararlı ve yabancı otların, %100'e varabilen verim kaybına neden olması.
- Düşük verimli yerel popülasyonların yoğun kullanılması

- İşçilik ve üretim maliyetlerinin fazlalığı nedeniyle, üreticinin zarar etmesi veya yemeklik tane baklagil üretiminde diğer ürünlerden daha az kazanması.
- Örgütlenme yetersizliği ve fiyat oluşumuna çiftçinin müdahil olamaması.
- Tohumluk temin kaynaklarından sağlanan tohumlar sadece yemeklik ürün vasfını taşımaktadır ve çoğunlukla da üretim alanlarında yaşanan hastalık ve verim kayıpları gibi sorunların esas kaynağını bu tohumluklar oluşturmaktadırlar.
- 2004 yılında Ankara’da yapılan tohumculuk sempozyumunda ülkemizde tescil ettirilen yemeklik tane baklagillere ait standart çeşit sayısının çok az olduğu vurgulanmış ve mutlaka devreye yerel çeşitlerin girmesi konusu karara bağlanmıştır.
- Mercimekte tescil edilen çeşitlerimiz sertifikalı tohumculuğun yaygınlaşmamasından dolayı çiftçilere ulaşamaz durumdadır.
- Tohum Tescil Sertifikasyon Müdürlüğü tarafından 2025 yılı itibariyle tescil edilen mercimek çeşitlerini ıslah eden kuruluşlar ile tescil edilen çeşit isimleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Tohum tescil sertifikasyon müdürlüğü tarafından tescil edilen mercimek çeşitleri

Çeşit Adı	Kurum Adı	Çeşit Adı	Kurum Adı
Çiftçi	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü	Altıntoprak	GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü
Kafkas		Çağıl	
Meyveci 2001		Seyran 96	
Özbek		Fırat-87	
Ceren		Tigris	
Yusufhan		Koç-21	
Ankarayeşili		Şakar	Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Gümrah		Evirgen	Mersin Ticaret Borsası Tohum Araştırma San. Ve Tic. A.Ş.
Karagül		Şahan	Olgunlar Turizm Tarım Enerji Üretim Ticaret Pazarlama Ltd. Şti.
Bozok		İpek	
Emre-20	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü		
Kayı-91			
Sazak-91			
Sultan-1			
Mirzabey			

Şanlıbey	GAP Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü	Işık	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Mansur	Olgunlar Turizm Tarım Enerji Üretim Tic. Pazarlama Ltd. Şti.	Evirgen	Mersin Ticaret Borsası Toh. A.Ş.
Ahsen		Murat 2020	Silvan Nergiz Tarım Danışmanlık Gıda İnşaat Petrol Sanayi Ve Ticaret Ltd. Şti.
Zumra	Rts Tarım Ltd. Şti.	İnci	Ar Grup Tar.Tic. San. Ltd. Şti.
Şıra		Meya 21	Meya Tohum Dan. Tar. San. Tic. Ltd. Şti.
Ferhat	Avşın Tarım Ltd. Şti.	Nisk	Orhas İç Ve Dış Ticaret Ltd. Şti.
Tragen 301	Asilgen Tarım Ürünleri Hayvancılık San. ve Tic. Ltd. Şti.	Yürekli	Teknobiltar Tarım Ve Hayvancılık Gıda Çevre Özel Eğt. Enerji San. Ve Tic. A.Ş.
Elçi 2001	Hacıömeroğlu Tarım Ürünleri Gıda Nakliye İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti.		

Tescil edilen çeşitler kurumlara göre sınıflandırıldığında Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü 10 adet çeşit ile ilk sırada yer alırken, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü 6, Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü ise 4 çeşit tescil ettirmiştir.

ŞANLIURFA

Şanlıurfa İlinin coğrafik durumu, iklimi ve toprak yapısı çiftçiler için vazgeçilmez üründen biri olan mercimekte geniş bir varyasyon oluşturmuştur. Tarımın geleneksel yapısından dolayı yetiştiriciliğin bölgeye has yerel çeşitlerle daha çok yapılmasına neden olmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Şanlıurfa il haritası

Şanlıurfa İli, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin tarım adına en önemli illerinden birisidir. Özellikle tahıllar üretimi bakımından bölgenin ilk sırasında yer alır. Kırmızı mercimek üretiminde de iller bazında lider konumundadır. Şanlıurfa, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Fırat ve Dicle Nehirleri arasında yer alır. Ortalama yükseltisi 518 metre olan Şanlıurfa, 19.451 km²'lik yüz ölçümü ile Türkiye'nin en büyük 7. ilidir. Şanlıurfa İli'nin toplam 1.2 milyon hektarlık ekiliş alanı vardır. Tarla bitkileri ekiliş alanında 650 bin ha (%55)'lik oranla tahıllar ilk sırada yer almaktadır. Şanlıurfa İli'nde ayrıca yemeklik tane baklagillerinde yoğun biçimde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Tablo 8).

Tablo 8. Şanlıurfa iline ait ilçelerin mercimek ekim alanları

İlçeler	Mercimek Ekim Alanı (da)
Birecik	35.000
Ceylanpınar	60.720
Suruç	37.600
Halfeti	3.000
Karaköprü	31.100
Eyyübiye	11.971
Haliliye	78.000
Harran	16.000
Hilvan	173.500
Siverek	628.000
Viranşehir	57.500
Bozova	26.820
Toplam	1.187.891

ANKETİN AMACI VE İÇERİĞİ

Şanlıurfa ili mercimek yetiştiriciliği yapan çiftçilerin tarımsal potansiyel durumu ortaya konularak mercimek yetiştiriciliğinde karşılaşılan problemlerin saptanması ve çözüm önerilerinin belirlenmesi bu çalışmada amaçlanmıştır.



MATERYAL ve METOT

Araştırmanın materyalini Şanlıurfa İl'inde mercimek yetiştiren işletmelerden yüz yüze gerçekleştirilen anket yoluyla elde edilen veriler oluşturmuştur. Ayrıca çiftçilerle (144 çiftçi) yapılan anket çalışmasında il ve ilçe tarım müdürlüklerinin görev yapan teknik elemanlarından da destek alınmıştır. İlçelerin seçiminde mercimek üretimindeki payları ve yıllar itibarıyla üretim ve ekim alanındaki değişimler dikkate alınmıştır. Şanlıurfa İli kırmızı mercimek ekim alanı, ülkemizin kırmızı mercimek ekim alanının %42.7'sini oluşturmaktadır. İl bünyesinde ekim alanı bakımından en yoğun mercimek yetiştiriciliği yapılan ilçe Siverek olmak üzere bu ilçeyi sırasıyla Hilvan ve Haliliye izlemektedir.

Araştırmanın örnekleme ilçe, köy ve işletmelerin seçimi olmak üzere 3 kademe yapılmıştır. Şanlıurfa il bünyesindeki farklı ilçelerden seçilen 49 köyden 144 işletmeci anket için seçilmiştir. Yüz yüze yapılan anket çalışmasında işletmecilerimize toplam 27 adet çoktan seçmeli sorular sorulmuş olup bu sorular Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 1. Ankette yer alan sorular

1. İşletme Sahiplerinin Yaşı	15. Sertifikalı Tohum Kullanımı
2. İşletme Sahiplerinin Eğitim Durumları	16. Ekilecek Tohum Çeşidinin Belirlenmesinde Dikkat Edilecek Hususlar
3. İşletme Sahiplerinin Geçim Kaynağı	17. Çıkış Öncesi Ot İlacının Kullanımı
4. Arazi Varlığı	18. Bitki Tarlada İken İlaçlamanın Yapılması
5. Mercimek Dışında Yetiştirilen Ürünler	19. Kullanılan Gübre
6. Yetiştirilen Mercimek Çeşidinin Sınıfı	20. Ekimle Beraber Kullanılan Gübre
7. Mercimek Ekim Alanı	21. Mercimekte Çapalama
8. Aynı Tarlada Ekilen Mercimek Ekim Sıklığı	22. Yetiştirilen Mercimek Formu
9. Mercimeğin Yetiştirilme Amacı	23. Mercimekte Ekim Zamanı
10. Mercimek Ekim Zamanı	24. Mercimekte Sulama
11. Ekim Sırasında Karşılaşılan Problemler	25. Mercimek Hasat Şekli
12. Mercimek Ekim Şekli	26. Mücadele Edilen Ot Yoğunluğu
13. Dekara Atılan Tohum Miktarı	27. Mercimekte Verim
14. Mercimek Tohumunun Temin Edilmesi	

ELDE EDİLEN BULGULAR

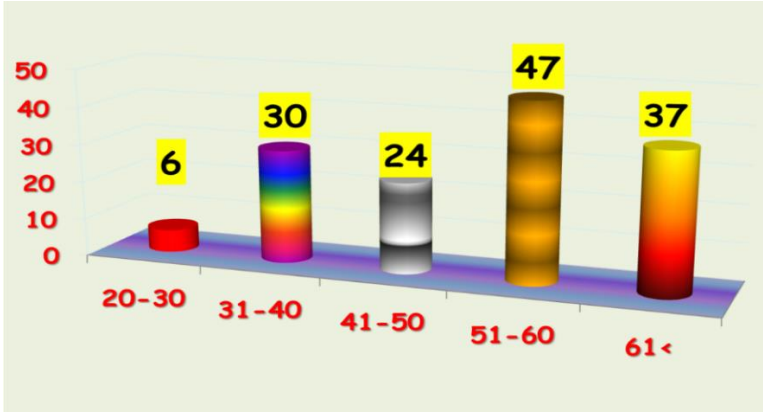
Mercimek tarımının mevcut sorunlarını ortaya koymak üzere çiftçilere uygulanan ankette çiftçilerin verdiği her bir soruya ilişkin anket cevapları Tablo 10-29 ile Şekil 3-21’de verilmiştir.

1. İşletme Sahiplerinin Yaşı

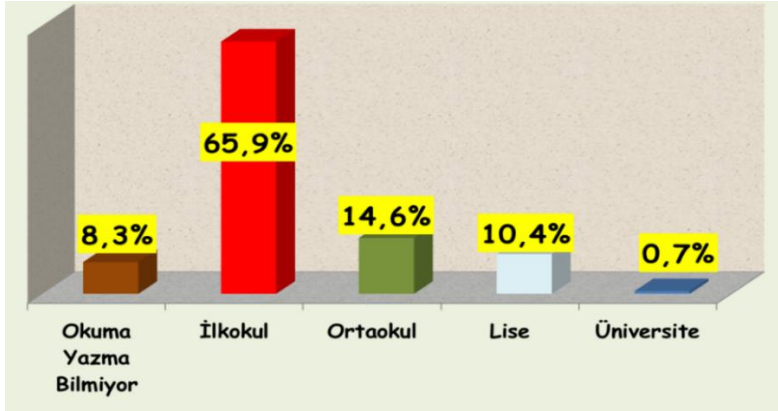
Mercimek üretimini sınırlandıran problemleri ortaya koymak için anket yapılan 144 kişinin 47’si (%32.63) 51-60 yaş arasında iken, 37’si (%25.69) 61 yaşından büyük olduğu görülmektedir. Anket yapılan çiftçilerimizin % 4.16 ‘sına denk gelen 6 kişi ise 20-30 yaş aralığı ile en genç anket yapılan işletmeci unvanını almıştır (Şekil 3).

2. İşletme Sahiplerinin Eğitim Durumları

Anket yaptığımız 144 çiftçimizin eğitim durumları karşılaştırıldığında büyük çoğunluğunun (95 adet) ilkökul mezunu olduğu, 21 çiftçimizin lise mezunu olduğu, 12 çiftçimizin okuma yazma bilmediği görülmüş olup sadece 1 tane çiftçimizin ise herhangi bir üniversitenin lisans bölümünü bitirdiği tespit edilmiştir. Çiftçilerimizin eğitim düzeyi yükseldikçe mercimek ekim alanının azaldığı yapılan anketlerde ortaya konulmuştur (Şekil 4).



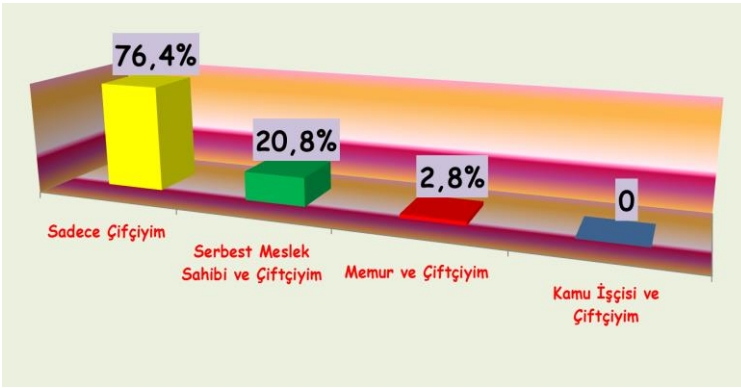
Şekil 3. Ankete katılanların yaş grafiği



Şekil 4. Ankete katılanların eğitim durumu

3. İşletme Sahiplerinin Geçim Kaynağı

Anket yapılan işletme sahiplerine geçim kaynakları sorulduğunda işletme sahiplerinin %76.4'ü (110 adet) geçimlerini sadece çiftçilikten sağladıklarını ifade ederken; %2.8'i (4 adet) geçimlerini çiftçiliğin yanı sıra memurluktan sağladıklarını belirtmişlerdir. İşletme sahiplerinin %20.8'i (30 adet) ise hem çiftçi olduklarını hem de serbest meslek sahibi olduklarını ifade etmişlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Ankete katılanların geçim kaynağı

Şanlıurfa İli Birecik ilçesinden anket yapılan 9 adet işletmecimiz ve Bozova ilçesinden ankete katılan 8 adet işletmecilerimizin tamamı ile Siverek ilçesinden ankete katılan 36 işletmecimizden 31 tanesi geçimlerini çiftçilikten sağladıkları, Akçakale ilçemizdeki 2 işletmecimizin ise çiftçilik dışında serbest meslek sahibi oldukları belirlenmiştir (Tablo 10).

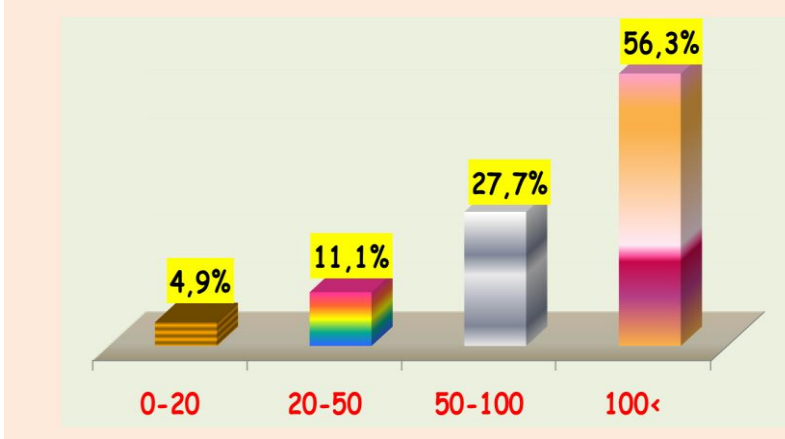
Tablo 2. İşletme sahiplerinin geçim kaynaklarının ilçelere göre dağılımı

İşletme Sahiplerinin Geçim Kaynakları					
İlçesi	Anket Sayısı	Sadece Çiftçiyim	Serbest Meslek Sahibi ve Çiftçiyim	Memur ve Çiftçiyim	Kamu İşçisi ve Çiftçiyim
Birecik	9	9	0	0	0
Suruç	23	19	4	0	0
Akçakale	2	0	2	0	0
Karaköprü	13	9	2	2	0
Eyyübiye	5	3	0	2	0
Haliliye	9	7	2	0	0
Hilvan	22	15	7	0	0
Siverek	36	31	5	0	0
Viranşehir	17	9	8	0	0
Bozova	8	8	0	0	0
Toplam	144	110	30	4	0

4. Arazi Varlığı

İşletme sahiplerine arazi varlığınız nedir diye sorulduğunda işletme sahiplerinin %56.3'ünün (80 adet) arazi varlıklarının 100 dekarın üzerinde olduğunu, %27.7'sinin (40 adet) arazi varlıklarının 51-100 da, %11.1'inin (16 adet) arazi varlıklarının 20-50 da arasında olduğunu belirtirken geriye kalan

işletme sahiplerimizin %4.9'unun (7 adet) arazi varlıklarının 20 dekarın altında olduğunu ifade etmişlerdir (Tablo 11, Şekil 6).



Şekil 6. İşletme sahiplerinin arazi varlığı

Tablo 3. İşletme sahiplerinin arazi varlıklarının ilçelere göre dağılımı

Arazi Varlığı (da)					
İlçesi	Anket Sayısı	0-20	20-50	50-100	100<
Birecik	9	0	0	2	7
Suruç	23	2	3	8	10
Akçakale	2	2	0	0	0
Karaköprü	13	1	2	4	6
Eyyübiye	5	0	1	0	4
Haliliye	9	1	0	1	7
Hilvan	22	0	0	7	15
Siverek	36	0	3	11	22
Viranşehir	17	1	5	5	6
Bozova	8	0	2	2	4
Toplam	144	7	16	40	81

5. Mercimek Dışında Yetiştirilen Ürünler

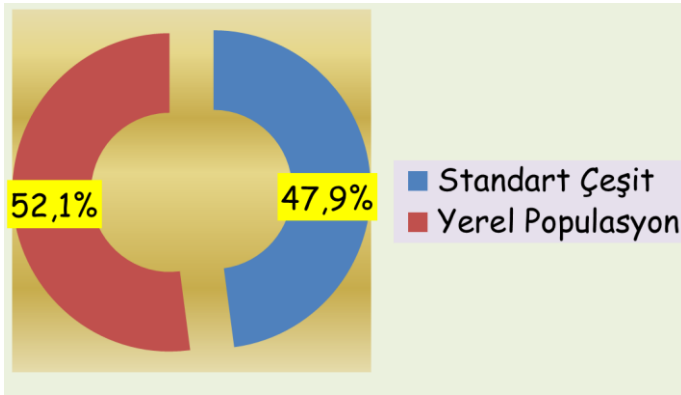
144 adet işletme sahibine mercimek yetiştiriciliği dışında hangi ürünleri ekiyorsunuz diye sorulduğunda işletme sahiplerinin tamamı buğday ve arpa ettiklerini söylerken bu iki ürün dışında nohut (82 adet), mısır (29 adet) ve pamuk (24 adet) izlemiştir (Tablo 12).

Tablo 4. Mercimek yetiştiriciliği dışında ekilen ürünler

Mercimek Dışında Hangi ürünleri Ekiyorsunuz?										
İlçesi	Anket Sayısı	Buğday	Arpa	Nohut	Kimyon	Susam	Mısır	Pamuk	Aspir	Burçak
Birecik	9	9	9	6	0	0	1	1	5	0
Suruç	23	23	23	20	6	0	2	0	0	0
Akçakale	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0
Karaköprü	13	13	13	8	4	0	0	0	0	0
Eyyübiye	5	5	5	2	1	0	0	0	0	0
Haliliye	9	9	9	5	0	0	6	6	0	2
Hilvan	22	22	22	8	0	0	2	2	0	0
Siverek	36	36	36	19	0	0	8	8	4	0
Viranşehir	17	17	17	10	1	0	6	3	0	0
Bozova	8	8	8	3	0	1	4	4	0	3
Toplam	144	144	144	82	12	1	29	24	9	5

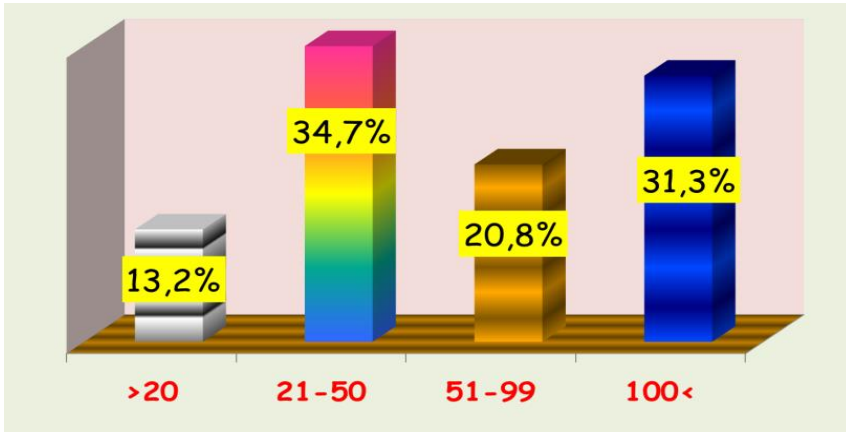
6. Yetiştirilen Mercimek Çeşidinin Sınıfı

İşletme sahiplerine yetiştirilen mercimek çeşidinin sınıfı nedir diye sorulduğunda işletme sahiplerinin %47.9'u (69 adet) standart çeşidi tercih ettiklerini ifade ederken % 52.1'i ise (75 adet) yetiştiricilikte yerel popülasyon kullandıklarını söylemişlerdir (Şekil 7).

**Şekil 7.** Yetiştirilen mercimek çeşidinin sınıfı

7. Mercimek Ekim Alanı

Ankette yer alan sorulardan bir tanesi de mercimek ekim 116alanınız ne kadardır? Diye olmuştur. Nitekim ankete katılan işletme sahiplerinden % 55,1'i (75 adet) 50 dekarın üzerinde mercimek ektiklerini ifade ederlerken, % 34,7'si (50 adet) 21-50 da arasında mercimek ektiklerini, % 13,2'sinin ise (19 adet) 20 dekarın altında mercimek yetiştirdiklerini belirtmişlerdir (Şekil 8).

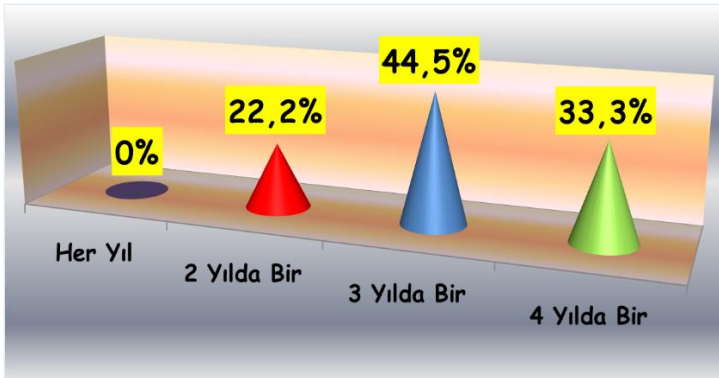


Şekil 8. Yetiştirilen mercimek ekim alanı

Şanlıurfa İli Siverek ilçesi Büyükoba köyünden ankete katılan Mahmut Boduroğlu isimli işletme sahibimiz 840 da mercimek ekim alanı ile en fazla mercimek eken çiftçiler arasında ilk sırayı alırken Viranşehir ilçesinden Sino Filiz isimli çiftçimiz ise tüm ankete katılanlar içinden 5 da ile en az mercimek eken işletme sahibimiz olmuştur.

8. Aynı Tarlada Ekilen Mercimek Ekim Sıklığı

Mercimek üretimi yapan işletme sahiplerinin mercimeği münavebe bitkisi olarak kullandıkları yapılan anket sonucunda ortaya konulmuştur. Nitekim ankete katılan işletme sahiplerinin% 44,5'i (64 adet) üç yılda bir mercimek ekerken, % 33,3'ü (48 adet) dört yılda bir ve % 22'si (32 adet) ise iki yılda bir mercimek ektiklerini belirtmişlerdir (Şekil 9).



Şekil 9. Aynı tarlaya ekilen mercimek ekim sıklığı

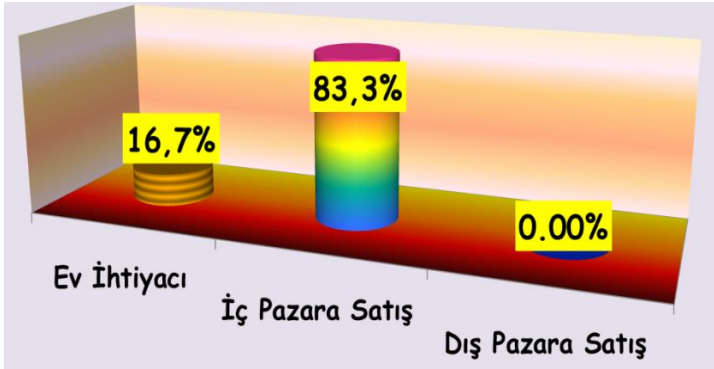
3 yılda bir mercimek ekimi yapan çiftçiler en fazla 17 kişi ile Siverek ilçesinde tespit edilirken, 4 yılda bir mercimek eken çiftçilere Birecik ve Akçakale ilçelerinde karşılaşılmamıştır (Tablo 13).

Tablo 13. İşletme sahiplerinin ilçeler bazında aynı tarlada mercimek ekim sıklıkları

Aynı Tarlaya Kaç Yılda Bir Mercimek Ekiyorsunuz?					
İlçesi	Anket Sayısı	Her Yıl	2 Yılda Bir	3 Yılda Bir	4 Yılda Bir
Birecik	9	0	1	8	0
Suruç	23	0	6	6	11
Akçakale	2	0	1	1	0
Karaköprü	13	0	2	7	4
Eyyübiye	5	0	3	1	1
Haliliye	9	0	1	5	3
Hilvan	22	0	6	8	8
Siverek	36	0	8	17	11
Viranşehir	17	0	3	8	6
Bozova	8	0	1	3	4
Toplam	144	0	32	64	48

9. Mercimeğin Yetiştirilme Amacı

İşletme sahiplerine mercimek yetiştirmedeki amacınız nedir diye sorulduğunda işletme sahiplerinin % 83.3'ü (120 adet) mercimeği iç pazara yönelik olarak yetiştirdiklerini, % 16.7'si (24 adet) ise mercimeği kendi ev ihtiyaçlarına yönelik yetiştirdiklerini ifade etmişlerdir (Şekil 10).



Şekil 1. Mercimek yetiştirmedeki amacınız?

Tüm işletme sahipleri içinde yer alan Birecik ve Eyyübiye ilçelerindeki işletme sahipleri ev ihtiyacı için mercimek üretmediklerini ifade ederken aksine

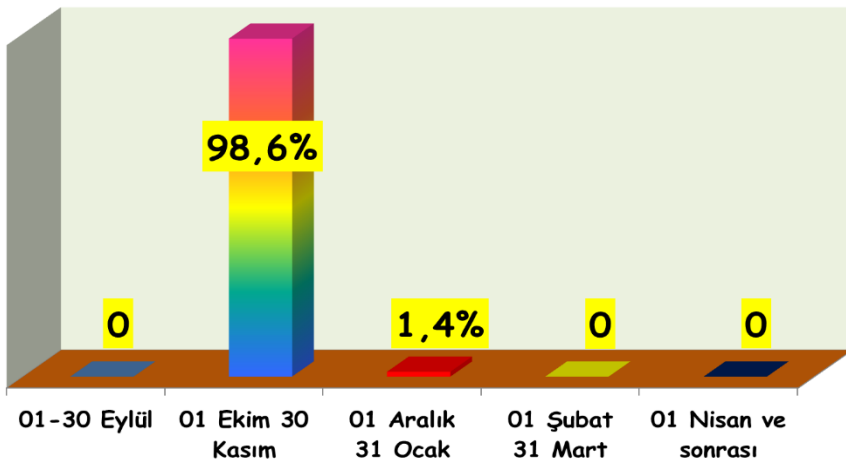
ürünün tamamını iç pazara yönelik olarak değerlendirdiklerini söylemişlerdir (Tablo 14).

Tablo 5. İşletme sahiplerinin mercimeği yetiştirmedeki amaçlarının ilçelere göre dağılımı

Mercimek Yetiştirmedeki Amacınız?				
İlçesi	Anket Sayısı	Ev İhtiyacı	İç Pazara Satış	Dış Pazara Satış
Birecik	9	0	9	0
Suruç	23	1	22	0
Akçakale	2	0	2	0
Karaköprü	13	1	12	0
Eyyübiye	5	0	5	0
Haliliye	9	1	8	0
Hilvan	22	6	16	0
Siverek	36	8	28	0
Viranşehir	17	4	13	0
Bozova	8	3	5	0
Toplam	144	24	120	0

10. Mercimek Ekim Zamanı

İşletme sahiplerine bir başka anket sorusu olarak mercimeği ne zaman ektikleri sorulduğunda işletme sahiplerinin tamamına yakını (% 98.6) erken ekim olarak adlandırdığımız 01 Ekim-30 Kasım tarihlerini tercih ettiklerini geriye kalan 2 adet (%1.4) işletme sahibimizin ise 01 Aralık-31 Ocak tarihleri arasında mercimeği ektiklerini beyan etmişlerdir (Şekil 11).



Şekil 11. İşletme sahiplerinin mercimek ekim zamanı

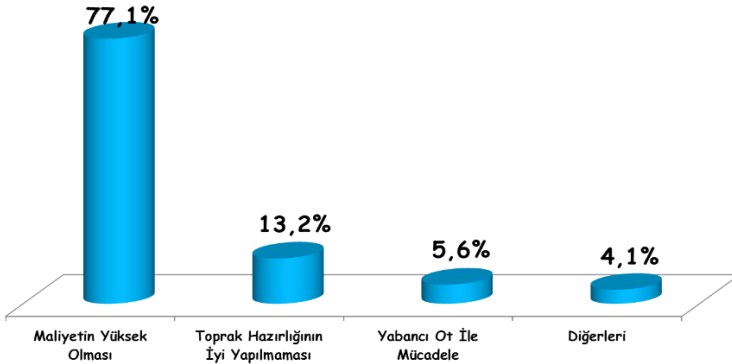
Şanlıurfa ili Eyyübiye ve Viranşehir ilçelerinden birer işletme sahibi 01 Aralık-31 Ocak zaman aralığında mercimek ektiklerini belirtmiş olup ekim zamanı bakımından tüm ilçelere ait veriler Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 6. İşletme sahiplerinin mercimek ekim zamanlarının ilçelere göre dağılımı

Mercimek Ekim Zaman Aralığınız?						
İlçesi	Anket Sayısı	01 Eylül-30 Eylül	01 Ekim-30 Kasım	01 Aralık-31 Ocak	01 Şubat-31 Mart	01 Nisan ve sonrası
Birecik	9	0	9	0	0	0
Suruç	23	0	23	0	0	0
Akçakale	2	0	2	0	0	0
Karaköprü	13	0	13	0	0	0
Eyyübiye	5	0	4	1	0	0
Haliliye	9	0	9	0	0	0
Hilvan	22	0	22	0	0	0
Siverek	36	0	36	0	0	0
Viranşehir	17	0	16	1	0	0
Bozova	8	0	8	0	0	0
Toplam	144	0	142	2	0	0

11. Ekim Sırasında Karşılaşılan Problemler

Çiftçilerimizin ekim sırasındaki karşılaştıkları problemler ve bunlarla mücadele edemez duruma gelmeleri çiftçilerimizin mercimek tarımından kısmen de olsa uzaklaşmalarına sebep olmaktadır. Bu kapsamda işletme sahiplerine ekim sırasında karşılaştıkları problemler nelerdir diye sorulduğunda işletme sahiplerinin % 77.1’i (111 adet) ekim maliyetinin yüksek olduğunu, % 4.1’i (6 adet) ise diğerleri olan traktörün olmayışı ve iklim faktörleri vs. gibi problemlerle karşılaştıklarını belirtmişlerdir (Şekil12).



Şekil 12. Ekim sırasında karşılaşılan problemler

Şanlıurfa İli'nin Suruç ilçesinde anket yapılan işletme sahiplerinin tamamı maliyetin yüksek olmasını ekim sırasında karşılaştıkları tek problem olarak ifade etmişlerdir (Tablo 16).

Tablo 16. Ekim sırasında karşılaşılan problemlerin ilçelere göre dağılımı

İlçesi	Anket Sayısı	Maliyetin Yüksek Olması	Toprak Hazırlığının İyi Yapılmaması	Yabancı Ot İle Mücadele	Diğerleri
Birecik	9	5	3	1	0
Suruç	23	23	0	0	0
Akçakale	2	0	0	1	1
Karaköprü	13	10	3	0	0
Eyyübiye	5	1	1	1	2
Haliliye	9	8	0	0	1
Hilvan	22	13	5	3	1
Siverek	36	31	4	0	1
Viranşehir	17	16	1	0	0
Bozova	8	4	2	2	0
Toplam	144	111	19	8	6

12. Mercimek Ekim Şekli

Şanlıurfa İli'nin tüm ilçelerinde anketi yapılan işletme sahiplerinin tamamı (144 adet) mercimeği mibzerle ektiklerini belirtmişler ve serpme ekim yapan hiçbir işletme sahibine rastlanılmamıştır (Tablo 17).

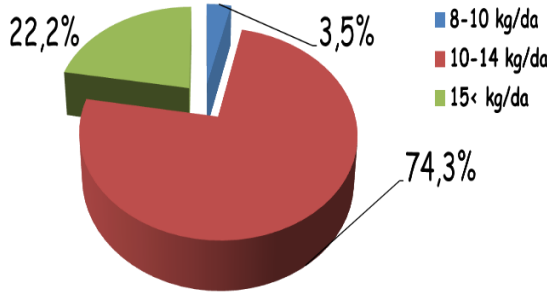
Tablo 17. Mercimek ekim şekillerinin ilçelere göre dağılımı

Mercimek Ekim Şekliniz?			
İlçesi	Anket Sayısı	Serpme Ekim	Mibzerle Ekim
Birecik	9	0	9
Suruç	23	0	23
Akçakale	2	0	2
Karaköprü	13	0	13
Eyyübiye	5	0	5
Haliliye	9	0	9
Hilvan	22	0	22
Siverek	36	0	36
Viranşehir	17	0	17
Bozova	8	0	8
Toplam	144	0	144

13. Dekara Atılan Tohum Miktarı

İşletme sahiplerine “Dekara attığınız tohum miktarınız nedir?” diye sorulduğunda işletme sahiplerinin % 74.3'ü (107 adet) dekara 10-14 kg tohum

kullandıklarını, % 22,2'i (32 adet) 15 kg üstü tohum kullandıklarını ifade ederek bu işletme sahipleri ekim sıklığını daha sık kullandıklarını belirtmişlerdir (Şekil 13).



Şekil 2. Dekara atılacak tohum miktarı

İşletme sahiplerimiz içinden dekara 15 kg üstü tohum kullanan 32 tanesi daha çok yerli tohum kullandıklarını bu yüzden ekim sıklığını artırdıklarını belirtmişlerdir. İşletme sahiplerimizin az da olsa küçük bir kısmı (5 adet) ise en ideal tohum miktarı olan dekara 8-10 kg tohum miktarını kullanmışlardır (Tablo 18).

Tablo 18. Dekara atılan tohum miktarlarının ilçelere göre dağılımı

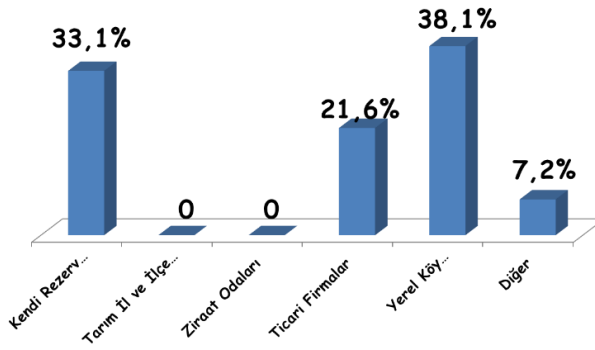
Mercimek Ekiminde Dekara Ne Kadar Tohum Kullanıyorsunuz?				
İlçesi	Anket Sayısı	8-10 kg/da	10-14 kg/da	15< kg/da
Birecik	9	2	7	0
Suruç	23	0	19	4
Akçakale	2	0	2	0
Karaköprü	13	0	9	4
Eyyübiye	5	0	4	1
Haliliye	9	0	8	1
Hilvan	22	0	15	7
Siverek	36	0	27	9
Viranşehir	17	1	10	6
Bozova	8	2	6	0
Toplam	144	5	107	32

14. Mercimek Tohumunun Temin Edilmesi

Anket yapılan işletme sahiplerine birden çok seçeneği işaretleyebilecekleri “Mercimek tohumunu nereden temin ediyorsunuz?” sorusu sorulduğunda işletme sahipleri içinden % 33,1'i (113 adet) mercimek

tohumluğunu kendi rezerv tohumlarından sağladıklarını, % 38.1'inin (116 adet) ise tohumluklarını yerel köy pazarından temin ettiklerini ifade etmiştir.

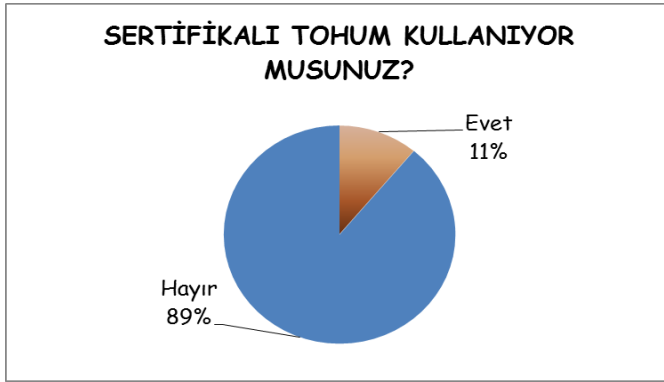
Bunun yanında işletme sahiplerinin %21.6'sı (66 adet) ticari firmalardan tohumluklarını elde ettiklerini söylerken 22 adet işletme sahibi ise diğerleri şıkkı olan abi-kardeş, komşu köy ve akrabalarından tohumluklarını temin etmişlerdir. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına bağlı il ve ilçe müdürlükleri ile ziraat odalarından tohumluklarını temin eden işletme sahipleri ile karşılaşmamıştır (Şekil 14).



Şekil 3. Mercimek tohumu nereden temin ediliyor?

15. Sertifikalı Tohum Kullanımı

Yüksek verim almanın, hastalıklarla mücadele etmenin, makineli tarıma uygun çeşit kullanmanın ilk yolu sertifikalı tohum kullanmaktan geçer. Bu kapsamda işletme sahiplerine sorduğumuz sorulardan bir tanesi de “Sertifikalı tohumculuk kullanıyor musunuz?” olmuştur. Şekil 15’de görüldüğü üzere işletme sahiplerimizin % 89’ü (128 adet) “hayır” cevabını verirken geriye kalan % 11’i (16 adet) “evet” cevabını vermiştir.



Şekil 4. Sertifikalı tohum kullanıyor musunuz?

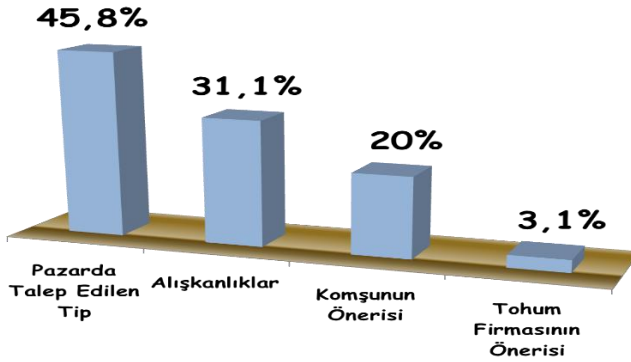
İlçelerimizden Birecik, Akçakale, Haliliye ve Viranşehir’de ankete katılan işletme sahiplerimizin tamamı sertifikalı tohum kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Bunun yanında Hilvan’da ankete katılan 9 çiftçimiz sertifikalı tohum kullandıklarını belirtmişlerdir (Tablo 19).

Tablo 19. Sertifikalı tohum kullanımının ilçelere göre dağılımı

Sertifikalı Tohum Kullanıyor musunuz?			
İlçesi	Anket Sayısı	Evet	Hayır
Birecik	9	0	9
Suruç	23	2	21
Akçakale	2	0	2
Karaköprü	13	2	11
Eyyübiye	5	1	4
Haliliye	9	0	9
Hilvan	22	9	13
Siverek	36	1	35
Viranşehir	17	0	17
Bozova	8	1	7
Toplam	144	16	128

16. Ekilecek Tohum Çeşidinin Belirlenmesinde Dikkat Edilecek Hususlar

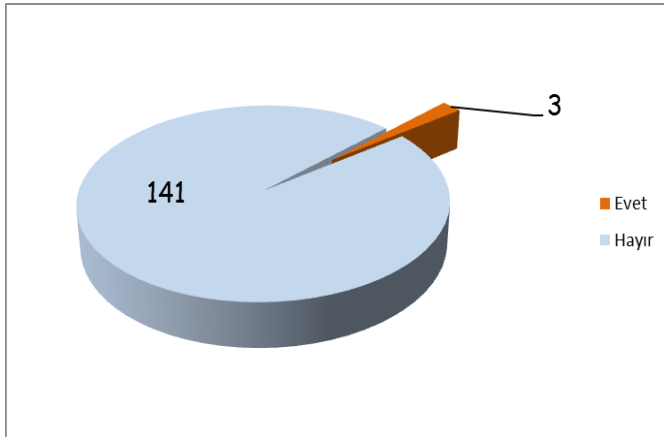
Yine işletme sahiplerimize çoktan seçenekli bir soru olan “Mercimekte ekeceğiniz tohumun çeşidini belirlerken neyi dikkate alıyorsunuz?” diye sorulduğunda işletme sahiplerinin % 45.8’i (113 adet) pazarda talep edilen çeşidi tercih ettiklerini belirtirken % 31.1’i (90 adet) alışkanlıklarından vazgeçmediğini, % 20’si (58 adet) ise çeşit seçiminde komşusunun önerisini dikkate aldıklarını söylemişlerdir (Şekil 16).



Şekil 16. Mercimek tohumunun belirlenmesinde dikkate alınan hususlar

17. Çıkış Öncesi Ot İlacının Kullanımı

İşletme sahiplerine ekim sonrası çıkış öncesi herbisit kullanıp kullanmadıkları sorulduğunda işletme sahiplerinin 141 tanesi (% 97.92) herbisit kullanmadıklarını ifade ederken geriye kalan 3 işletme sahibimiz (%2.08) ise herbisit kullandıklarını belirtmişlerdir. Birecik, Suruç ve Hilvan ilçelerinden ankete katılan birer işletme sahibi çıkış öncesi herbisit kullandıklarını belirtmişlerdir (Tablo 20, Şekil 17).



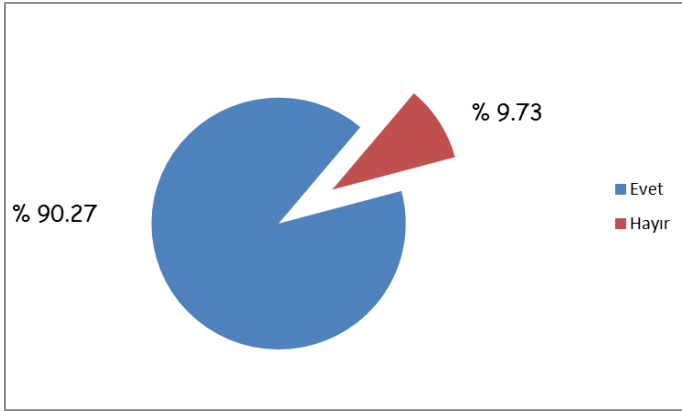
Şekil 5. Çıkış öncesi ot ilacı kullanıyor musunuz?

Tablo 20. Çıkış öncesi ot ilacı kullanan çiftçilerin ilçelere göre dağılımı

Çıkış Öncesi Ot İlacı Kullanıyor muusunuz?			
İlçesi	Anket Sayısı	Evet	Hayır
Birecik	9	1	8
Suruç	23	1	22
Akçakale	2	0	2
Karaköprü	13	0	13
Eyyübiye	5	0	5
Haliliye	9	0	9
Hilvan	22	1	21
Siverek	36	0	36
Viranşehir	17	0	17
Bozova	8	0	8
Toplam	144	3	141

18. Bitki Tarlada İken İlaçlamanın Yapılması

Ankete katılan 144 adet işletme sahibimize mercimek tarlada iken ilaçlama yapıp yapmadıkları sorulduğunda 130 adet işletme sahibimiz ilaçlama yaptığını söylerken, 14 adet işletme sahibimiz ise herhangi bir ilaçlama yapmadığını dile getirmişlerdir (Şekil 18).

**Şekil 18.** Bitki tarlada iken ilaçlamanın yapılması

Birecik, Suruç, Akçakale ve Haliliye ilçelerinde yer alan işletme sahiplerimizin tamamı bitki tarlada iken ilaçlama yaptıklarını ifade etmişlerdir (Tablo 21).

Tablo 21. Bitki tarlada iken ilaçlama yapan işletmelerin ilçelere göre dağılımı

Bitki Tarlada İken İlaçlama Yapar mısınız?			
İlçesi	Anket Sayısı	Evet	Hayır
Birecik	9	9	0
Suruç	23	23	0
Akçakale	2	2	0
Karaköprü	13	12	1
Eyyübiye	5	4	1
Haliliye	9	9	0
Hilvan	22	18	4
Siverek	36	30	6
Viranşehir	17	16	1
Bozova	8	7	1
Toplam	144	130	14

19. Kullanılan Gübre

İşletme sahiplerine mercimek yetiştiriciliğinde kullandıkları gübre sorulduğunda 143 işletme sahibimiz ticari gübre kullandıklarını belirtirken sadece 1 adet işletme sahibimiz (Sino Filiz/Viranşehir) hiç gübre kullanmadığını belirtmiştir (Tablo 22).

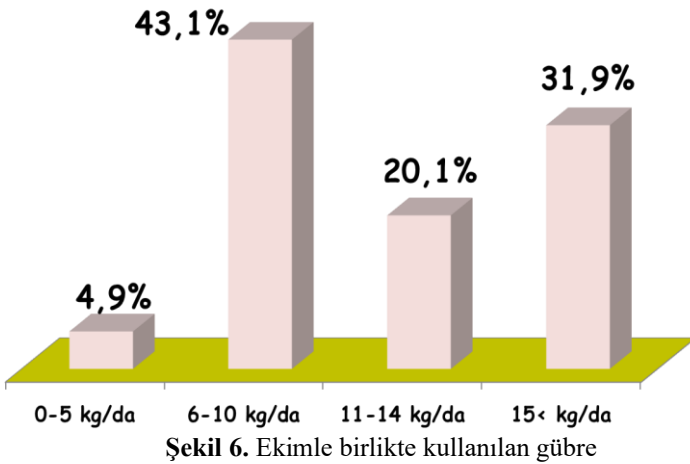
Tablo 22. Kullanılan gübrenin ilçelere göre dağılımı

Kullandığınız Gübre?				
İlçesi	Anket Sayısı	Hayvansal Gübre	Ticari Gübre	Organik Gübre
Birecik	9	0	9	0
Suruç	23	0	23	0
Akçakale	2	0	2	0
Karaköprü	13	0	13	0
Eyyübiye	5	0	5	0
Haliliye	9	0	9	0
Hilvan	22	0	22	0
Siverek	36	0	36	0
Viranşehir	17	0	16	0
Bozova	8	0	8	0
Toplam	143	0	143	0

20. Ekimle Beraber Kullanılan Gübre

Gübre kullanan 143 adet işletme sahibine ekimle beraber ne kadar gübre kullandıkları sorulduğunda işletme sahiplerinin % 43.1'i (61 adet) dekara 6-10 kg gübre kullanırken, % 31.9'ü (46 adet) 15 kg gübre kullandıklarını ifade

etmişlerdir. Geriye kalan işletme sahiplerimizin %4.9'u (7 adet) ise dekara 0-5 kg gübre kullandığını belirtmiştir. Dekara 15 kg üstünde gübre kullanan Suruç ilçemiz, ankete katılan 14 işletme sahibimiz ile dikkat çekmektedir (Tablo 23, Şekil 19).



Şekil 6. Ekimle birlikte kullanılan gübre

Tablo 23. Ekimle birlikte verilen gübrenin ilçelere göre dağılımı

Ekimle Beraber Ne Kadar Gübre Veriyorsunuz?					
İlçesi	Anket Sayısı	0-5 kg/da	6-10 kg/da	11-14 kg/da	15< kg/da
Birecik	9	0	2	4	3
Suruç	23	2	7	0	14
Akçakale	2	0	0	1	1
Karaköprü	13	3	5	3	2
Eyyübiye	5	1	2	2	0
Haliliye	9	0	4	1	4
Hilvan	21	0	12	3	6
Siverek	36	1	20	8	8
Viranşehir	17	0	7	3	6
Bozova	8	0	2	4	2
Toplam	143	7	61	29	46

21. Mercimekte Çapalama

“Mercimekte çapalama yapar mısınız?” diye işletme sahiplerine sorulduğunda tüm işletme sahipleri çapa yapmadıklarını belirtmişlerdir (Tablo 24).

Tablo 24. Mercimekte çapalama yapan çiftçilerin ilçelere göre dağılımı

Mercimekte Çapalama Sayınız?				
İlçesi	Anket Sayısı	Hiç Çapa Yapmam	1	1<
Birecik	9	9	0	0
Suruç	23	23	0	0
Akçakale	2	2	0	0
Karaköprü	13	13	0	0
Eyyübiye	5	5	0	0
Haliliye	9	9	0	0
Hilvan	22	22	0	0
Siverek	36	36	0	0
Viranşehir	17	17	0	0
Bozova	8	8	0	0
Toplam	144	144	0	0

22. Yetiştirilen Mercimek Formu

Tüm işletme sahiplerine “Hangi tip mercimeği yetiştiriyorsunuz?” diye sorulduğunda 21. soruda olduğu gibi işletmelerin tamamı kırmızı mercimek yetiştirdiklerini ifade etmişlerdir (Tablo 25).

Tablo 25. Yetiştirilen mercimek formunun ilçelere göre dağılımı

Yetiştirdiğiniz Mercimek Formu?			
İlçesi	Anket Sayısı	Kırmızı	Yeşil
Birecik	9	9	0
Suruç	23	23	0
Akçakale	2	2	0
Karaköprü	13	13	0
Eyyübiye	5	5	0
Haliliye	9	9	0
Hilvan	22	22	0
Siverek	36	36	0
Viranşehir	17	17	0
Bozova	8	8	0
Toplam	144	144	0

23. Mercimekte Ekim Zamanı

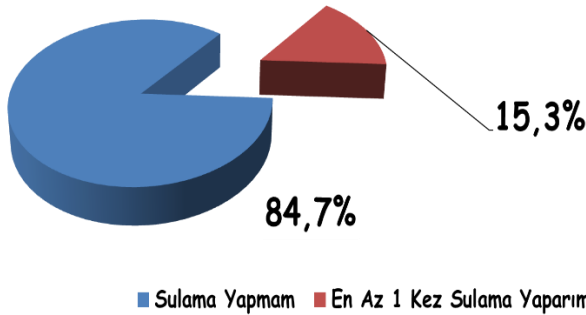
İşletme sahiplerine mercimek ekim zamanları sorulduğunda tüm işletme sahipleri mercimeği kışlık olarak ektiklerini belirtmişlerdir (Tablo 26).

Tablo 26. Mercimek bitkisinin ekim mevsiminin ilçelere göre dağılımı

Mercimek Bitkisinde Ekim Zamanınız?				
İlçesi	Anket Sayısı	Kışlık	Erken İlkbahar	Yazlık
Birecik	9	9	0	0
Suruç	23	23	0	0
Akçakale	2	2	0	0
Karaköprü	13	13	0	0
Eyyübiye	5	5	0	0
Haliliye	9	9	0	0
Hilvan	22	22	0	0
Siverek	36	36	0	0
Viranşehir	17	17	0	0
Bozova	8	8	0	0
Toplam	144	144	0	0

24. Mercimekte Sulama

Bir başka anket sorusu olarak işletme sahiplerine sulama yapıp yapmadıkları sorulmuştur. İşletme sahiplerinin % 84,7'si (122 adet) hiç bir şekilde sulama yapmadığını söylerken % 15,3'ü (22 adet) ise mercimekte sulama yaptıklarını ifade etmiştir. Sulama yapan 22 işletme sahibimize kullandıkları suyun türü nedir diye sorulduğunda 17'si sondaj suyundan, 5'i ise DSİ kanal suyundan faydalandıklarını belirtmişlerdir. Yine bu 22 işletme sahibimize sulama şekilleri sorulduğunda 6'sı salma sulama yaparken 16'sı ise mercimeği yağmurlama sistemi ile suladıklarını dile getirmişlerdir (Şekil 20).

**Şekil 20.** Mercimek üretiminde sulama

Akçakale ilçesinden ankete katılan tüm işletme sahiplerimiz hiç bir şekilde sulama yapmadıklarını söylemişlerdir. Sulama yapan 22 çiftçimizin

12'si Viranşehir, 6'sı ise Siverek ilçesinden ankete katılmışlar ve mercimeği suladıklarını belirtmişlerdir (Tablo 27).

Tablo 27. Mercimekte sulama yapan çiftçilerin ilçelere göre dağılımı

Mercimek Yetiştiriciliğinde Sulama Yapar mısınız?			
İlçesi	Anket Sayısı	Yapmam	Evet En Az 1 Kez Yaparım
Birecik	9	8	1
Suruç	23	21	2
Akçakale	2	2	0
Karaköprü	13	12	1
Eyyübiye	5	4	1
Haliliye	9	8	1
Hilvan	22	19	3
Siverek	36	30	6
Viranşehir	17	11	6
Bozova	8	7	1
İLİN TOLAMI	144	122	22

25. Mercimek Hasat Şekli

Geniş arazilerde mercimek eken çiftçiler hasatlarını makineli yapmak suretiyle hem maliyet hem de tane kaybını minimuma indirerek mercimekten fazla kazanç sağlayabilmektedirler. Bu kapsamda işletme sahiplerine “Mercimekte hasat şekliniz?” nedir diye sorulduğunda % 72.9'u (105 adet) makineli hasat yaparken, % 27.09'u (39 adet) mercimeği elle hasat ettiklerini söylemişlerdir (Tablo 28).

Tablo 28. Çiftçilerin hasat şekillerinin ilçelere göre dağılımı

Hasat şekliniz?			
İlçesi	Anket Sayısı	Elle Hasat	Makineli Hasat
Birecik	9	4	5
Suruç	23	4	19
Akçakale	2	1	1
Karaköprü	13	5	8
Eyyübiye	5	1	4
Haliliye	9	4	5
Hilvan	22	7	15
Siverek	36	8	28
Viranşehir	17	2	15
Bozova	8	3	5
Toplam	144	39	105

26. Mücadele Edilen Ot Yoğunluğu

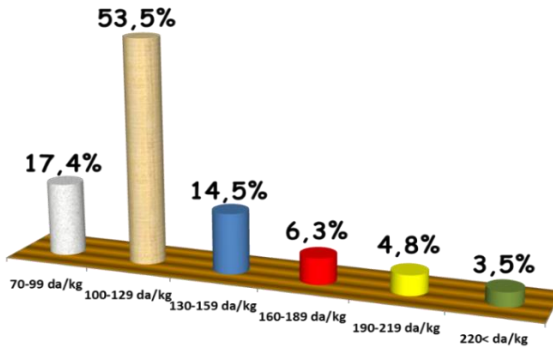
İşletme sahiplerine yukarıdaki anket sorularının yanında “Mercimekte en çok mücadele ettiğiniz ot yoğunluğu hangileridir?” diye sorulduğunda işletme sahipleri en çok yabancı hardal, dil kanatan, yabancı yulaf, canavar otu ve pıtrak türü otlarla mücadele ettiklerini dile getirmişlerdir.



Ankete katılan çiftçilerin mercimek üretiminde mücadele ettikleri ot türleri

27. Mercimekte Verim

Tüm işletme sahiplerine “Mercimekte ortalama dekara veriminiz nedir?” diye sorulduğunda işletme sahiplerinin %53.5’i (77 adet) dekara 100-129 kg, % 17.4’ü (25 adet) 70-99 kg, % 14.5’i (21 adet) 130-159 kg ürün elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca işletme sahiplerimizin % 6.3’ü (9 adet) 160-189 kg, %4.8’i (7 adet) 190-219 kg ve %3.5’i (5 adet) ise 220 kg üzeri verim aldıklarını ifade etmişlerdir. Mercimekte sulama olanakları bulunan çiftçilerin elde ettikleri üründe bir artış olduğu görülmüştür (Şekil 21).



Şekil 7. Mercimekte verim

Şanlıurfa ilinin tüm ilçelerinden ankete katılan işletme sahiplerinin elde ettikleri verimlerden yola çıkarak ilçeler bazında mercimek verimleri kıyaslandığında en yüksek verimi 146,1 kg/da ile Viranşehir ilçesi işletme

sahipleri elde ederken en düşük verimi ise 109,7 kg/da ile Suruç ilçesi işletme sahipleri elde etmiştir (Tablo 29).

Tablo 29. Mercimekte ortalama verimin ilçelere göre dağılımı

İlçesi	Ortalamalar (kg/da)	İlçesi	Ortalamalar (kg/da)
Birecik	115	Haliliye	127.7
Suruç	109.7	Hilvan	127.1
Akçakale	120	Siverek	119.86
Karaköprü	113.8	Viranşehir	146.1
Eyyübiye	119	Bozova	117.5

SONUÇ ve ÖNERİLER

Şanlıurfa ili mercimek üretimine yönelik işletme sahiplerine uygulanan anket çalışmasının değerlendirilmesi sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen görüşler ortaya konulmuştur.

1. Sertifikalı tohum konusunda çiftçilerimizi teşvik etmek adına desteklerin artırılması gerekmektedir.
2. Sulama imkânı olan çiftçilerimizin en azından çiçeklenme veya bakla bağlama döneminde sulama yapmalarının teşvik edilmesi gerekmektedir. Sulama yapmayan çiftçilerimize de sulamanın özendirilmesi sağlanmalıdır.
3. Çiftçilerin elde ettikleri ürünleri bir elden değerlendirebilmeleri için alt birliklerin veya kooperatiflerin kurulması lazımdır.
4. Sulama olanaklarının olduğu yerlerde çiftçilerimiz mercimek yerine getirisi fazla olan alternatif ürünlere yönelmektedir. Bu yüzden mercimek alım fiyatlarının alternatif ürünlere göre tekrardan düzenlenmesi gerekmektedir.
5. Verimsizleşmiş toprakların oluşturduğu tarım arazilerini tekrardan eski haline döndürebilecek mercimek başta olmak üzere yemeklik tane baklagillerin ekim alanlarına ağırlık verilmelidir.
6. Tarımsal girdi destekleri ile çiftçiler desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2023). <http://www.fao.org/home/en/> (07.06.2025).
- Ceyhan, E. (2007). Yemeklik Tane Baklagiller Ders Notları. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Selçuklu-Konya.
- Coşkun, Y., & Karababa, E. (1998). Türkiye’de mercimek üretim potansiyeli ve işleme teknolojisi. *Gıda*, 23 (3), 201-209.
- Şehirli, S. (1988). Yemeklik Dane Baklagiller. *Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları Ders Kitabı*. No: 1089. 314. A.Ü. Basımevi, Ankara. 208.
- Vavilov, N.I. (1951). The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*, 13, 1-6.
- Wery, J., & Grinac, P. (1983). Uses of legumes and their economic importance in: Technical handbook on symbiotic nitrogen fixation FAO, Rome, Italy. 21(1), 124.

CHAPTER 6

ROLE OF BORON IN PLANTS

Assoc. Prof. Dr. Neriman Tuba BARLAS^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15851111>

¹ Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Ege University, 35100 İzmir, Türkiye

*Corresponding author: tuba.barlas@ege.edu.tr ; tubabarlas@gmail.com

Orcid ID: 0000-0002-2971-4977

1. Introduction

Boron, which plays a fundamental role in plant growth, development and yield, is an essential microelement. Although it is taken up by plants in very low amounts; Boron deficiency and toxicity are quite common worldwide and can significantly limit crop yields. With the understanding of the necessity of boron in plant production by Warington (1923)¹, the activities of boron in plants have been investigated in detail by many researchers.

Boron is taken up by plant roots as H_3BO_3 in the soil solution. H_3BO_3 is a non-ionized molecule that easily diffuses from the soil, but its mobility in the plant and its presence in the soil are under the influence of environmental, physiological and biochemical factors ^{2,3}.

2. Boron Uptake and Transport Mechanisms

Boron uptake in plants occurs as boric acid and through passive diffusion. According to current literature, boron transporter genes that facilitate active uptake and loading into the xylem in cases where boron is not sufficient for plants have been identified.

Despite this, it is known that boron mobility in the plant varies according to the plant species. For example, boron mobility in the phloem is facilitated by forming B-polyol complexes in plants which accumulate polyols (such as sorbitol, mannitol, etc.) In contrast, species that do not contain polyols show limited boron mobility, which necessitates continuous boron uptake into actively growing tissues^{10,11}.

3. Basic Functions of Boron in Plants

3.1. Cell Wall Structure and Stability

Boron is known to be an integral part of the structural integrity of cell walls, which forms cross-links, through borate diester bonds. These structures (complexes) are critical for ensuring cell wall strength, porosity, and proper cell expansion. In addition, it should be taken into consideration that the interaction of boron with other nutrients and soil properties may affect the uptake of boron into the plant and its functions within the plant. ^{2, 5,7,9}.

3.2. Membrane Integrity and Metabolic Regulation

Boron contributes to membrane stability and is also effective in regulating ion transport and enzymatic activities. Moreover, it is known to affect the permeability and polarity of membranes ^{2,8}.

3.3. Reproduction

Boron is a vital element for reproductive development. Including flowering, pollen germination, pollen tube elongation, and fruit and seed development; It is necessary at different stages of reproduction. When there is a deficiency, sterility is usually observed, and flower shedding may occur. It can cause a decrease in seed formation, especially in species with high boron requirements such as cotton and sunflower ^{2,3,8}.

3.4. Carbohydrate and Hormonal Transport

Boron, which facilitates the transport of sugars and has important roles in auxin metabolism and transport; increases the movement of photoassimilates. It is also known to regulate hormonal balances important for cell division and elongation ^{2,6,8}.

4. Boron Deficiency and Toxicity

4.1. Deficiency Symptoms

Symptoms are usually seen in actively growing tissues due to boron's low phloem mobility. Death of shoot tips, leaves becoming brittle or curled, flower and fruit shedding and retardation in root elongation are among the commonly observed symptoms ⁴.

4.2. Toxicity Symptoms

Toxicity symptoms are usually seen in plants grown in arid and semi-arid regions with high soil-B content or in plants irrigated with water with a high level of boron.

The most frequently observed symptoms are reported as leaf tip burn, chlorosis, necrosis and reduced root and shoot growth. However, excessive levels of boron in plant tissues inhibit protein synthesis, cause oxidative stress and can thus damage cell membranes ⁴.

5. Interactions with Other Nutrients and Environmental Factors

Nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium, as well as soil pH, texture and organic matter, are reported to affect boron uptake and its functions².

Conclusion

Boron uptake and transport within the plant is affected by various factors such as plant species, carrier proteins and the presence of polyol compounds that affect its mobility in phloem.

In addition, it should be taken into consideration that the interaction of boron with other nutrients and soil properties may affect the uptake of boron into the plant and its functions within the plant.

As a result, optimizing boron supply can make positive contributions to plant durability, yield stability and sustainable agricultural production.

References

1. Warrington K. 1923. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Annals of Botany* 37: 629–672.
2. Vera-Maldonado, P., Aquea, F., Reyes-Díaz, M., Cárcamo-Fincheira, P., Soto-Cerda, B., Nunes-Nesi, A., & Inostroza-Blancheteau, C. (2024). Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1332459>.
3. Shireen, F., Nawaz, M., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., & Bie, Z. (2018). Boron: Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>.
4. Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>.
5. Pereira, G., Siqueira, J., Batista-Silva, W., Cardoso, F., Nunes-Nesi, A., & Araújo, W. (2021). Boron: More Than an Essential Element for Land Plants?. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.610307>.
6. Kohli, S., Kaur, H., Khanna, K., Handa, N., Bhardwaj, R., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2022). Boron in plants: uptake, deficiency and biological potential. *Plant Growth Regulation*, 100, 267-282. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00844-7>.
7. Qu, M., Huang, X., García-Caparrós, P., Shabala, L., Fuglsang, A., Yu, M., & Shabala, S. (2024). Understanding the role of boron in plant adaptation to soil salinity.. *Physiologia plantarum*, 176 3, e14358 . <https://doi.org/10.1111/ppl.14358>.
8. Brown, P., Bellaloui, N., Wimmer, M., Bassil, E., Ruiz, J., Hu, H., Pfeiffer, H., Dannel, F., & Römheld, V. (2002). Boron in Plant Biology. *Plant Biology*, 4, 205-223. <https://doi.org/10.1055/S-2002-25740>.
9. Goldbach, H., & Wimmer, M. (2007). Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure?. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 39-48. <https://doi.org/10.1002/JPLN.200625161>.

- 10.Lee, S., & Aronoff, S. (1967). Boron in Plants: A Biochemical Role. *Science*, 158, 798 - 799.
<https://doi.org/10.1126/science.158.3802.798>.
- 11.Lewis, D. (2018). Boron: the essential element for vascular plants that never was.. *The New phytologist*, 221 4, 1685-1690 .
<https://doi.org/10.1111/nph.15519>.

BÖLÜM 7

MAYA VE AZTEKLERİN MUCİZEVİ BİTKİSİ: CHİA VE TARIMI

Öğr. Gör. Selma TUNA KOÇOĞLU¹

Doç. Dr. Ruziye KARAMAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15851121>

¹ Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Seben İzzet Baysal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bolu, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0003-4794-2655>

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, ISPARTA <https://orcid.org/0000-0001-5088-8253>

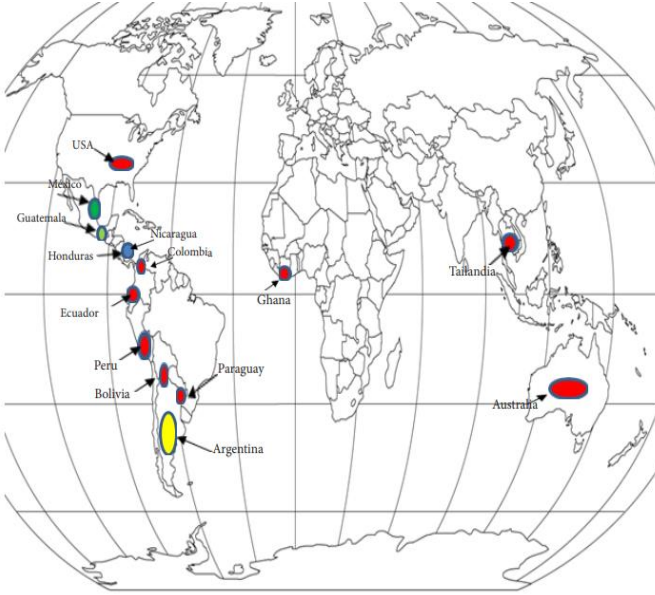
*Corresponding Author: ruziyekaraman@isparta.edu.tr

GİRİŞ

Chia olarak bilinen (*Salvia hispanica* L.), Nanegiller (Lamiaceae) familyasından tek yıllık, çiçekli bir türüdür. Tohumları çok küçük olmasına rağmen, modern günün süper gıdası olarak kabul edilmiştir (Yadav, 2021). Son birkaç yılda, popülaritesi artmış olup tüm dünyada sağlık bilinci ile tüketilmeye başlanmıştır. Türkiye’de yeni yeni duyulmaya başlayan bu tür Orta ve Güney Meksika ve Guatemala’da çok uzun süreden beri yetiştirilip tüketilmektedir. Yaklaşık 12 000 yıl önce Aztek ve Mayalar tarafından uzun süreli enerji verdiği için bu bitkiye “Güç” anlamına gelen “Chia” adını vermişlerdir. Aztekler mısır ve fasulyeden sonra 3. tür olarak chiayı yetiştirmişlerdir. Azteklerin savaşçıları önemli fetih dönemlerinde sadece chia tüketerek yaşamlarını devam ettirmişlerdir (Sosa vd., 2016). Aztek savaşçıları, chia tohumlarının kalıcı enerji verdiği için savaşa gitmeden önce bir çorba kaşığı chia tohumu tüketir ve bu bir askeri 24 saat boyunca besleyebildiğini iddia etmişlerdir (Almoselhy vd., 2024). Chia tohumları Aztek kabileleri tarafından sadece gıda olarak değil, ilaç, kozmetik ve boya olarak da kullanılmaktadır. Chia Paraguay, Bolivya, Avustralya, Ekvador, Arjantin ve Meksika ve Guatemala’daki yerliler tarafından yaygın olarak yetiştirilmektedir (Sosa vd., 2016). MÖ 3500’de kültüre alınmış ve günümüzde de gıda olarak kullanılmaktadır. İlk defa Fray Bernardino de Sahagun’ın “the Florentine Codex”inde kayıt edilmiştir (Picó ve Nuez, 2000). Amerika’nın keşfi sırasında kıtada kullanılan dört temel gıdadan birisidir: Amarant, fasulye, chia ve mısır. İspanyollar, Latin Amerika’yı fethettiği zaman chia tarımını yasaklamışlar ve onun yerine ekzotik ürünler (arpa, buğday) yerini almıştır (Kulczyński vd., 2019).

20. yüzyılda, chia tohumu gibi eski süper gıdalara olan ilgi yeniden canlanmıştır. Bu durum, 1980’lerde araştırmacıların tohumların olağanüstü besin maddelerini, özellikle de zengin omega 3 yağ asitleri, diyet lifi ve antioksidan kaynaklarını daha iyi anlamaya başlamasıyla başlamıştır. Doğal gıda hareketi ve doğal beslenmeyi destekleyen doktorlar, chiayı kalbi güçlendiren, vücuda enerji veren ve hazımsızlığa yardımcı olan bir “süper gıda” olarak ifade etmişlerdir. 1991’den bu yana Arjantin’de özellikle ticari amaçla yetiştiriciliği yapılmaya başlamış (Coates ve Ayerza, 1998) ve şuan günümüzde Meksika, Bolivya, Arjantin, Ekvador ve Guatemala’da chia ticari olarak yetiştirilmeye devam etmektedir. 2000 yılına gelindiğinde, chia tohumları dünyanın dört bir yanındaki sağlıklı gıda mağazalarında ve süpermarketlerde

bulunabilmektedir. Chia tohumlarının tarihi ve küresel dağılımı Şekil 1’de verilmiştir. Arjantin’in kuzeybatı bölgesinde karlı olmayan geleneksel ürünlerin yerine ekonomik olarak yetiştirilebilen bir yaz-sonbahar ürünüdür (Coates, 1996). Chia bitkileri dona karşı çok az dayanıklı olmasından, Avrupa’nın bazı bölgelerinde seralarda yetiştirilebilmektedir (Huxley, 1992). Tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilmektedir.



Şekil 1. Dünya çapında chianın ekilen alanları tarihsel dağılımı renklere göre verilşi
Yeşil; Kolomb öncesi erken dönemde (MÖ 3500-MS 1000), mavi, Kolomb öncesi geç
dönemde (MS 1000-MS 1500); sarı; Kolomb sonrası dönem (MS 1500- MS 2000);
kırmızı; Modern dönemde (2010’dan bu tarihe kadar)

ABD’de başlayan chia tüketimi yaklaşık 10 yıl önce Avrupa’ya geçmiştir. Chianın içeriğinden dolayı ABD’de günde 48 gr, Avrupa’da ise 15 gr tüketilmesine izin verilmektedir (Knez Hrncić vd., 2019). Tohum olgunlaşmasını tamamlaması için uzun bir süreye ihtiyaç duyduğundan tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilmektedir. Dünyada tarımı ve kullanımı yaygın olan bu bitkinin Türkiye’de de temel çalışmalarının yapılmasında fayda bulunmaktadır. Bunun için öncelikle bitkinin her yönüyle tanıtılması gerekmektedir.

1. KULLANIM ALANLARI

Chia, özel nitelikleri nedeniyle fonksiyonel gıdalar elde etmek için önemli bir hammaddedir ve mevcut diğer kaynaklara göre avantajlar sunmaktadır (Coates ve Ayerza, 1996). Bu nedenle gıda ve kimya endüstrilerindeki önemli ekonomik potansiyeli göz önüne alındığında dikkat çeken bir türdür.

Chia tohumu lezzetli olması sebebiyle insan ve hayvan beslenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Chia tohumu hem çiğ hem de pişmiş besinlerle karıştırılarak tüketilmektedir. Bazı besinlerin üzerine chia tohumu direkt serpilirken, bazı besinler için sıcak suda yumuşatılarak ya da bir bardak kaynar suya koyulup bir müddet bekledikten sonra içilerek kullanılmaktadır. Chia tohumunun en yaygın tüketim şekli kahvaltılarda yulaf ezmesi, yoğurt veya kahvaltılık gevrek ile karıştırılarak olanıdır. Tatlı çeşitleri arasında tercihe göre pudinglerin üzerine ya da reçellerin içerisine ilave edilerek kullanılmaktadır. Ayrıca kişinin günlük kalsiyum ihtiyacının neredeyse %18'ini karşılamaktadır. İçerisinde bol miktarda protein barındırdığı için balık ve et tüketmeyen kişiler chia tohumu tüketerek günlük alması gereken protein miktarını dengelemektedirler. Chia tohumu sade olarak tüketilebileceği gibi, su, süt gibi sıvılarla birlikte, salatalarda, yumurtalı yiyeceklerde, pudinglerde rahatlıkla kullanılabilir.

Özellikle besin değeri yüksek olan chia tohumu sindirim açısından yararlıdır. Bu tohumlar sindirim sistemindeki sıvıların genişlemesini sağlayarak kişiye tokluk hissi vermektedir. Zengin besin içeriği sayesinde pek çok hastalığa şifa olduğu belirtilmektedir. Yağ asitleri deposu olan chia tohumlarının yağ çıkarılmaktadır, bu yağ yumuşatıcı özelliklerinden dolayı birçok merhemin bileşenidir. Bünyesinde bulundurduğu çok sayıda biyoaktif peptitlerden kaynaklı olarak hasarlı dokuların iyileşmesi üzerine etkilidir. Bu sebeple cildi onarma özelliğine sahip olduğundan yapılan bu merhemlerden kolaylıkla fayda sağlanmaktadır.

Tam chia tohumlarıyla yapılan ferahlatıcı bir içecek Meksika'da büyük popülerlik kazanmıştır ve içecekler ana mutfak kullanımı olmaya devam etmektedir (Cahill, 2003)

Coates ile FDA (ABD Gıda ve İlaç Dairesi) arasında 2005 yılına yapılan yazışmada chia'nın yerli kültürler tarafından uzun süreler boyunca tüketildiği ve güvenlik tehlikesinin olmadığı belirtilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak

2009 yılında AB tarafından chia tohumları gıda katkı maddesi olarak değil, yeni bir besin olarak kabul edilmiştir (Cassiday, 2017; Erkorkmaz vd., 2023).

Chia tohumları kendi ağırlığının 27 katı kadarına kadar su tutabilme özelliğine sahiptir (Şekil 2). İçerisinde yüksek miktarda bulunan chia zamkı ve müsilaaj sayesinde ise yalnızca besin olarak değil aynı zamanda ticari kıvam arttırıcıların yerine de kullanılabilir. Chia tohumu aljinat, jelatin ve gum guar maddelerine göre daha iyi su tutma, yağ tutma ve emülsiyon oluşturma özelliklerine sahiptir (Elevli, 2025).



Şekil 2. Chia tohumlarının su tutarak müsilaaj oluşturmaları

Chia yalnız insan beslenmesinde değil aynı zamanda da hayvanların beslenmesinde de önem arz etmektedir. Özellikle atlar ve köpekler için besleyici gıda olarak kabul edilmektedir. Kısıraklarda omega-3 ve lifler sayesinde gebelikte fazla kilo almayı önlemektedirken, damızlık aygırlarda omega-3 ile sperm kalitesi üzerine etki etmektedir. Chia tohumlarında bulunan proteinler, mineraller ve çözünebilir lif, kas yoğunluğunu ve vücut şartlarını korumaktadır. Ayrıca atlar üzerinde sakinleştirici özelliği de bulunmaktadır. Köpeklerde kas ve vücut yapısını korumaktadır (Sirotkin vd. 2023).

Bu özelliklerine ek olarak chia bitkisinin yapraklarından uçucu yağ elde edilmektedir. Bu uçucu yağın içerisinde ise β -karyofillen, globulol, β -pinen, α -humoleno, germakren- β , γ -muroleno ve widdrol bileşenleri bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda chia yapraklarından elde edilen uçucu yağ

insektisit özelliği taşımaktadır. Ayrıca yaprakları baharat olarak da kullanımı bulunmaktadır (Eleвли, 2025).

2. SAĞLIK İÇİN FAYDALARI VE ZARARLARI

2.1. Chia tohumunun faydaları

Chia tohumları Omega-3 yağ asitleri, diyet lifi, yüksek kaliteli proteinler, antioksidanlar, vitamin (A, B, D ve E) ve mineral içeriğiyle yüksek besin değerlerine sahiptir. Lif oranının yüksek olması nedeniyle sindirim sistemini de rahatlatmaktadır. Kan basıncını düşürücü ve kolesterolü dengeleyici etkisi vardır. Kan şekerini dengeleyerek diyabete karşı koruma sağlamakta ve obezite hastalarının chia tohumu tüketmesi ile midede şişkinlik yapmaktadır. Böylece kişinin kendini tok hissetmesini sağlamaktadır. Chia tohumları ayrıca triptofan amino asidi içerdiğinden hızla doymaya yardımcı olmaktadır. Bu sayede obezite hastaları daha kolay kilo verebilmektedir. Karın bölgesindeki yağ dokusu oluşumunu engellemektedir. İçerisinde bulunan anti-enflamatuar özelliği sayesinde romatizmal hastalıklara da iyi gelmektedir. Meme kanseri ve rahim ağzı kanserine karşı koruma sağlamaktadır. Tüm bunların yanı sıra gıdalar tüketildiğinde içerisindeki α -linoleik asit (ALA) metabolize olarak eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) gibi yağ asitlerine dönüşmektedir. omega-3 yağ asidi insan beyninde %40 oranında DHA, %1'den az oranda da EPA oluşturmaktadır Bu yağ asitleri vücutta sentezlenemez ve günlük diyetlerde mutlaka dışarıdan alınmalıdır (Erdoğan ve Geçgel, 2019).Omega-3 açısından da zengin bir besin olan chia, beynin işlevini iyileştirmede oldukça etkili olup Alzheimer hastalığı ve yaş ilerlediğinde kişinin zihin bulanıklaşmasının önüne geçeceği düşünülmektedir.

Ayrıca omega-3 yağ asitleri sayesinde kalp sağlığını korumaya yardımcı olmaktadır. Vücuttaki enerji üretimini artırıp vücuda enerji vermektedir. Günlük kalsiyum ihtiyacının %18'ini karşılamaktadır. Düzenli tüketildiğinde içerisinde bulunan antioksidanlar devreye girerek kişinin daha genç görünmesine yardımcı olmaktadır. Cildi onararak yaşlanma etkilerini ertelemekte ve cildin dış etkenlerden zarar görmesine engel olmaktadır.

Chia tohumu yağı saçlara uygulandığı zaman saçları daha canlı ve parlak göstermekte ve saçların daha sağlıklı uzamasını sağlamaktadır. Aynı zamanda tırnak ve dişlerin de güçlenmesine yardımcı olmaktadır. Chia tohumu gluten

içermeyen bir besindir. Dolayısıyla çölyak hastaları bunu rahatlıkla tüketebilmektedir.

Chia tohumlarının suyu tutma ve jel oluşturma kapasitesinin yüksek olması sayesinde, emülgatörler ve stabilizatörlerin yerine gıda teknolojisinde kullanılabilmektedirler. Sonuç olarak, chia tohumu, içerdiği zengin besin bileşenleri sayesinde sağlığı destekleyici önemli özellikler sunan bir fonksiyonel gıda olarak öne çıkmaktadır. Ancak, chia tohumunun bu faydalarının insanlar üzerindeki kesin etkilerini daha iyi anlamak için kapsamlı bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Geleneksel kullanımları ve modern bilimsel bulgular ışığında chia tohumu, dengeli bir diyetin parçası olarak sağlıklı yaşamı destekleyebilecek değerli bir besin kaynağıdır.

2.2.Chia Tohumu Yan Etkileri

Chia tohumları çok fazla olumlu etkilerinin yanında bazı olumsuz yan etkileri de bulunmaktadır. Chia tohumları fazla miktarda tüketilmesi sonucunda gastrointestinal sistemde gaz ve şişkinlik problemlerine neden olmaktadır. Özellikle tohumlar az su tüketildiğinde mide krampları görülmektedir. Kişinin düzenli olarak kullandığı antihipertansif ilaç kullanan ve hipotansif olan bireylerin chia tohumu tüketmeden önce mutlaka doktoruna danışması gerekmektedir. Bunun sebebi antikoagülanlar, antiplateletler chia tohumlarının yüksek oranda omega-3 içeriğinden dolayı sinerjistik etki göstermektedir. Trigliserit sorunu olanların ağrılarını şiddetlendirebilmektedir. Ameliyat öncesinde chia tohumları tüketilmemelidir. Yüksek oranda alfa-linolenik asitleri bulundurduğundan prostat kanserine yol açabilmektedir. Hamile ve emziren annelerde yeterli veri olmadığı için kullanmamalıdır. Bazı kişilerde alerjik reaksiyonlar gösterebilmektedir. Susam, yer fıstığı, ağaç yemişi ve hardala alerjisi olan bireylerde chia tohumu tüketimine bağlı olarak alerji geliştiği görülmüştür. Yer fıstığına alerjisi olan bireylerde chia tüketimine bağlı olarak IgE bağlanması görülürken, hardala bağlanan spesifik bir IgE görülmemiştir. Chia tohumu tüketecek alerjik olan, astımı olan, özafagus patolojileri olan bireylerin kullanımı sırasında dikkatli olması gerekmektedir. Ayrıca aşırı miktarda chia tüketildiğinde bağımlılık yapmaktadır.

3. BESİN İÇERİĞİ

Dünyada uzun süreden beri üzerinde çalışılan chia, yağ, protein, antioksidan ve diyet lifi içeriğinin yüksek olması sebebiyle beslenmede önemli gıdalardan birisidir (Bushway vd., 1981; Ayerza, 1995; Tunçil ve Çelik, 2019). Chia tohumları, %15-25 oranında protein, %30-33 oranında yağ, %26-41 oranında karbonhidrat, %18-30 gibi yüksek oranda diyetel lif (çoğunlukla sindirilemeyen selüloz, pentozanlar ve lignin), %4-5 oranında kül, %90-93 oranında kuru madde ile çeşitli mineraller ve vitaminleri içermektedir (Tablo 1). Bunun yanında chia tohumlarının proteini insanlar için gerekli olan aminoasitlerden (9'u elzem, toplam 22 amino asitten) 18 tanesini (Tablo 2) içermektedir (Timilsena vd., 2016; Katunzi-Kilewela vd., 2021). Chia tohumunda yer alan selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin, zambak, müsilaj ve diğer oligosakkarit ve polisakkaritler gibi besin liflerinin büyük bir kısmı suda çözünür özellik göstermektedir. Suda çözünür özellik gösteren besin liflerinin miktarı için verilen oran %53-56 aralığındadır.

Tablo 1. 100 gr chia tohumu içeriği

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	%15-25	Kolesterol	0 mg
Karbonhidrat	%26-41	C vitamini	1,6 mg
Yağ	%30-33	Omega-3yağ asidi	17.83 g
Diyetel lif	%18-30	Omega-6yağ asidi	5.835 g
Kül	%4-5	Kalsiyum	631 mg
Enerji	486 cal	Fosfor	860 mg
Kolesterol	0 mg	Magnezyum	335 mg
Tiamin (B1)	%54	Demir	7,72 mg
Niacin (B3)	%59	Çinko	4,58 mg
Riboflavin (B2)	%14	Manganez	2.72 mg
Folat (B9)	%12	Potasyum	407 mg

Lif içeriği incelendiğinde tetrasakkarit yapısında 4-metil- α -D-glukoronopiranozil ve bir de dallı zincirli yapıda olan β -Dksilopronozil polisakkaritlerinden oluşmuştur. Monosakkarit yapısı incelendiğinde %16 oranında D-mannoz ve D-ksiloz, %12 oranında daglukronik, %6 oranında D-glikoz, %3 oranında D-galaktoüronikasit asit ve son olarak %2 oranında D-arabinoz içermektedir (Sur ve Çiçek, 2021; Erkorkmaz vd., 2023)

Tablo 2. Chia tohumunda bulunan aminoasit bileşimi (g/100 gram tohum) (Tüter, 2019)

Aminoasit	Miktarı	Aminoasit	Miktarı
Glutamik asit	3,500	Valin	0,950
Arginin	2,143	İzolosin	0,801
Aspartik asit	1,689	Prolin	0,776
Lösin	1,371	Treonin	0,709
Serin	1,049	Metiyonin	0,588
Alanin	1,044	Tirozin	0,563
Fenilalanin	1,016	Histidin	0,531
Lizin	0,970	Triptofan	0,436
		Sistein	0,407

Chia lifinin 15,41 g/g su tutma kapasitesi, hidrokolloid olarak kullanılmasını önermektedir (Vázquez-Ovando vd., 2009; Moreira vd., 2012). Tohumları yüksek oranda yağ içermekte olup, bu yağlar yüksek oranda linolenik asit (omega-3) bakımından zengindir (~%60) (Ayerza, 1995). Buna ek olarak chia tohumları doğal bir omega-3 kaynağıdır. Chia tohumu; esansiyel yağ asitleri olan α -linolenik [ALA; 18:3 (n-3)] (%60'ı ω -3) ve linoleik asit (%20'si ω -6), mün, stronsiyum, vitaminler (A, B, E ve D) ve kükürt, demir, iyot, magnezyum, manganez, niacin (B3 vitamini) ile tiamin (B1 vitamini) içermektedir. Chia tohumlarının antioksidandan sorumlu temel kaynakları flavanoidler ve tokoferollerdir (Akçay ve Yılmaz, 2019; Erkorkmaz vd., 2023). Yapılan araştırmalarda incelenen sekonder metabolitlerine göre, chia tohumu içerisinde bulunan fenolik bileşenler klorojenik asit, kafeik asit, mirisetin, kuersetin ve kaempferol gibi birincil ve sinerjik doğal antioksidanlar antioksidanlar açısından da zengin bir içeriğe sahiptir (Oliveira-Alves vd., 2017). Bu bileşenler C vitamini, E vitamini ve ferulik asit bileşenlerine göre daha çok antioksidan özellik göstermektedir. Chia tohumlarının genel olarak antioksidan aktivitesi şarap, kahve, çay ve portakal suyu ile kıyaslandığında daha yüksek oranda olduğu belirlenmiştir (Elevli, 2025).

Chia tohumları, gıda ürünlerinde fonksiyonel ve biyoaktif maddeler olarak kullanılmaktadır (Rashid vd., 2015). Ayrıca, chia tohumu gluten içermeyen bir türdür. Chia tohumu yapılan araştırmalara göre süte oranla yüksek miktarda kalsiyum içerdiği açıklanmıştır. Bu özelliği ile kemik

sağlığına oldukça faydalıdır (Anonim, 2025). Besin değeri oldukça yüksek olan chia tohumundan bir öğünde 2 yemek kaşığı tüketildiği zaman yaklaşık 139 kaloriye karşılık gelmektedir (Ülbeği, 2016).

4. GENETİĞİ VE SİTOGENETİĞİ

Salvia hispanica'daki genetik çeşitliliği etkileyen en önemli faktörler türün biyolojik özellikleri, yetiştiği coğrafi aralığı ve chiayı tüketen kişilerin seçimleridir. *Salvia hispanica*'nın 208 herbaryum örneği üzerinde yapılan bir araştırma yabani popülasyonların nadir olduğunu batı Meksika'nın çam ormanlarında ve Guatemala'da 2133 m'nin üzerinde dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu ilk araştırmadan yabani popülasyonların hem birbirlerinden hem de tarımsal ortamlarda bulunan popülasyonlardan coğrafi izolasyonu belirgin bir model olarak ortaya çıkmıştır. Chia gözlemlenen izole popülasyonlar, Sierra Madre Occidental, Meksika'nın Trans-volkanik kuşağı, Sierra Madre del Sur ve Guatemala'nın volkanik yaylaları dahil olmak üzere Mezoamerika'daki dağlık bölgelere seyrek bir şekilde dağılım göstermiştir. Yabani popülasyonlar özellikle Sierra Madre del Sur ve Guatemala'nın volkanik yaylalarında tespit edilmiştir (Cahill, 2004).

Salvia hispanica'nın küçük homostil çiçekleri yüksek oranda kendi kendine tozlaşmaktadır. *Salvia hispanica*'nın kromozom sayısı ise $2n=12$ 'dir (Haque ve Ghoshal, 1981).

Taksonomisi incelendiğinde *Salvia hispanica* türü *Salvia* cinsinde, *Calosphaea* altcinsinde, Lamiaceae familyasında, Lamiales takımında, Magnoliopsida sınıfında ve Spermarophyta şubesinde yer almaktadır (Epling, 1940). İnsanların gerçekleştirdiği seleksiyon sebebiyle chia bitkisinin morfolojisinde meydana gelen bazı önemli değişiklikler olmaktadır. Kültüre alma sürecini verimlilikte yol açtığı artış Kolomb öncesi Mezoamerika'da türlerinin kullanımının ve öneminin artmasına yol açmıştır.

5. BİTKİSEL ÖZELLİKLERİ

Chia tek yıllık bir bitki olup, diğer *Salvia* türlerine nazaran daha az su gerektiren subtropikal ve tohumla çoğalan otsu bir bitkidir. Chia bitkileri gün ışığına duyarlıdır. Bitki boyu dik olarak 1,75 m'ye kadar uzayabilmektedir (Anonymous, 2025). Yaprakları karşılıklı olarak sıralanmış şekilde, kenarları tırtıklı, 4-8 cm uzunlukta ve 3-5 cm genişliğindedir (Knez Hrnič vd., 2019;

Sur ve Çiçek, 2021). Yapraklarında böcek kovucu özelliği (insektisit) olan uçucu yağlar bulunduğundan, bitki pestisit veya diğer kimyasal bileşikler olmadan yetiştirilebilmektedir (Chen vd., 2021). Bitkinin gövdesi dörtgen şekilde, nervürlü ve tüylüdür.

Çiçekleri hermafrodit özellikte olup, mavi, mor ve beyaz renkte petalleri ile tabanında uzun sivri uçlu küçük braktelerden oluşmaktadır. Çiçekler gövdenin uç kısmında bir başakta küme şeklindedir (Anonymous, 2025). Chia çiçekleri çok küçük (3-4 mm), ve bazı çiçek parçaları birbirine kaynaşmıştır. Ayrıca, çiçek yapısı homostil* olması sebebiyle yüksek oranda kendine tozlaşma görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Chia bitkisi, yaprak ve çiçeklerine ait görüntü

Tohumları çok küçük (1-2 mm), parlak, pürüzsüz ve oval şekillidir. Chia tohumları genellikle siyah, kahverengi, beyaz veya gri renk tonlarında benekli bir renk kombinasyonuna sahiptir (Vera-Cespedes vd., 2023) (Şekil 4).

Günümüzde yetiştirilen chia popülasyonlarının çoğu düşük oranda beyaz tohum içermektedir. Bu tip tohumlar tek bir resesif gen tarafından kodlanan sadece beyaz tohum üreten bitkilerden gelmektedir. Genel olarak, bu tohumlar arasında küçük bir boyut farkı vardır, beyaz tohumlar siyah olanlardan biraz daha büyüktür (Ayerza ve Coates, 2005).

* Homostil: Bir çiçekte erkek ve dişi organ boyutlarının birbirine yakınlık durumudur.



Şekil 4. Farklı renklerdeki chia tohumlarına ait görüntü

6. TARIMI

Chia bitkisi kolay yetişen, mavi çiçekleri ile görünümü güzel ve besleyici değeri yüksek bir türdür. Gün uzunluklarına duyarlı olup özellikle kısa gün bitkisidir. Tam veya yarı güneşte yetişen chia, böcek ve zararlılar yanında kuraklığa dayanıklıdır (NRCS, 2025). Gelişme döneminde ise sıcaklığın belirli seviyede olması gerekmektedir. Gelişme döngüsünün uzunluğu konuma göre değişmekte ve rakımdan etkilenmektedir. Farklı ekosistemlerde bulunan ekim alanları için vejetasyon süresi 100-150 gün arasında değişmektedir. Ticari üretim yapılan Arjantin'in kuzeybatı kesimlerinde, 900-1500 m yüksekliklerde ekilen alanlarda bu süre 120-180 güne çıkmaktadır (Coates ve Ayerza, 1998; Şafiq vd., 2022). Chia tohumlarının kalitesi genotiplerden (Cahill ve Ehdaie,

2005) ve ekosistem koşullarından (Ayerza, 2016) etkilendiği yapılan araştırmalarda belirlenmiştir.

6.1. İklim ve Toprak İstekleri

Chia tohumlarının iyi bir gelişme göstermesi için ideal toprak, iyi drene olan ve organik maddece zengin, orta killi ve kumlu topraklardır. Ayrıca bu topraklar iyi drene edilmiş, orta derecede verimli, asit karakterli özellikte olmalıdır. Chia yetiştirme sırasında ıslak topraklara karşı tolere etmezken, chia tohumlarının fide döneminde neme ihtiyacı vardır, ayrıca chia bitkisi kuraklığa yarı toleranslıdır. Bitki asidik toprakta (6.5 ila 8.5 pH aralığında) optimum büyümesini gerçekleştirmektedir. Chia bitkisi çok kurak bölgelere dayanıklı olduğundan kuru tarımda verim 400-600 kg ha⁻¹ iken, sulı tarımda ise bu miktar 2500 kg ha⁻¹'a kadar çıkmaktadır. Chia, ağırlıklı olarak dağlık bölgelerde yetiştirilebilirken, donma, güneşsiz alanlara hassastır. Chia bu özelliklerinin yanında yangınlardan sonra yetiştirebilme ve hatta yüksek verim oluşturma özelliğine bir türdür (Timbrook vd., 1982). Chia tohumları, sıcak ve nemli iklimlerde daha iyi yetişmektedir Fernandes vd. (2023) ve Enes vd. (2020), tohum büyümesi için ideal sıcaklık 18-24 °C aralığında olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sıcaklıklar, tohumların hızlı bir şekilde çimlenmesini sağlamaktadır. Chia bitkileri günde en az 6 saat güneş ışığına ihtiyaç duymaktadır. İdeal toprak ve iklim koşulları sağlandığında, bitkiler sağlıklı bir şekilde büyümektedir.

6.2.Ekim

Chia tohumları için toprak hazırlığı, ekimden önce dikkat edilmesi gereken önemli bir adımdır. Chia tohumu, şubat ve mayıs ayları arasında ekilmektedir. Chia tohumlarının bin tane ağırlığı ortalama 1.3 g arasında değişmektedir (Ixtaina vd., 2008). Çimlenme süresi 3-7 gün arasında gerçekleşmektedir. Ekim için dekara 700-1000 g tohuma ihtiyaç bulunmaktadır. Ekim derinliği 1-2 cm ekilmekte, ekimde sıra arası 70-80 cm, sıra üzeri 20-30 cm ekilmektedir (Coates ve Ayerza, 1998).

6.3. Gübreleme ve Sulama

Chia bitkisinin gübrenmesi, bitkinin sağlıklı bir büyüme ve gelişme gerçekleştirmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Chia bitkisi için azot,

fosfor ve potasyumun dengeli olması önemlidir. Chianın gübrelemesinde dekara 14 kg saf azot, 4 kg fosfor, 2 kg potasyum kullanılması tavsiye edilmektedir (Shorna vd., 2024).

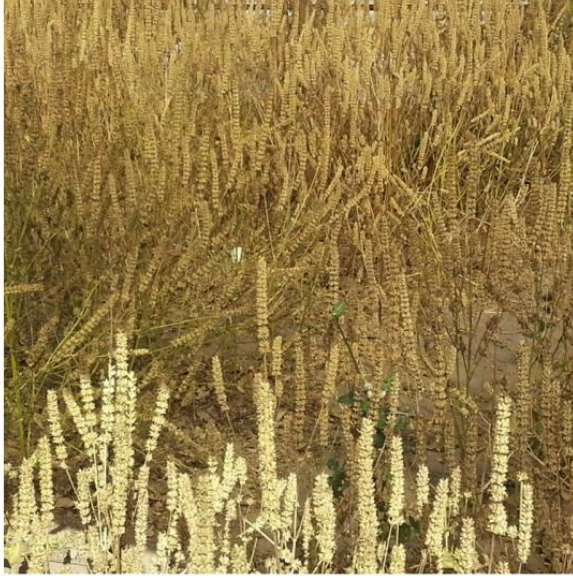
Chia özellikle çimlenme döneminde suya ihtiyaç duymaktadır. Chia üretim alanlarındaki sulama sıklığı, iklim koşullarına ve yağış miktarına bağlı olarak büyüme mevsimi boyunca 8 defaya (haftada birkaç kez) kadar çıkmaktadır (Coates ve Ayerza, 1998). Sıcak havalarda sulama sıklığı toprak nemine bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. Çok fazla sulamaktan kaçınılmalıdır.

6.4. Hastalık ve Zararlı Yönetimi

Yapılan literatür çalışmalarına göre chia üretimini önemli zararlı veya hastalıkların hiçbiri etkilememiştir. Chia yapraklarındaki esansiyel yağlar sayesinde böceklerle karşı repellent özelliğe sahiptir, bu da organik tarımda pestisitlere karşı alternatif bir bitki olduğunu göstermektedir (Elevli, 2025). Ancak bitkinin yapraklarında herhangi bir anormallik veya oluşum gözlemlendiğinde müdahale edilmelidir. Chia sadece beyazsineklerle bulaşan virüs enfeksiyonlarından zarar görmektedir. Chia bitkisi herbisitlere karşı hassas olduğu için mekanik olarak yabancı ot temizliği yapılmalıdır.

6.5. Hasat, Harman ve Depolaması

Chia tohumları olgunlaşma dönemine girdiğinde, tohumun su içeriği azalmaya başlamakta, sertliği değişmekte ve perikarp rengi değişmektedir. Perikarp rengi soluk sarı renkten beyaz yada grimsi kahverengine (genotipe bağlı olarak) dönüşmektedir. Bu aşamada taneler kurumakta ve sertliği sebebiyle tırnakla çizilmesi zorlaşmaktadır. Ardından bitki yaşlanarak yaprak rengindeki değişiklikler (sarımsı yapraklar) meydana gelmekte ve yaprak dökümü gerçekleşmektedir (Şekil 5). Yaprakların %50'sinin kahverengileşmesi ve bazal yaprakların dökülmesini ifade etmektedir. Tüm yapraklar döküldüğünde, tüm bitki kurumuş ve hasada hazır hale gelmiştir (Brandán vd., 2019).



Şekil 5. Hasat olgunluğuna gelen chia başakları

Tohum verimi çeşitlere, coğrafi bölgeye, yetiştirme şekli ve koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Arjantin ve Kolombiya’da verim 450-1250 kg/ha arasında değişmektedir (Coates ve Ayerza, 1996; Coates ve Ayerza, 1998). Yapılan başka bir araştırmaya göre de yıl boyunca bol bulutlu, don olmayan, yüksek nemli ve yüksek güneş radyasyonlu bir kıyı çöl iklimine sahip olan Valle de Azapa (Şili) koşullarında ise 2500 kg/ha verim elde edilmiştir (Baginsky vd., 2016).

Chia hasadı genellikle yaz yada sonbahar aylarında gerçekleşmektedir. Başaktan çiçeklerin çoğu düşmeye başlayınca hasada başlanmalıdır. Çiçekler kahverengine dönene kadar beklendiğinde, tohum dökme ile karşılaşılacaktır. Chia tohumları yağ içeriği yüksek tohum olması sebebiyle hasadın erken yada geç gerçekleşmesi, yağ asitleri içeriğine (Linolenik asit erken vejetatif dönemde yüksek, palmitik asit, stearik asit, linoleik asit, araşidonik asit miktarı tomurcuklanma döneminde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.) etki edeceğinden hasat tarihi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, hasat edildikten sonra tohumların bazıları depolama için fazla nem içermektedir, bu nedenle tohumlar kağıt torbalar veya kurutucu raflarda kurutulmalıdır. Ardından harmanlama işlemi yapılmalıdır (Şekil 6). Harmanlama işlemi tamamlandıktan sonra hava geçirmez bir kapta saklanmalıdır. Böylece tohumların nem ve hava

ile temasını azaltarak tazelikleri korunacaktır. Tohumların bozulması ve besin değerlerinin kaybetmesini önlemek amacıyla karanlık ve serin (+4°C) bir yerde saklanmalıdır. Tüm bitkilerde olduğu gibi chia tohumlarının doğru zamanda hasat ve harman edilerek, doğru saklama yöntemleriyle tohumların depolanması besin değerlerini koruyacaktır.



Şekil 6. Chia tohumlarının harmanlaması

SONUÇ

Tarihte Aztek ve Mayalarla birlikte kullanılmaya başlanan chia tohumu, enerji vermesiyle, beynin işlevlerini yerine getirmesi, metabolizmayı hızlandırıcı etki yapmasıyla, bağışıklık sistemini güçlendirmesi ve vücuttaki zararlı bakterilerin dışarı atılmasına ortam hazırlamaları sayesinde genel sağlığımıza önemli faydalar sağlamaktadır. Hayvan beslenmesinde de kas ve vücut yapısına katkı sağlamaktadır.

Protein, yağ, lif, vitamin (A, B1, B2 ve B3) ve mineral içeriği zengin bir besin olan chia tohumu, günlük ihtiyacın (magnezyum ihtiyacının yaklaşık % 24, kalsiyumun % 18, manganezin %50, fosforun %35) önemli bir kısmını karşılamaktadır. Bu yüzden günlük beslenmede tüketildiği takdirde pek çok fayda sağlayıp, dirençli hale getirmektedir.

Kuruya chia ekimi yapıldığında, tahıllardan veya diğer yağlı tohumlardan daha az suya ihtiyaç duymaktadır. Chia tohumları Şubat - Mayıs ayları arasında ekilip, yaz ve sonbahar aylarında hasat edilmektedir. İklim ve toprak özellikleri ile bakımı yönünden çok isteği olmayan chianın uygun tarımsal koşullar altında kuru alanda 400 ile 600 kg ha⁻¹, sulu koşullarda 2500 kg herima⁻¹ kadar verim elde edilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu

olumlu etkileri ve sahip oldukları zengin besin içerikleri sebebiyle chia için geleceğin mahsulü olarak büyük bir potansiyel görülmektedir.

Teşekkür: Araştırmanın özet hali 2017 yılında International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF)'de [The Miraculous Plant of Mayan and Aztecs: Chia (*Salvia hispanica*)] şekliyle sözlü sunum olarak sunulmuş ve bildiri kitapçığında özet hali yayınlanmıştır. Bu çalışmada ise daha fazla literatür taraması yapılarak tarımı hakkında bilgiler de eklenerek bu kitap bölümü oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- Almoselhy, R. I., Usmani, A. ve Aftab Siddiqui, M. (2024). Evolution of Chia Seeds from Antiquity to Modern Superfood. Available at SSRN 5072585.
- Anonim, (2025). Chia Tohumu Nedir? Chia Tohumu Faydaları Nelerdir? <https://www.memorial.com.tr/saglik-rehberi/chia-tohumu-faydolari-nelerdir>
- Anonymous, (2025). *Salvia hispanica* https://en.wikipedia.org/wiki/Salvia_hispanica
- Ayerza, R. ve Coates, W. (2005). Effect of ground chia seed and chia oil on plasma total cholesterol, LDL, HDL, triglyceride content and fatty acid composition when fed to rats. *Nutrition Research*, 11, 995–1003.
- Ayerza, R. (2016). Crop year effects on seed yields, growing cycle length, and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L) growing in Ecuador and Bolivia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(3), 196.
- Ayerza, R. (1995). Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 72, 1079–1081.
- Baginsky, C., Arenas, J., Escobar, H., Garrido, M., Valero, N., Tello, D., ... Silva, H. (2016). Growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3), 255-264.
- Brandán, J. P., Curti, R. N. ve Acreche, M. M. (2019). Phenological growth stages in chia (*Salvia hispanica* L.) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 255, 292-297.
- Bushway, A. A., Belyea, P. R. ve Bushway, R. J. (1981). Chia seed as a source of oil, polysaccharide, and protein. *Journal of Food Science*, 46(5), 1349.
- Cahill, J. P. ve Ehdaie, B. (2005). Variation and heritability of seed mass in chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources And Crop Evolution*, 52, 201-207.
- Cahill, J.P. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources And Crop Evolution*, 51, 773-781.
- Cahill, J.P. (2003). Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Economic Botany*, 57(4), 604-618.

- Cassiday, L. (2017). Chia: superfood or superfad?. *Inform*, 28(1), 6-13.
- Chen, Y., Luo, J., Zhang, N., Yu, W., Jiang, J. ve Dai, G. (2021). Insecticidal activities of *Salvia hispanica* L. essential oil and combinations of their main compounds against the beet armyworm *Spodoptera exigua*. *Industrial Crops and Products*, 162, 113271.
- Coates, W. (1996). Production potential of chia in northwestern Argentina. *Industrial crops and products*, 5(3), 229-233.
- Coates, W. ve Ayerza, R. (1998). Commercial production of chia in Northwestern Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(10), 1417-1420.
- Elevli, 2025. Chia. [https://tibuad.istanbul.edu.tr/tr/content/blog/salvia-hispanica-\(chia-tohumu\)](https://tibuad.istanbul.edu.tr/tr/content/blog/salvia-hispanica-(chia-tohumu))
- Enes, B. N., Moreira, L. P., Silva, B. P., Grancieri, M., Lúcio, H. G., Venâncio, V. P., ... Martino, H. S. (2020). Chia seed (*Salvia hispanica* L.) effects and their molecular mechanisms on unbalanced diet experimental studies: A systematic review. *Journal Of Food Science*, 85(2), 226-239.
- Epling, C.C. 1940. A Revision of *Salvia*, Subgenus *Calospatha*. Verlag des Repertoriums, Fabeckstr. 49, Berlin
- Erkorkmaz, F., Altunbay, Ö., Demirci, Z. ve Doğan, M. (2023). Chia Tohumunun (*Salvia hispanica* L.) Bileşimi, *Besinsel Değeri ve Sağlık Faydaları*, SCAR, 2(1),96-106.
- Fernandes, S. S., da Silva Cardoso, P., Egea, M. B., Martínez, J. P. Q., Campos, M. R. S., ve Otero, D. M. (2023). Chia mucilage carrier systems: a review of emulsion, encapsulation, and coating and film strategies. *Food Research International*, 172, 113125.
- Huxley, T. (1992). Singapore's politics in the 1980S and '90S. *Asian Affairs*, 23(3), 282-294.
- Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D. ve Knez, Ž. (2019). Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): An overview—Phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, 25(1), 11.
- Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M. ve Tomás, M. C. (2008). Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial crops and products*, 28(3), 286-293.
- Kulczyński, B., Kobus-Cisowska, J., Taczanowski, M., Kmiecik, D. ve Gramza-Michałowska, A. 2019 The Chemical Composition and

- Nutritional Value of Chia Seeds-Current State of Knowledge. *Nutrients*. May 31;11(6), 1242. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31159190>
- Moreira, R., Chenlo, F., Prieto, D. M. ve Torres, M. D. (2012). Water adsorption isotherms of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food and bioprocess technology*, 5, 1077-1082.
- NRCS, 2025. (Natural Resources Conservation Service -USDA), Plant Guide. https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/plantguide/pdf/cs_saco6.pdf
- Oliveira-Alves, S. C., Vendramini-Costa, D. B., Cazarin, C. B. B., Marostica, M.R. ve Ferreira, J.P.B. (2017). Characterization of phenolic compounds in chia seeds, fiber flour. *Food Chemistry*, 232: 295-305.
- Picó, B., & Nuez, F. (2000). Minor crops of Mesoamerica in early sources (II). Herbs used as condiments. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47(5), 541-552.
- Rashid, A., Suleiman, Kun Xie, Kurt, A. Rosentrater, (2015). Physical and Thermal Properties of Chia, Kañiwa, Triticale and Farro as a Function of Moisture Content. An ASABE Meeting Presentation, 1-38.
- Shafiq, M., Khalid, M.Z., Latif, M.M, Huzaifa, Saleem, F.S., Sabir,A., Ayyoub, M.Z., Farwa ve Zafar A. (2022). Botanical description, cultivation, and nutritional profile of ancients' grains (Quinoa, Chia, and Buckwheat) and their importance in 21st century: A review. *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 7(4), 1-13
- Shorna, S. I., Akhter, B. A., Anwar, M. P., ve Hossain, M. A. (2024). Growth and Yield Response of BAU Chia-1 (*Salvia hispanica*) to Nitrogen Fertilizer. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 22(4), 443-450.
- Sirotkin, A. V., Tarko, A., Fabova, Z., Valocky, I., Alwasel, S., Kotwica, J., ve Harrath, A. H. (2023). Can flaxseed, chia or puncture vine affect mare ovarian cell functions and prevent the toxic effect of the environmental contaminant toluene? *Theriogenology*, 208, 178-184.
- Sosa, A., Ruiz, G., Rana, J., Gordillo, G., West, H., Sharma, M., ... Torre, R. (2016). Chia crop (*Salvia hispanica* L.): its history and importance as a source of polyunsaturated fatty acids omega-3 around the world: a review. *Journal of Crop Research and Fertilizers*, 1(104), 1-9.
- Sur, E. B. ve Çiçek, Ş. K. (2021). Chia Tohumunun Kimyasal, Antioksidan Ve Antimikrobiyal Özellikleri. *Gıda*, 46 (4), 971-979.

- Tunçil, Y. E. ve Çelik, Ö. F. (2019). Total phenolic contents, antioxidant and antibacterial activities of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) having different coat color. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(1), 113-120.
- Ülbeği, İ. Z. (2016). Yeni Nesil Yiyecekler – 2 - Chia Tohumu, <https://www.altinsehiradana.com/Makale/yeni-nesil-yiyecekler-2-chia-tohumu/985/#:~:text=Chia%20tohumu%20yakla%C5%9F%C4%B1k%20besin%20de%C4%9Ferleri,ihtiyac%C4%B1n%C4%B1z%C4%B1n%20yar%C4%B1s%C4%B1ndan%20fazlas%C4%B1n%C4%B1%20kar%C5%9F%C4%B1lam%C4%B1%C5%9F%20oluyorsunuz.>
- Vázquez-Ovando, A., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L., ve Betancur-Ancona, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT Food Science and Technology*, 42, 168–173.
- Yadav, N. S. (2021). Studies on in vitro plant regeneration and phytochemical analysis of Chia (*Salvia hispanica* L.) (Doctoral dissertation, Department of Agricultural Biotechnology, OUAT, Bhubaneswar).

BÖLÜM 8

YAPAY ZEKANIN TARIM ALANINDA KULLANIMI

Doç. Dr. Erol ORAL¹

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER²

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR³

Ziraat Müh. Emir Kulal ALTUNER⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15851151>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. eroloral@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9413-1092

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Van, Türkiye. Fevzialtuner1@yyu.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-2386-2450

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. bozdemir@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7766-4919

⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. ek.altuner@gmail.com, Orcid ID: 0009-0006-6506-4461

1.GİRİŞ

Tarım ya da ziraat, insanların temel gıda ve hammadde ihtiyaçlarını karşılamak için bitkisel ve hayvansal ürünlerin üretimi, bu ürünlerin kalite ve verimliliğinin artırılması, çevreye duyarlı yöntemlerle işlenmesi ve uygun şartlarda muhafaza edilmesi gibi süreçleri inceleyen bir bilim dalıdır (Topal, 2010).

Teknoloji, tarımsal üretimde verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Modern tarım teknolojileri, üretim süreçlerini optimize ederek daha az kaynakla daha fazla ürün elde etmeyi mümkün kılar. Bu teknolojiler arasında dijital tarım uygulamaları, hassas tarım teknikleri, otomasyon ve robotik sistemler bulunmaktadır (Pakdemirli ve ark., 2021).

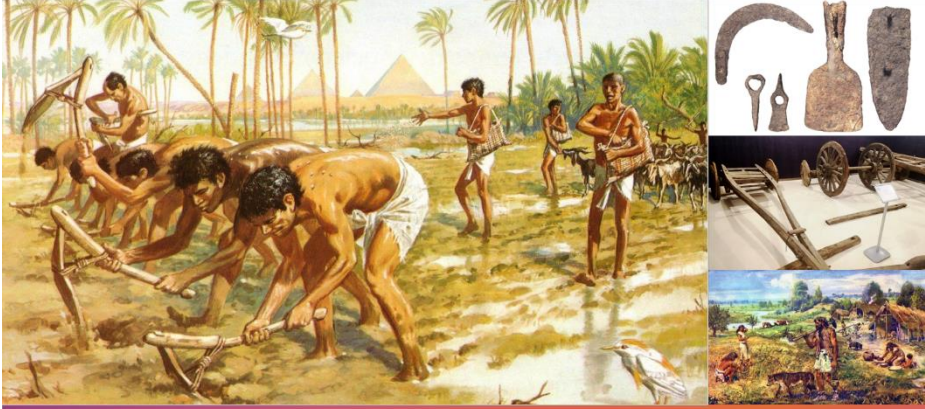
Tarımsal üretim, tarih boyunca teknolojik gelişmelere paralel olarak dört ana evreden geçmiştir bunlar: Tarım 1.0, Tarım 2.0, Tarım 3.0, Tarım 4.0 (Şekil 1.)



Şekil 1: Tarımın tarih içerisinde geçirmiş olduğu 4 büyük evre (Anonim).

1.1.Tarım 1.0

Bu dönem, 1920'lere kadar süren ve tarımın büyük ölçüde insan ve hayvan gücüne dayandığı, el emeğinin yoğun olduğu bir evredir. Verimlilik düşüktür ve üretim süreçleri tamamen manuel yöntemlerle gerçekleştirilir (Şekil 2), (Kumcu ve Marangoz, 2018).



Tarım 1.0

Şekil 2: Tarım 1.0 etkinlikleri ve süreç içerisinde kullanılan ekipmanlar. (<https://www.canakkalekalem.com/tarim-devrimi-insanligin-kokten-degisen-gelecegi/123721>,<https://www.ranker.com/crowdranked-list/what-is-mankinds-greatest-invention>)

1.2.Tarım 2.0

1920'lerden 2010'a kadar uzanan bu dönemde, elektrik enerjisinin kullanımıyla birlikte traktör (Şekil 3) gibi makinelerin tarıma entegrasyonu gerçekleşmiştir. Bu mekanizasyon, seri üretimi mümkün kılarak verimliliği artırmış ve tarımsal üretimde önemli bir dönüşüm sağlamıştır (Çilesiz ve Karaköy, 2022).



Şekil 3: Dan Albion tarafından tasarlanmış ilk traktör prototip örneklerinden. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tractor#:~:text=The%20first%20gasoline%20powered%20tractors,Clayton%20County%2C%20Iowa%2C%20US.>)

1.3.Tarım 3.0

2010 yılından itibaren başlayan bu evrede, bilgisayar ve otomasyon sistemleri tarım sektörüne dahil olmuştur. Seralarda otomatik sulama sistemleri ve bilgisayar destekli üretim teknikleri bu dönemin karakteristik özelliklerindendir (Şekil 4), (Anonim, 2022).

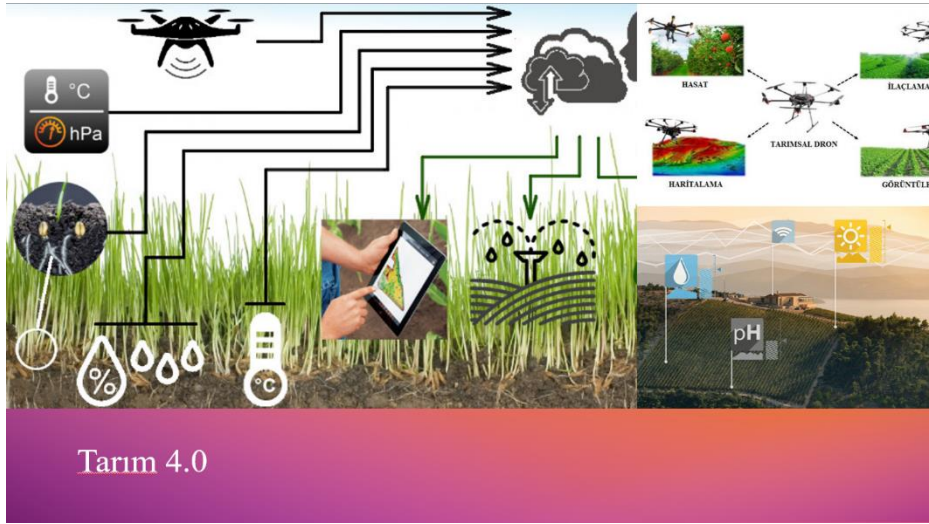


Tarım 3.0

Şekil 4: Sera iklim sistemleri ve otomasyon sistemleri ile tarımsal üretim.(
<https://www.baksu.com.tr/tr/urunler/urunler/endustriyel-sera-otomasyonu>,
<https://www.products.pcc.eu/tr/blog/yaprak-gubrelerinde-islatici-maddeler-2/>,
https://www.rekarma.com.tr/brans-tarimsal-kontrol-sistemleri?alt_kat_md=ed1b0ec283d5c33babded2c5d4df0ae0)

1.4.Tarım 4.0

Günümüzde devam eden bu aşama, dijital teknolojilerin, sensörlerin, nesnelerin internetinin (IoT), yapay zekânın ve robotik sistemlerin tarımsal süreçlere entegre edilmesini ifade eder. Bu sayede üretim süreçleri izlenebilir, optimize edilebilir ve daha sürdürülebilir hale getirilebilir (Şekil 5), (Sevli, 2023).



Şekil 5: Nesnelerin interneti, yapay zeka kullanımı.(Microsoft Designer tarafından üretildi)

2.YAPAY ZEKA

Yapay zekâ (İngilizce: Artificial intelligence ya da kısaca AI), insanlar da dahil olmak üzere hayvanlar tarafından, doğal zekânın aksine makineler tarafından görüntülenen zekâ çeşididi (Poole ve Goebel, 1998). İdealleştirilmiş bir perspektife göre, insan zekâsının özgü yüksek bilişsel fonksiyonları veya otonom davranışları sergileyen bir yapay işletim sistemidir. Bu sistem, algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme (belirtme), sorun çözme, iletişim kurma ve karar verme gibi yeteneklere sahip olmalıdır (Maloof, 2017; Schank, 1991).

2.1. Yapay Zekanın Tarihsel Gelişimi

Yapay zeka çalışmalarının kökeni Cezeri'nin (1136-1206) robot çizimlerine kadar uzansa da modern anlamda bu alandaki gelişmeler, İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında hız kazanmıştır. Alan Turing, savaş sırasında "Bombe" adlı otomatik şifre çözme cihazını geliştirerek savaşın seyrini değiştirmiştir (Şekil 6), (Acar, 2020).



Şekil 6: Cezeri'ye ait ilk robot çizimi. (https://dergi.salom.com.tr/haber-304-Ilk_robotun_mucidi_el_cezeri_.html)

Turing, 1947'de yapay zeka üzerine ilk konferansı vererek, akıllı makinelerin bilgisayar programlarıyla birleştirilebileceğini öne sürmüştür. 1950'de yayımladığı "Bilgi İşlem Makineleri ve Zeka" makalesinde "Makineler düşünebilir mi?" sorusunu tartışarak yapay zekanın düşünsel temellerini

atmıştır. Bu çalışmalar, modern yapay zekanın başlangıcı olarak kabul edilir (McCarthy, 2017; Turing, 1950).

1956 yılında Dartmouth Koleji'nde düzenlenen bir çalıştayda, John McCarthy tarafından ilk kez "yapay zekâ" terimi kullanılmıştır. Bu etkinlik, yapay zekâ araştırmalarının başlangıcı olarak kabul edilir (Coşkun ve Gülleroğlu, 2021).

Günümüzde yapay zekâ, sağlık, eğitim, finans ve ulaşım gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerinin gelişimiyle, yapay zekâ sistemleri daha karmaşık görevleri yerine getirebilmektedir (Altun, 2019). Örneğin, tarım alanında devrim yaratan bir teknoloji haline gelmiştir. Tarım sektörü, sürdürülebilir gıda üretimi, kaynakların daha verimli kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması gibi kritik hedeflere ulaşmak için yapay zekâdan geniş ölçüde faydalanmaktadır (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

3.TARIMSAL YAPAY ZEKA

Değişen dünya dinamikleri, tarımsal üretimde daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi yöntemlere olan ihtiyacı her geçen gün artırıyor. Artan nüfus, sınırlı tarım arazileri ve iklim değişikliği gibi faktörler, tarımsal üretimi yeniden şekillendirmek için teknolojiyi zorunlu kılıyor. Bu dönüşümün merkezinde ise yapay zeka yer alıyor (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

Yapay zeka, tarımsal üretim süreçlerinde topraktan sofraya kadar her aşamada etkili çözümler sunuyor. Bu teknolojinin kullanımı, üretim maliyetlerini azaltmaktan ürün kalitesini artırmaya, kaynakların daha verimli kullanılmasından çevresel etkilerin azaltılmasına kadar geniş bir yelpazede fayda sağlıyor (Uzun ve ark., 2018).

Tarımsal yapay zeka içeriğinde başlıca konular;

- Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi ile Veri İşleme
- Yapay Zekâ Destekli Sensörler ve Veri Analitiği
- Tarımda Otomatik Dümenleme Sistemleri
- Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları
- Yapay Zekâ ile Otonom Tarım Makineleri
- Yapay Zekâ ile Bitki ve Hastalık Tanıma
- Yapay Zekâ Destekli Sulama Sistemleri

3.1. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi ile Veri İşleme

3.1.1. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi ile Veri İşleme

Dronlar, sensörler ve uydu görüntüleri, tarımsal verilerin toplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar, toprak nemi, hava koşulları, bitki sağlığı ve diğer çevresel faktörleri izlemek için kullanılır. Toplanan bu veriler, yapay zekâ sistemleri tarafından analiz edilerek tarımın daha verimli yönetilmesine olanak tanır (Grell ve ark., 2020; Sharma, 2021).

3.1.2. Hastalık ve Zararlı Tespiti

Makine öğrenmesi, bitki hastalıklarını ve zararlıları erken aşamalarda tespit etmek için kullanılabilir. Görüntü işleme teknikleriyle, yapay zekâ, bitki yapraklarındaki değişiklikleri, renk değişimlerini veya yapısal bozuklukları algılayabilir. Bu sayede, tarım üreticileri hastalıkları daha hızlı tespit ederek önlem alabilirler (Şekil 7). (Zhang ve Wang, 2020).



Şekil 7: Yapay zeka sistemleri kullanılarak zararlıların tespit edilmesi.
(<https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/meyve-sebze-ve-bitkilerdeki-tarimsal-zararlılar-yapay-zeka-sistemi-ile-azaltiliyor/3267747>)

3.1.3. Verim Tahmini ve Yönetim

Makine öğrenmesi, mahsul verimliliğini tahmin etmek için kullanılabilir. Çiftçiler, geçmiş verilere ve çevresel faktörlere dayalı olarak verim tahminleri yapabilir, böylece kaynaklarını daha verimli kullanabilirler. Ayrıca, bu sistemler, sulama, gübreleme ve hasat zamanlaması gibi kararları optimize etmek için de kullanılmaktadır (Radhakrishnan ve Kumar, 2019).

3.2. Yapay Zekâ Destekli Sensörler ve Veri Analitiği

Toprak nemi, sıcaklık, pH ve besin seviyeleri (EC) gibi parametreleri ölçen sensörler, YZ algoritmalarıyla entegre edilerek gerçek zamanlı veri analizi sağlar. Bu sayede, sulama ve gübreleme gibi tarımsal uygulamalar ihtiyaçlara göre ayarlanabilir, kaynak kullanımı optimize edilir ve çevresel etkiler minimize edilir (Öztürk ve ark., 2021).

3.3. Otomatik Dümenleme Sistemleri

YZ destekli otomatik dümenleme sistemleri, traktörler ve diğer tarım makinelerinin hassas bir şekilde yönlendirilmesini mümkün kılar. Bu sistemler, GPS ve sensör verilerini kullanarak tarla üzerinde en uygun rotayı belirler ve insan müdahalesine olan ihtiyacı azaltır. Sonuç olarak, yakıt tüketimi azalır, iş gücü verimliliği artar ve tarımsal işlemler daha tutarlı bir şekilde gerçekleştirilir (Anonim, 2016; Lowenberg-DeBoer, 2022).

3.4. Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları

IoT, tarım sektöründe sensörler, cihazlar ve makinelerin birbiriyle iletişim kurmasını sağlayarak veri toplama ve analiz süreçlerini otomatikleştirir. Örneğin, toprak nem sensörleri, sulama sistemleriyle entegre edilerek bitkilerin su ihtiyacına göre otomatik sulama yapabilir. Ayrıca, hayvanların hareketleri ve sağlık durumları IoT cihazlarıyla izlenerek sürü yönetimi optimize edilebilir. Bu entegre sistemler, tarımsal operasyonların verimliliğini artırırken, kaynakların sürdürülebilir kullanımını destekler (Goap ve ark., 2018).

3.5. Yapay Zekâ ile Otonom Tarım Makineleri

YZ tabanlı otonom tarım makineleri, ekim, hasat ve ilaçlama gibi işlemleri insan müdahalesi olmadan gerçekleştirebilir. Bu makineler, sensörler ve kameralar aracılığıyla çevrelerini algılar, YZ algoritmalarıyla en uygun eylem planını belirler ve tarımsal faaliyetleri etkin bir şekilde yürütür. Bu teknoloji, iş gücü maliyetlerini düşürürken, tarımsal operasyonların hızını ve doğruluğunu artırır (Zhang, 2016)

3.6. Yapay Zekâ ile Bitki ve Hastalık Tanıma

Görüntü işleme ve derin öğrenme teknikleri kullanan YZ sistemleri, bitki hastalıklarını ve zararlıları erken aşamada tespit edebilir. Dronlar veya sabit kameralarla elde edilen görüntüler analiz edilerek, hastalıklı bitkiler belirlenir ve uygun tedavi yöntemleri önerilir. Bu yaklaşım, ürün kayıplarını azaltır ve pestisit kullanımını optimize eder (Yaman ve Tuncer, 2022).

3.7. Yapay Zekâ Destekli Sulama Sistemleri

YZ tabanlı sulama sistemleri, toprak nemi, hava durumu tahminleri ve bitki su ihtiyacını analiz ederek sulama süreçlerini otomatikleştirir. Bu sistemler, su kaynaklarının verimli kullanımını sağlar ve bitki gelişimini optimize eder. Ayrıca, enerji tasarrufu ve maliyet düşüşü gibi ek faydalar da sunar (Yaman ve Tuncer, 2022).

3. SONUÇLAR

Yapay zekanın tarım alanında kullanılması, sektördeki verimliliği artırma, maliyetleri düşürme ve çevresel etkileri minimize etme potansiyeli sunmaktadır. Bu teknolojiler, tarımın her aşamasında büyük faydalar sağlamaktadır; toprak ve hava koşullarını analiz etmek, ürün sağlığını izlemek, hastalıkları tahmin etmek, verimlilik optimizasyonu yapmak ve daha pek çok alanda etkin çözümler sunmaktadır.

Yapay zeka tabanlı sistemler, çiftçilere daha bilinçli ve doğru kararlar almalarını sağlayarak, kaynak kullanımını optimize eder ve tarımsal üretim süreçlerinin daha sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlar. Ayrıca, otomasyon ve robotik sistemlerin tarımda yaygınlaşmasıyla iş gücü ihtiyacı azalmakta, verimlilik artmaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekanın tarıma entegrasyonu, sadece ekonomik faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tarımın çevresel sürdürülebilirliğini artırma yönünde de büyük bir rol oynamaktadır. Bu alandaki gelişmeler, tarım sektörünün geleceğini şekillendirecek ve daha akıllı, verimli bir tarım modeline olanak tanıyacaktır.

KAYNAKÇA

- Acar, O. (2020). Yapay zeka fırsat mı yoksa tehdit mi? İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Altun, D. (2019). Sanal gerçeklik ve yapay zeka. Yapay zeka ve gelecek içinde (ss. 139-157). İstanbul: Doğu Kitapevi.
- Anonim (2016). The future of agriculture". *The Economist*. (Erişim tarihi: 06.05.2025). https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-11?utm_medium=cpc.adword.pd&utm_source=google&ppccampaignID=18151738051&ppcadID=&utm_campaign=a.22brand_pmax&utm_content=conversion.direct-response.anonymous&gad_source=1&gad_campaignid=18151761343&gbraid=0AAAAADBuc3J50QPwBuRtWLTnieoqGxVWN&gclid=CjwKCAjwiewABhBZEiwAEBTPGIH3yf08UzyOwTAMuE3O-QE4YIOTkkmFqpnZa0knF1Vb2oBiihnVVRoCj2gQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds
- Anonim (2022). Tarımdanhaber, Tarımda bilgi kirliliği ve Tarım 4.0. <https://www.tarimdanhaber.com/tarimda-bilgi-kirliligi-ve-tarim-40-1>. (Erişim tarihi 10.04.2025).
- Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan algılama, yapay zekâ ve geleceğin akıllı tarım teknolojisi trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
- Çilesiz, Y. ve Karaköy, T. (2022). Teknolojik Tarım. Akıllı tarım teknolojilerinin tarımsal üretimde kullanımı, *İksad*. 3-20.
- Coşkun, F., ve Gülleroğlu, H.D. (2021). Yapay zekanın tarih içindeki gelişimi ve eğitimde kullanılması, *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*. 54(3), 947-966.
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and electronics in agriculture*, 155, 41-49.
- Grell, M., Barandun, G., Asfour, T., Kasimatis, M., Collins, A., Wang, J., & Güder, F. (2020). Determining and Predicting Soil Chemistry with a Point-of-Use Sensor Toolkit and Machine Learning Model. *bioRxiv*, 2020-10.
- Kumcu, E., ve Marangoz, M. (2018). Organik üretim sürecinde organik 1.0'dan organik 3.0'a geçiş ve organik 3.0'ın temel özellikleri. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 16(32), 379-396.

- Lowenberg-DeBoer, J. (2022). Economics of adoption for digital automated technologies in agriculture. Background paper for The State of Food and Agriculture, 1-49.
- Maloof, M. (2017). Artificial intelligence: an introduction. *Georgetown University*.
- McCarthy, J. (2007). From here to human-level AI. *Artificial Intelligence*, 171(18), 1174-1182. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2007.10.009>
- Öztürk, E., Çelik, Y. & Kırıcı, P. (2021). Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1279-1282.
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., & Gezici, M. (2021). Türk tarımında dijital teknolojilerin kullanımı ve tarım-gıda zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 78-87).
- Poole, D. I., Goebel, R. G., & Mackworth, A. K. (1998). *Computational intelligence* (Vol. 1). Oxford: Oxford University Press.
- Radhakrishnan, R., & Kumar, S. (2019). Deep Learning for Agriculture: Applications and Future Prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160, 1-14.
- Schank, R. C. (1991). Where's the AI?. *AI magazine*, 12(4), 38-38.
- Sevli, O. (2023). Tarım 4.0 Ölçeğinde bir dijital tarım uygulaması: Çiftlik izleme ve yönetim sistemi, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 105-116.
- Sharma, R. (2021). Artificial intelligence in agriculture: a review. In *2021 5th international conference on intelligent computing and control systems (ICICCS)* (pp. 937-942). IEEE.
- Topal, R. Ş. (2010). Tarım sektörünün topluma karşı sorumlulukları. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 1-31.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind a Quarterly Review of Psychology and Philosophy*, (pp. 433-460). Re
- Uzun, Y., Bilban, M. ve Arıkan, H. (2018) Tarım ve kırsal kalkınmada yapay zekâ kullanımı. *VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*, 26-28 Ekim. Konya. 1-7.
- Yaman, O., & Tuncer, T. (2022). Bitkilerdeki yaprak hastalığı tespiti için derin özellik çıkarma ve makine öğrenmesi yöntemi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(1), 123-132.
- Zhang, C., & Wang, Y. (2020). Machine Learning for Agricultural Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(1), 15-30.
- Zhang, Q. (2016). Precision Agriculture Technology for Crop Farming. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 134.

CHAPTER 9

MONITORING AND EVALUATION OF IRRIGATION SCHEMES FOR ENHANCING WATER PRODUCTIVITY IN TÜRKİYE: TRENDS AND INNOVATIONS

Prof. Dr. Belgin ÇAKMAK¹

Dr. Eray HARMAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16030528>

¹ Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Farm Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye, bcakmak@ankara.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-3557-8411

² General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ), 31st Regional Directorate, Eskişehir, Türkiye, erayharman26@gmail.com

Orcid No: 0009-0007-4114-2928

INTRODUCTION

In the first quarter of the 21st century, food security faces numerous simultaneous threats, including climate change, pandemics, and global political-economic tensions. Addressing these challenges necessitates the establishment of resilient food systems, the promotion of innovation, and the effective use of technology.

Located in the semi-arid climate zone, Türkiye is situated in a geography where the impacts of climate change are becoming increasingly evident. With growing population, industrialization, and urbanization, the demand for water continues to rise, while the sustainability of water resources and equitable access across sectors face increasing risks. Ensuring food security is not possible without securing water resources.

It is projected that, due to the increase in the global population, the demand for food and water will rise accordingly. However, considering the negative impacts of climate change on water resources, the efficient and effective use of water becomes an inevitable necessity.

Today, the primary challenge in agriculture is to sustainably produce sufficient and healthy food for the growing population while protecting soil and water resources. Inadequate management, operation, monitoring, and evaluation activities in irrigation networks lead to low performance of irrigation systems. Monitoring and evaluation are key components for enhancing water efficiency in agriculture. Increasing water use efficiency in agriculture depends on improved soil and water management, the technology used, and the success of the monitoring and evaluation system (Torun & Çakmak, 2024).

Only 2.5% of the world's water resources are freshwater, and 70% of this is stored in glaciers, soil, the atmosphere, and groundwater, rendering it unavailable for use. This indicates the limited nature of global water resources. It is a well-known fact that water resources are unevenly distributed across the world. The Turkish Statistical Institute (TÜİK) projects Türkiye's population to reach 100 million by 2040 (TÜİK, 2025). Assuming the preservation of current soil and water resources, the annual per capita available water in 2040 is estimated to be 1,120 m³. This figure places Türkiye on the threshold of being classified as a water-scarce country. Such a situation is expected to impose additional pressures on water resources. Therefore, improving water efficiency

and ensuring the sustainable use of water are of critical importance (SYGM, 2021).

Water resources management is a comprehensive activity that involves managing not only the quantity but also the quality of water. This process requires a multidimensional organizational structure and the participation of multiple stakeholders. Consequently, efforts to manage water quality play a significant role in water governance. Globally, the "Integrated Water Resources Management" approach is gaining prominence as a response to water scarcity risks. The European Union has adopted this approach through the "Water Framework Directive" (2000/60/EC), which introduced a basin-based management model. This directive aims to protect and control water resources within EU borders in terms of both quantity and quality. A comprehensive policy framework has been developed under the directive for member states to manage and protect water resources according to common standards.

Water management is defined as the planned development, distribution, and utilization of water resources. Today, the sustainable management of water resources is of critical importance in terms of meeting the increasing demand for food and effectively combating global climate change. In this context, strategies should be developed to achieve higher yields in agricultural production using less water, and the use of environmentally friendly irrigation technologies should be promoted. Furthermore, awareness and knowledge levels among farmers should be increased through educational programs, ensuring the conscious and efficient use of water. In line with this, savings policies aimed at preventing water losses and unnecessary water consumption should be implemented, and integrated water management approaches should be adopted.

Water efficiency and water conservation are closely related but distinct concepts. Water efficiency is defined as "using the least amount of water in the production of a product or service" or "producing more output with the same amount of water." Water efficiency aims to prevent or reduce waste and increase the benefits obtained from water use, whereas water conservation focuses on limiting water use (Çakmak & Torun, 2023).

Efficient water use not only increases agricultural production but also contributes to environmental sustainability. In this regard, significant benefits are achieved in areas such as preserving the natural water cycle, improving soil

health, promoting climate-resilient agricultural practices, and ensuring food security. Water efficiency goes beyond physical water saving and encompasses a comprehensive approach involving multidimensional strategies such as reducing the water footprint, implementing rainwater harvesting systems, reusing wastewater, and introducing regulatory frameworks.

In Türkiye, the agricultural sector accounts for the largest share of total water consumption. Therefore, increasing water efficiency in agricultural activities is a priority issue in water management. Achieving this goal requires monitoring and evaluation of water both at the source and throughout the usage process. Monitoring is generally defined as “the continuous or periodic observation and collection of information by project management at all levels to ensure that input distribution, work schedules, targeted outputs, and other necessary activities are carried out as planned.” Monitoring is a component of project management and its primary purpose is to provide feedback to managers and operators at all levels, enabling the realization of an efficient and effective project performance. Monitoring allows operators and managers to take timely measures and develop appropriate work plans when facing limitations and bottlenecks.

Evaluation is defined as “the systematic and objective determination of the relevance, effectiveness, and outcomes of project activities, and their comparison with set goals.” In contrast to monitoring, evaluation serves more as a learning and problem-solving tool. In irrigation networks, monitoring and evaluation make it possible to detect problems early, allowing timely intervention and the development of appropriate solutions.

In this regard, artificial intelligence-based technologies and digital solutions are being increasingly utilized. Through these technologies, data obtained from irrigation systems can be analyzed in real-time both temporally and spatially, and efficient, accurate, and timely water management can be achieved via decision support systems. Consequently, both the protection of water resources and the sustainability of agricultural production become attainable.

In this study, monitoring and evaluation practices in Türkiye’s irrigation networks are analyzed within the context of water efficiency; the current situation, technological developments, and recent trends are examined in detail.

Current Status and Challenges of Irrigation Networks in Türkiye

Due to its geographical location in a semi-arid climate zone, the effective management of water resources is of critical importance for the agricultural sector in Türkiye. The country exhibits a wide variety of irrigation infrastructure across its regions. Irrigation networks are structures that have received substantial public investment and are intended to enhance the productivity of agricultural production, with different technologies employed in various regions. However, a significant portion of the irrigation infrastructure still consists of outdated and inefficient systems. This hinders the effective use of water, leading to substantial water losses and consequently reducing water efficiency.

Moreover, most irrigation networks in Türkiye operate through traditional open canal systems. These systems result in water losses due to evaporation and seepage. The limited use of smart irrigation systems and modern technologies constrains irrigation efficiency. Additionally, shortcomings in the monitoring and maintenance of irrigation systems, as well as infrastructural deficiencies, adversely affect irrigation performance. These issues pose threats to the sustainability of irrigation networks and lead to economic losses.

Nevertheless, significant steps have been taken in recent years to improve irrigation infrastructure in Türkiye. The expansion of modern irrigation technologies, particularly drip and sprinkler irrigation systems, represents a key initiative to enhance water efficiency. Furthermore, the integration of digitalization and remote sensing technologies into the monitoring and management of irrigation networks stands out as a promising development for improving irrigation performance. These innovative approaches contribute to making irrigation systems more efficient and sustainable, thereby supporting the efficient use of water in Türkiye's agricultural production.

The General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) defines the main principles and policies regarding the operation and maintenance of irrigation projects and either directly delivers services through its affiliated units or delegates them to natural or legal persons in accordance with legal frameworks. In this process of delegation, irrigation associations, which are

among the most prominent water user organizations, play a central role. The primary objective of irrigation associations is to operate the irrigation facilities they take over in a manner consistent with their intended purposes and to ensure the efficient use of allocated water resources. Additionally, these user organizations are responsible for adhering to economic principles at every stage to achieve maximum benefit at the lowest possible cost.

In Türkiye, the operation, maintenance, and management services of irrigation projects are carried out through three different methods: public irrigation management, management by water user organizations and local governments, and management through public-private partnerships. While the DSİ defines the fundamental principles and policies for the operation and maintenance of irrigation projects, it may either deliver these services directly through its units or delegate the responsibilities to natural or legal persons in accordance with legal regulations. Among the water user organizations, irrigation associations assume the most significant role. These organizations aim to ensure the sustainable use of irrigation facilities in line with their construction purposes and to make the most efficient use of allocated water. At the same time, ensuring maximum benefit at optimal cost in line with economic principles is also among their responsibilities. This process includes the functions of monitoring, evaluation, inspection, and control (Tanışıklı & Çakmak, 2023).

In Türkiye, the only institution with the infrastructure and responsibility to conduct monitoring and evaluation is the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ). Until 1993, DSİ generally transferred the operation, maintenance, and management responsibilities of small-scale irrigation facilities, typically under 2,000 hectares, to water users. However, since 1993, DSİ has made the decision to transfer the operation, maintenance, and management responsibilities of large-scale irrigation facilities to user organizations and local administrations established by beneficiaries.

Monitoring and Evaluation Mechanisms in Water Management

Monitoring and evaluation mechanisms should serve the purposes of tracking the current status of ongoing activities, identifying both positive and negative developments in implementation, providing recommendations for

improvement, solving encountered problems, and ensuring feedback for future actions. Although monitoring and evaluation are two distinct functions, they are complementary, interrelated, and often need to be carried out simultaneously. Both processes should be conducted systematically, in alignment with the nature of the activity, concurrently with implementation, and in a way that ensures continuity.

Monitoring is a continuous activity that answers questions such as what, how much, where, how, and why an action is taking place. Evaluation, on the other hand, seeks to determine what differences are being made in terms of effectiveness, efficiency, impact, and sustainability—before, during, and after implementation, at specific intervals.

One of the fundamental elements of water management is to ensure that water is preserved in terms of both quantity and quality for future generations. In this context, monitoring and evaluation mechanisms in water management should be designed and operated to encompass all relevant datasets. These datasets must include all aspects of current water resources and available water potential—particularly water quality—and compare them with the actual needs and consumption data of various sectors. This enables the assessment of resource utilization in terms of impact, efficiency, and sustainability.

In Türkiye, the land considered irrigable from technical and economic perspectives currently covers 8.5 million hectares. It is estimated that this area may increase in accordance with technological advancements and economic conditions. While studies conducted by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) are ongoing, unofficial estimates suggest that the total irrigable land has reached approximately 10.5 million hectares.

As of early 2025, the gross area of irrigation land put into operation by DSİ has reached 4.9 million hectares, covering 3,165 irrigation facilities. Of this area, 5.4% is operated directly by DSİ, 80.7% has been transferred—while ownership remains with DSİ—to water user organizations through operation, maintenance, and repair agreements, and 13.4% has been constructed by DSİ (including wells, motor pumps, and electrification systems at wellheads) and transferred to the ownership of cooperatives through repayment mechanisms. The irrigation networks were constructed by either the cooperatives themselves, DSİ, the now-defunct General Directorate of Rural Services (KHGM), or Provincial Special Administrations, and subsequently handed over to

Registered Irrigation Cooperatives. The remaining 0.05% consists of irrigation areas built and operated for institutions such as the State Agricultural Enterprises, Forest Nursery Directorates, Research Institutes, and universities, against payment.

Among the irrigation areas constructed and commissioned by DSİ and transferred for operation, maintenance, and repair, 82.2% (654 facilities) are operated by 181 irrigation associations; 6.6% (388 facilities) by 417 irrigation and development cooperatives; 8.4% (289 facilities) by 165 municipalities; 1.0% (163 facilities) by 169 village legal entities; and 1.8% (28 facilities) by 18 other water user organizations (such as Association for Delivering Services to Villages, Provincial Special Administrations, and universities).

DSİ monitors the institutional capacity, economic and financial adequacy, and technical competence in irrigation management of the water user organizations to which it has transferred irrigation facilities, especially irrigation associations, and conducts performance evaluations. However, for irrigation systems operated by cooperatives, municipalities, provincial special administrations, and village legal entities, deficiencies are observed not only in the organization of operations but also in the processes of periodic inspection, monitoring, and evaluation.

Additionally, 289 irrigation facilities developed by DSİ and serving 239,657 hectares of agricultural land are operated by 165 municipalities. Among these, 6 are Metropolitan Municipalities, which operate 93 irrigation facilities serving 76,701 hectares. However, for irrigation projects developed and commissioned by other public institutions—similar to those operated by cooperatives—there is no inventory or reliable data on how many are operated by which municipalities, or on the management practices of these systems.

Based on the assumption that 8.5 million hectares constitute the technically and economically irrigable area, by early 2025, irrigation infrastructure has been provided for a gross area of 7.2 million hectares, while efforts are ongoing for the remaining 1.3 million hectares. Of the irrigated areas in Türkiye where infrastructure has been established and brought into operation, 68% (4.9 million hectares) have been developed by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ), 18% (1.3 million hectares) by other public institutions and organizations—such as the former General Directorate of Soil and Water and Rural Services, Provincial Special Administrations,

Municipalities, and the General Directorate of Agricultural Reform (TRGM)—and 14% (approximately 893,112 hectares, based on DSİ Basin Master Plan results) consist of community-based irrigation systems established by individual efforts.

Once the officially confirmed area of technically and economically irrigable land is finalized, it is projected that, in addition to the remaining 1.3 million hectares, irrigation infrastructure will be needed for another 2 million hectares of agricultural land.

In DSİ-operated irrigation schemes across Türkiye, in 2003, 92% of the total irrigated area was watered using surface irrigation methods, while 7% used sprinkler irrigation, and only 1% used drip irrigation. By 2023, 59% of the total irrigated area was watered by surface irrigation, 24% by sprinkler irrigation, and 17% by drip irrigation methods. The application efficiency varies between 30–60% for surface irrigation, 70–75% for sprinkler systems, approximately 90% for drip irrigation, and around 95% for subsurface drip irrigation. These data clearly highlight the impact of field-level irrigation methods on water efficiency and emphasize the importance of selecting appropriate irrigation techniques.

According to monitoring studies carried out in irrigation facilities developed by DSİ, the average amount of water used per hectare of irrigated land in Türkiye is 9,741 m³/ha, with an average irrigation efficiency of 49.4%. In contrast, irrigation efficiency reaches 59.2% in closed-network systems, where water use per hectare is 7,911 m³. In systems equipped with water meters, irrigation efficiency is 76%, with a water use rate of 5,984 m³/ha. Facilities that implement a tariff based on water volume (m³) achieve an efficiency of 84%, with water use at 5,092 m³/ha.

Pilot projects on irrigation automation carried out in facilities such as İmamoğlu (DSİ 6th Regional Directorate), Bayırköy, Aydın, and Söke (21st Regional Directorate), and Seyitler and Selevir (18th Regional Directorate), are cited as exemplary initiatives to improve water efficiency. Under these projects, the Digital Irrigation Management System (DIMS) will be implemented and expanded, aiming to determine irrigation timing and water volume based on crop patterns and to prevent over-irrigation. DIMS will enable the planning of irrigation in real time and prevent unnecessary water use. The AI-supported Digital Water Management System (E-DWMS) will be integrated with decision

support systems such as SUTEM and ATHOM, along with water observation stations. Real-time data from observation stations will enable water resource and supply management and support the creation of digital operation maps. Under the AI-supported irrigation automation program, water use will be metered and billed based on TL/m³. Crop patterns and irrigation status by basin will be monitored and analyzed in real time, facilitating AI-based irrigation planning and water distribution.

Water quality statistics in Türkiye are based on monitoring data produced by the General Directorate of State Hydraulic Works. Across the country, water quality is monitored through 2,852 observation stations and 365 parameters. The General Directorate of Water Management (SYGM) establishes monitoring programs for 25 water basins, and DSİ carries out monitoring activities accordingly. The collected data is submitted annually to SYGM to generate national water quality statistics. These statistics are produced from administrative records and do not cover sector-specific details.

In order to determine groundwater reserves, ensure appropriate use, maintain control, and promote sustainable and economical operation, DSİ conducts both quantitative and qualitative monitoring of wells and springs. According to DSİ's studies, the total allocated volume of groundwater in Türkiye is estimated at 18,783.8 million m³ per year. Of this, 66% is used in irrigation, 25% for drinking and domestic purposes, and 9% in industry. Groundwater used for irrigation covers an area of approximately 1.78 million hectares, of which 14% is irrigated by irrigation cooperatives. Among the areas managed by cooperatives, 63% are irrigated using closed (pressurized) systems.

DSİ (State Hydraulic Works) monitors and evaluates the institutional capacity, economic and financial adequacy, and technical competence in irrigation management of the water user organizations to which it has transferred irrigation facilities, especially irrigation associations (Harman and Çakmak 2023; Torun and Çakmak 2024). However, in irrigation systems operated by cooperatives, municipalities, provincial special administrations, and village legal entities, there are deficiencies not only in the organization of operations but also in the periodic inspection, monitoring, and evaluation processes (Cin and Çakmak 2017).

On the other hand, 289 irrigation facilities developed by DSİ, serving a total area of 239,657 hectares, are operated by 165 municipalities. Among

these, 6 are metropolitan municipalities operating 93 irrigation facilities that serve 76,701 hectares. As with cooperatives, no inventory or management data is available regarding how many of the irrigation schemes constructed and commissioned by other public institutions are operated by how many municipalities, nor are there records related to their irrigation management practices.

Monitoring and Evaluation in Irrigation Networks: Fundamental Concepts and Methods

Water is one of the essential inputs for both agricultural production and industrial activities. Due to increasing population, climate change, and economic development, pressures on water resources are intensifying, making effective and sustainable water management imperative. Water management is a holistic approach that includes the preservation of water resources in terms of both quantity and quality, their planned development, and their efficient use. It is defined as the planned development, allocation, and use of water resources (Çakmak and Gökalp 2016). The most critical aspect of water management is ensuring the preservation of water quantity and quality for future generations.

Monitoring and evaluation mechanisms should serve to track the current status of implemented actions, identify both positive and negative developments, provide recommendations for improved implementation, solve encountered problems, and offer forward-looking feedback. Although monitoring and evaluation are distinct functions, they are complementary, interconnected, and often need to be conducted concurrently. Both processes should be carried out systematically, in accordance with the nature of the task, and in a way that ensures continuity and real-time integration with implementation. Monitoring is a continuous activity that seeks to answer questions such as what, how much, where, how, and why. In contrast, evaluation seeks to determine the differences achieved in terms of effectiveness, efficiency, impact, and sustainability—before, during, and after implementation, at specific intervals.

As a management tool, monitoring and evaluation emerged in the 1970s to improve project management. Although the functions of monitoring and evaluation are closely related and often used interchangeably, they are two distinct management tools that complement each other but differ in content and

scope. Monitoring activities are conducted during project implementation, primarily to support project execution and management. In contrast, evaluation begins with the initial formulation of project objectives and continues through to several years after project completion. Due to the functional similarities between monitoring and evaluation, confusion may arise regarding the responsibilities of the personnel assigned to each.

Monitoring and evaluation are critical components of project management. Monitoring is a core managerial responsibility involving data collection, analysis, communication, and information use to track the physical and financial progress of a project or program and the achievement of its intended outcomes. By collecting and analyzing project and program-related data, it is possible to monitor progress through the evaluation of inputs, activities, outputs, and results.

Monitoring is commonly defined as “continuous or periodic observation and data collection carried out at all levels of project management to ensure that the distribution of inputs, implementation schedules, expected outputs, and other necessary activities are proceeding as planned.” It is an integral part of project management, and its primary goal is to facilitate the flow of information back to all levels of management, enabling efficient and effective project performance. Monitoring also allows operators and managers to identify constraints and bottlenecks in a timely manner and to develop appropriate work plans accordingly. Therefore, monitoring is an internal activity and a component of the management information system. As one of the most critical elements for successful operation, it should be carried out by personnel responsible for project implementation at all levels of the management hierarchy.

Evaluation, unlike monitoring, serves more as a tool for learning and problem-solving. It is defined as “a systematic and objective process to assess the relevance, effectiveness, and impact of project activities, and to compare them against set targets.” Evaluation includes processes aimed at determining whether the objectives have been clearly and appropriately identified, and whether the activities have been effectively implemented. As an institutional function, evaluation supports the improved implementation of ongoing activities and aids in future planning and decision-making.

Monitoring is not Evaluation!

Monitoring answers: *"What was done, how and why?"* It focuses on outputs and outcomes, but not impacts. Evaluation asks: *"What did the interventions change?"* It interprets data from monitoring to assess impacts and value.

A monitoring and evaluation (M&E) system serves multiple purposes in assessing and enhancing project success. This system helps determine the degree of success by comparing the actual outputs of a project with the initially intended impacts. It also identifies challenges during implementation, analyzes why expected results were not achieved, and guides the development of corrective strategies for future projects. By fostering a better understanding of project activities and related issues, M&E accelerates and clarifies decision-making processes. It also supports the validation of decisions taken regarding the project. Lessons learned from past experiences can be utilized in similar future projects to improve planning and management practices. Performance analyses carried out during the initial phases of a project serve as a foundation for more effective planning in later stages. Comparing the success levels of different projects enables organizational restructuring and supports ministries and related institutions in revisiting their current policies. Finally, M&E data collected at the national level helps policymakers make more informed decisions regarding regional-scale initiatives.

For monitoring activities to be carried out efficiently and effectively, certain fundamental requirements must be met. First, baseline data must be accurate and reliable. The indicators selected for monitoring must clearly reflect the changes being tracked. Adequate time and resources must be allocated for the collection and tracking of these indicators. Indicators that are difficult, costly, or risky to monitor should be avoided, and all selected indicators must be clearly incorporated into the project plan and monitoring program. Monitoring activities should be conducted by a team of experts in the field, using consistent locations, intervals, and methodologies. Each expert's responsibilities in monitoring should be defined in advance and overseen periodically by the project coordinator. All monitoring activities must be documented regularly, and the accuracy of these records must be verifiable when necessary. These elements are critical to ensuring the reliability and sustainability of the monitoring process.

Monitoring is a continuous process that plays a central role in project management. Different processes within a project are monitored using various methods appropriate to their dynamics. This allows for early detection of deviations from the project plan, enabling timely corrective actions. Monitoring also provides a clear indication of whether the project is progressing toward its objectives. In this respect, monitoring is not only about assessing the current situation but also plays a key role in ensuring the overall success of the project. Continuous monitoring allows for the early identification of potential issues and the timely implementation of corrective measures. It also identifies improvements made during the project, thereby contributing to the success of future projects.

Developing a monitoring system involves a comprehensive, multi-phase process. This includes identifying and defining indicators, determining data sources and data collection methods, establishing data collection frequency and schedules, and clarifying responsibilities for data collection. It also requires reviewing existing information systems and data collection processes, identifying the information needs of project implementers and stakeholders, and considering institutional structures, regulations, and constraints. Establishing effective communication channels to relay data to decision-makers, planning for data analysis, and developing analytical tools are also integral parts of this process. Additionally, communication strategies for monitoring data, developing guidelines and formats for the monitoring system, preparing reporting systems and formats, planning training programs for responsible personnel, and budgeting for all associated expenses complete the holistic structure of a monitoring system.

Among the key monitoring tools, various reporting methods stand out. Monitoring reports provide periodic summaries of project progress and allow for assessments based on activity plans and defined indicators. Progress reports—prepared monthly, quarterly, semi-annually, or annually—not only contribute to the monitoring process but also serve as primary data sources during evaluation.

The digital dimension of the monitoring process is managed through a Monitoring Information System (MIS). MIS is designed to assess compliance with project implementation rules and objectives, focusing on procurement, expenditure eligibility, activity alignment, visibility, documentation, record-

keeping, and reporting. The system must be designed to collect accessible and analyzable data that covers all aspects of a project or multiple projects. Data collected via MIS is analyzed to produce meaningful insights toward achieving project outcomes.

The Monitoring Information System (MIS) must be designed to verify a project's compliance with implementation rules, obligations, and goals. It should facilitate communication among project stakeholders, ensure timely and secure access to necessary information, and be user-friendly with high accessibility. For the MIS to function effectively, the data entered into the system must be accurate and complete. The reliability of analyses and interpretations based on this data directly influences the quality of decisions made. Therefore, all stakeholders must act responsibly and attentively throughout the data entry, analysis, and interpretation stages. Inaccurate or incomplete data may lead to incorrect decisions and prevent the project from achieving its goals. Since such situations could adversely affect overall project success, data reliability and transparent information sharing are essential.

The Monitoring Information System (MIS) Plan must include a series of core steps to ensure the system is established effectively and operates efficiently. First and foremost, data flowcharts should be developed to clearly define how information will circulate within the system. Following this, data entry forms should be created to standardize the collection and input of data across the system. Once the monitoring activities are structured within the framework of MIS logic, information technology applications should be implemented. Where necessary, pilot implementations should be conducted to test the system's functionality and detect potential issues in advance. These planned approaches will support the sustainable, efficient, and reliable operation of the MIS.

Evaluation represents a separate process from monitoring and involves analyzing and interpreting the data obtained through monitoring. Evaluation can range from preliminary analyses carried out immediately after data collection, to comprehensive assessments conducted periodically in collaboration with the project team (Table 1). The primary objective is to determine whether the project has achieved its goals, identify deficiencies or weaknesses, and generate more effective solutions for future implementation.

To ensure that the evaluation process is conducted effectively, several key principles must be taken into consideration:

Table 1. Comparison of monitoring and evaluation

Monitoring	Evaluation
• It is a continuous and systematic process. • It is conducted during implementation. • It generates quantitative data. • It indicates incorrect progress. • It improves performance. • It provides data for evaluation.	• It is conducted at a specific stage of implementation (e.g., prior to, 3rd month, 6th month, 1 year, after completion, etc.). • It utilizes data from monitoring. • It determines whether the objectives have been achieved and provides recommendations. • It examines appropriateness. • It measures efficiency, effectiveness, impact, and sustainability. • It ensures the improvement of monitoring. • It offers recommendations for the planning of other/similar projects.

Monitoring and Evaluation Criteria: Indicators and Implementation Strategies

Monitoring and evaluation play a crucial role in improving the sustainability and resource-use efficiency of irrigation networks. The indicators used in this process help determine the extent to which both technical performance and managerial processes are being executed successfully. During the monitoring phase, data related to indicators are collected regularly, while during the evaluation phase, these data are analyzed and interpreted.

The General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) conducts monitoring and evaluation studies under specific thematic headings for both irrigation facilities operated directly by DSİ and those transferred to other institutions. However, among the transferred facilities, only a limited number of institutions can provide regular and reliable data. In this regard, Irrigation Associations are generally the most consistent sources of data.

Nevertheless, the DSİ carries out annual monitoring and evaluation studies based on predefined thematic areas, and the findings are published internally in the form of institutional reports for internal use only.

Monitoring and evaluation activities for irrigation systems that have been constructed and commissioned by DSİ, as well as those transferred to other organizations, should be carried out with equal diligence not only by DSİ but also by all responsible institutions managing construction and operation of irrigation systems.

To enhance water-use efficiency in agriculture across Türkiye, it is vital to ensure accurate water measurement and effective delivery to the plant root zone. Therefore, a comprehensive monitoring and evaluation system must be implemented at provincial, regional, and basin levels. This system should cover various components including:

- Irrigation outcome analysis
- Measurement infrastructure assessment
- Production values
- Crop determination
- Irrigation ratios and efficiency
- Water consumption per hectare
- Crop pattern analysis
- Hydrological monitoring of storage areas
- Daily water status reports
- Monthly operation schedules
- Annual operational plans

The indicators used by the State Hydraulic Works (DSİ) in the monitoring and evaluation process are presented in Table 2. Within irrigation networks, areas that are not irrigated within the designated irrigation zones are either cultivated under rainfed conditions or left fallow. In the DSİ Monitoring and Evaluation reports, the reasons for non-irrigation within the irrigation area

are categorized under 11 headings. These are: inadequacy of water resources, deficiencies and insufficiencies in irrigation facilities, drainage problems, lack of maintenance and repair, topographical inadequacy of the land, perception of sufficient rainfall and/or absence of water demand, fallowing, social and economic reasons, non-irrigation of pasture and meadowlands, conversion of land to residential, tourism, and industrial use, and other reasons.

Table 2. Indicators used by DSİ in the monitoring and evaluation process

Indicators	Definition
Irrigation area	The net irrigation area planned to be irrigated with the constructed facilities, with clearly defined boundaries.
Area irrigated outside the irrigation area	Areas outside the net irrigation area that are irrigated using DSİ water and facilities are also included.
I. Crop area	It is the total area of the first crops planted and irrigated in an irrigation season.
II. Crop area	It is the total area of the second crops planted and irrigated after the first crop is harvested in the same area.
Area irrigated with farmer's resources within the irrigation area	These are areas within the irrigation area that are irrigated entirely by the farmers' own resources, without benefiting from DSİ facilities.
Area not irrigated within the irrigation area	It refers to the area within the irrigation area that is not irrigated at all, which is found by subtracting the total area of the first crop irrigated and the area irrigated by farmers' own resources from the total irrigation area.
Total irrigated area by the (DSİ)	It refers to the total area of the first and second crops irrigated both within and outside the irrigation area, utilizing the facilities constructed by DSİ.
Irrigation area irrigation rate	It is the ratio of the area of the first crop irrigated within the irrigation area to the total irrigation area.

Total irrigation rate	It is the ratio of the total area of the first and second crops irrigated both within and outside the irrigation area to the defined irrigation area.
Crop pattern in the irrigated area	The crops cultivated in irrigated areas and their respective areas are examined over the last five years. Additionally, the proportion of areas where a second crop (II. product) is planted within the same year is also evaluated under this heading. This study highlights the changes in crop patterns and identifies trends in farmers' agricultural preferences
Value-added increase achieved through irrigation	In areas where DSI provides irrigation services, the production values before and after irrigation are compared, and the value-added per hectare (da) for the last five years is calculated.
Production value	It is the monetary value obtained by multiplying the amount of agricultural products produced through irrigation by the prices at which farmers sell their products.
Gross Domestic Agricultural Income (GDAI)	In addition to the economic value of the products obtained from irrigated areas, the monetary value of the total agricultural income for a given year is calculated by adding factors such as family labor, management contribution, return on agricultural capital, depreciation, and taxes.
Benefit-Cost ratio	This ratio is an important indicator used to measure the economic efficiency of irrigation investments. It is calculated by dividing the obtained benefit by the cost. A ratio greater than 1 indicates that the irrigation investment is economically profitable.
Water supplied to the network	The total amount of water supplied to the irrigation network, the water consumption per unit area, and the amount of water required by the crops.
Irrigation efficiency	It is defined as the ratio of the amount of water reaching the crop root zone to the total water taken from the network. This ratio is one of the key indicators that shows how efficiently water is being used.

In the international literature, monitoring and evaluation studies in irrigation networks are conducted with the same purpose as the performance assessment of irrigation systems. The performance of irrigation systems is evaluated within the framework of indicators related to water use efficiency—covering the transmission, distribution, and application processes of water from the source to the plant root zone—agricultural efficiency encompassing agricultural production processes, and the economic, social, and environmental efficiency indicators aimed at the sustainability of irrigated agriculture (Bulut and Çakmak, 2001).

The performance of irrigation networks is an assessment process that reveals the extent to which the targets set during the planning phase have been achieved. This performance is measured through various performance indicators. There are numerous indicators for different areas such as water use performance, financial performance, and production performance. Performance indicators developed by the International Water Management Institute (IWMI) and the International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID) enable comparative evaluation of irrigation networks (Molden et al., 1998; Burton et al., 2000). These indicators are used for monitoring and evaluation purposes in irrigation networks.

Performance indicators that can be used to determine, monitor, and evaluate the performance of irrigation systems are presented in Table 3.

Table 3. Performance indicators and required data (Burton et al., 2000; Çakmak et al., 2004).

Field	Performance indicator	Required data
Water use efficiency	Total delivered irrigation water ($\text{m}^3/\text{yıl}$)	Total amount of water distributed to users
	Annual irrigation water amount distributed per unit irrigation area (m^3/ha)	Total daily water amount supplied to the irrigation system Irrigation area
	Annual irrigation water amount distributed per unit irrigated area(m^3/ha)	Total daily water amount supplied to the irrigation system Irrigated area
	Annual water supply ratio	Total water amount supplied to irrigation system Total irrigation water requirement
	Irrigation ratio (%)	Irrigated area Irrigation area
Social and economic efficiency	Return on investment (ROI)	Total water fee collected from users Total operation, maintenance, and management costs
	Maintenance cost to revenue ratio	Total maintenancance costs Total water fee collected from users
	otal operation, maintenance, and management cost per unit area ($\$/\text{ha}$)	Total operation, maintenance, and management costs Sulama alanı
	Water fee collection performance (%)	Total water fee collected from users Total water fee to be collected
Agricultural efficiency	Total annual agricultural production value (($\$$))	Total yield obtained from each crop Sale price of the product
	Revenue obtained per unit irrigation area($\$/\text{ha}$)	Total production obtained from each crop Sale price of the product Irrigation area
	Revenue obtained per irrigated unit area ($\$/\text{ha}$)	Total production obtained from each crop Sale price of the product Irrigated area
	Revenue obtained per unit irrigation water supplied to the network($\$/\text{m}^3$)	Total production obtained from each crop Sale price of the product Total water supplied to the network
	Revenue obtained per unit of irrigation water consumed($\$/\text{m}^3$)	Total production obtained from each crop Sale price of the product Total crop water consumption (ETc)

The primary technical indicators consist of criteria such as water applied per unit area, irrigation water requirement per unit area, irrigation efficiency, and water supply ratio. These indicators assess the physical performance of the network and help identify infrastructure deficiencies. Financial and social indicators include elements such as farmer satisfaction, operation-maintenance-management costs, and personnel numbers. Agricultural indicators focus on production performance and include measures such as production value per unit area, production value per unit irrigated area, production value per unit irrigation water applied, and production value per unit water consumed. These indicators are important for determining the performance and ensuring the sustainability of irrigation networks.

If appropriate and meaningful indicators are not selected, the monitoring and evaluation process may be misleading. Therefore, indicators must be measurable, monitorable, comparable over time, and relevant to the objective. Monitoring and evaluation indicators in irrigation networks not only reflect the current status but also form the basis for strategic decisions aimed at system improvement.

Innovative Approaches and Advanced Technologies

The agricultural sector is undergoing transformation due to factors such as global climate change, depletion of water resources, and increasing food demand. At the core of this transformation are digitalization and smart agriculture technologies. Especially in terms of water resource management, critical parameters such as soil moisture, weather conditions, crop development, and water usage can be monitored in real-time through digital sensors, IoT devices, and remote sensing technologies (Ahmed et al., 2024). These technologies enable producers to make more accurate and timely decisions while providing solutions aimed at water conservation and increased efficiency.

Artificial intelligence (AI) is the ability of computer systems to imitate human-like cognitive functions such as learning and problem-solving. Machine learning (ML), a subset of AI, enables computers to learn from experience without explicit programming. Models developed in this field provide effective decision support systems for rational and efficient use of water resources within the framework of sustainable irrigation management. While traditional

irrigation practices rely largely on farmers' past experiences, advances in machine learning now allow irrigation decisions to be based on predictions of weather and soil conditions, accurately estimating crops' water requirements. Predictive capability plays a critical role in irrigation planning, as prior knowledge of water needs, crop yield, and soil moisture levels allows for more effective and proactive management (Abioye et al., 2022).

AI and ML play a key role in interpreting large datasets provided by this digital infrastructure. ML models developed for more efficient management of agricultural irrigation systems analyze historical climate data, soil properties, crop types, and sensor data to predict optimal irrigation timings and amounts. For example, models developed using support vector machines (SVM) or artificial neural networks (ANN) can achieve up to 20% water savings compared to traditional methods (Pantazi et al., 2016).

Machine learning aims to enable machines to perform human-like tasks by learning from acquired data. This technology has the potential to solve problems in complex irrigation systems involving multivariate, nonlinear, and time-varying parameters. ML algorithms can automatically derive new knowledge in the form of generalized decision rules to promote more efficient use of natural resources—especially water. In the field of precision irrigation management, different ML approaches including supervised learning, unsupervised learning, reinforcement learning, and federated learning are widely employed to address challenging problems such as classification and prediction (Abioye et al., 2022).

Agriculture 4.0, or digital agriculture, is a transformative approach that integrates digital technology into agricultural practices. This ongoing revolution in agriculture leverages technologies such as Remote Sensing, Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), and Robotics to enhance the efficiency, productivity, and sustainability of agricultural and agrifood enterprises. Characterized by data-driven, connected, and automated processes, the Agriculture 4.0 paradigm positions digital technologies as fundamental enablers of 'smart' water management. These technologies align with Agriculture 4.0 principles through the use of real-time data flows, predictive analytics, and automation (Wolfert et al., 2017).

As an extension, the emerging concept of Agriculture 5.0 promotes the integration of these digital solutions with human-centered design,

sustainability, and advanced robotics to further optimize efficiency while preserving the environment (Balaska et al., 2023). Digital technologies are playing an increasingly central role in water management and usage within agriculture, which is critical given the sector's substantial water consumption. The use of digital solutions facilitates more precise agricultural practices, optimizing inputs and balancing the minimization of environmental impacts with the maximization of agricultural output (Wolfert et al., 2017). Farmers can utilize real-time data obtained from sensors and satellite imagery to make informed decisions that enhance resource efficiency and crop management. For instance, remote sensing technologies and unmanned aerial vehicles provide detailed data on crop health and water requirements, enabling targeted interventions that prevent both under- and over-irrigation (Marques et al., 2024; Messina and Modica, 2022; Sishodia et al., 2020). These technological advancements contribute significantly to addressing water scarcity issues and ensuring the sustainable use of water resources in agriculture (Parra Lopez, 2025).

In conclusion, digitalization and AI applications present revolutionary innovations in water resource management. However, the widespread adoption of these technologies requires investments in infrastructure, training programs, and strengthened public-private partnerships. Additionally, inclusive policies addressing ethical data usage and farmers' access to technology are critically important for the sustainable success of digital agriculture.

Sustainability of Irrigation Networks: Policies and Future Perspectives

Water is an indispensable resource for the sustainability of agricultural production. It directly affects yield increases in crop production and constitutes a fundamental component of food security. However, environmental threats such as irregular precipitation patterns, drought, and desertification arising from climate change exert significant pressures on water resources, directly threatening agricultural production. In this context, farmers are compelled to turn to alternative water sources and adopt innovative irrigation methods.

Globally, agricultural irrigation accounts for approximately 70% of freshwater use, making it a critical factor for the sustainability of water resources. In countries like Türkiye, where agriculture holds substantial

economic importance, water management gains strategic priority due to increasing population and changing climate conditions. Considering Türkiye's population, which is expected to exceed 100 million by the 2050s, the risk of becoming a water-stressed country emerges as a serious threat.

Within this framework, the effective management of water resources, dissemination of modern irrigation technologies, and development of strategies to improve water use efficiency are of vital importance. Smart irrigation systems and water-saving methods such as drip and sprinkler irrigation contribute to increasing agricultural productivity while preventing water wastage. Moreover, training activities targeted at farmers and raising water awareness across society constitute integral components of sustainable agricultural policies.

Türkiye's current water management policies are based on conserving resources, monitoring quality, and utilizing them in harmony with natural ecosystems. These policies are implemented through basin-based, holistic, and participatory management approaches; promotion of technologies that enhance water efficiency; and integration of reclaimed wastewater and rainwater into agricultural production are among the goals.

However, sustainable water management is not limited to technical infrastructure investments alone. An effective system must be supported by social awareness, institutional cooperation, and robust monitoring mechanisms. The decreasing per capita availability of usable water clearly highlights Türkiye's need for a long-term and integrated water management strategy. The drafted Water Law aims to protect water resources, plan their usage, and manage them at the basin scale, while strengthening the legal infrastructure in areas such as delegation of authority and data sharing.

Within the framework of water efficiency policies, which are among the primary objectives, priority is given to practices such as the reuse of wastewater, the dissemination of rainwater harvesting systems, and the development of treatment infrastructure. These policies not only ensure the sustainability of water resources but also play a critical role in preserving environmental balance, securing public health, and supporting economic development.

Irrigation systems in Türkiye account for approximately 77% of the water used in agricultural production. However, the selection of irrigation

methods often depends more on individual preferences of farmers rather than technical criteria, leading to the widespread use of inefficient surface irrigation methods. Although systems with high efficiency, such as drip and sprinkler irrigation, have significant potential, desired water savings are not achieved due to planning and implementation errors. Issues such as clogging, structural faults, and inappropriate component placements reduce water use efficiency in these systems.

Currently, there is no comprehensive legislation regarding individual irrigation systems in Türkiye. This situation results in the application of irrigation methods without evaluation of their technical suitability and water efficiency. To enable effective use of modern systems, which require qualified planning, installation, and operation processes, legal regulations should be established, and project-based licensing should be introduced. Furthermore, the digitalization of irrigation systems should be supported by promoting innovative practices such as remote sensing, sensor-based monitoring, and artificial intelligence-assisted irrigation management.

Although portable sprinkler systems are among the most widely used methods in Türkiye, expected efficiency is often not achieved due to low-quality materials and inadequate technical installation. In contrast, more advanced mechanisms such as center pivot and linear move systems, integrated with drip irrigation, can significantly increase water savings.

In conclusion, to ensure the sustainability of irrigation systems, multidimensional practices such as project-based licensing, automation, digitalization, and the establishment of quality standards are required. State-supported incentive mechanisms should facilitate farmers' transition to modern irrigation systems, and agricultural enterprises with high water efficiency should be rewarded.

Türkiye's water management policies should be approached with a holistic understanding encompassing technical, environmental, and social dimensions; science-based, flexible, and long-term strategies must be implemented for the sustainability of irrigation systems. In this context, the Draft Water Law is considered a critical instrument for strengthening the legal infrastructure.

Conclusion and Recommendations

Approximately 77% of the water consumed in agricultural production in Türkiye is used for irrigation purposes. However, the choice of irrigation method largely depends on individual preferences rather than scientific and technical principles. This situation leads to the continued widespread use of surface irrigation methods, which have low water efficiency. Although modern methods such as drip and sprinkler irrigation theoretically offer high efficiency, inadequacies in planning, installation, and operation stages prevent the effective utilization of this potential.

The development of irrigation infrastructure in Türkiye accelerated with the establishment of the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) in 1953. For many years, open canals and channel systems were preferred; however, since the 2000s, the transition to closed systems has accelerated in line with the goal of sustainable use of water resources. Operation and management of irrigation systems are generally carried out through irrigation associations, cooperatives, and local administrations, and in some regions, delegation of authority practices negatively affect administrative coherence and effectiveness.

Open canal systems pose significant limitations for sustainable agricultural production today due to disadvantages such as low hydraulic efficiency, high maintenance costs, land loss, parcel fragmentation, and limited flexibility. Moreover, these systems reveal economically unsustainable structures due to high energy consumption and technical inadequacies. Nevertheless, new irrigation investments mostly prioritize opening new areas to irrigation rather than modernizing existing infrastructure. This approach hinders efficient use of water resources and leads to significant productivity losses.

Similar structural problems are observed in newly established irrigation systems. Infrastructure projects designed without land consolidation, erroneous crop pattern assumptions, engineering errors, and insufficient resource analyses adversely affect system performance. Particularly, incorrect pump and cost calculations related to water supply cause systems to become nonfunctional in the long term.

Irrigation associations and cooperatives play critical roles in the operation of irrigation systems. However, challenges such as personnel

shortages, limited financial resources, and uncertainties in water pricing policies undermine management effectiveness. Area-based pricing models, which are still widely applied in Türkiye, do not incentivize water conservation, while volume-based pricing systems have not been sufficiently adopted. Furthermore, the inability of large-scale irrigation networks to fully meet the water needs of all parcels in many cases limits the effectiveness of irrigation scheduling.

In recent years, the integration of digital technologies into irrigation management to improve water use efficiency has gained increasing importance. Satellite imaging, sensor-based monitoring systems, and artificial intelligence-supported analyses enable the monitoring, control, and optimization of irrigation activities, thereby enhancing the technical capacity of irrigation associations and contributing to the sustainable use of water resources.

Within this framework, the key strategies to improve efficiency in irrigation networks in Türkiye are presented under three main headings:

a. Proposed Strategies for Monitoring and Evaluation of Irrigation Networks

Improving efficiency in irrigation networks necessitates the establishment of effective monitoring and evaluation systems. Integrated data collection infrastructures should be developed at both central and local levels; water consumption, system performance, and losses must be regularly monitored and reported. Thanks to satellite imaging, moisture sensors, smart meters, and remote monitoring systems, water use can be tracked in real-time, enabling preventive interventions for potential issues. Additionally, performance evaluation criteria should be defined and supported by regular field analyses to underpin scientifically based decision-making processes.

b. Implementation Recommendations and Policy Development

Ensuring the sustainability of irrigation networks requires a holistic approach encompassing social, economic, and managerial factors, beyond technical measures alone. Accordingly, project-based licensing should become mandatory for both individual and collective irrigation systems. Institutional capacities of irrigation associations and cooperatives should be strengthened through financial support, technical training, and investments in digital infrastructure. Water-saving, efficiency-oriented pricing models should be promoted, and incentive mechanisms developed for producers practicing

efficient water use. Moreover, a multi-stakeholder structure involving farmers, local governments, academia, and the private sector should be established in policy-making processes to enhance both the feasibility and effectiveness of decisions.

c. A Sustainable Roadmap for the Future of Irrigation Networks in Türkiye

The future of Türkiye's irrigation systems should be shaped by a long-term and flexible strategy aligned with the reality of limited water resources in the region. In this context, modernizing existing open canal systems and converting them into closed pressurized systems should be a priority. Water supply planning must consider climate change scenarios, and the reuse of alternative water sources such as wastewater and rainwater in agriculture should be supported. The widespread adoption of technology-based decision support systems must become a fundamental pillar of sustainable water management. Additionally, a national irrigation strategy document should be developed, consistent not only with technical objectives but also with principles of social justice, economic sustainability, and environmental balance.

In this regard, the following recommendations stand out for the sustainability and efficiency of irrigation infrastructure in Türkiye:

1. Public investments for modernization of existing systems should be increased, and relevant budgets revised accordingly.
2. Effective cooperation between engineering and agricultural experts should be established to prevent planning and implementation errors.
3. Project-based licensing practices should be implemented to set quality and efficiency criteria for individual irrigation systems.
4. Institutional capacities of irrigation associations and cooperatives should be enhanced, providing support in terms of personnel and maintenance resources.
5. Digital irrigation systems based on artificial intelligence and sensor technologies should be widely adopted, and farmers trained in their use.
6. Efficiency-focused incentive mechanisms should be introduced to provide additional support to producers achieving water savings.

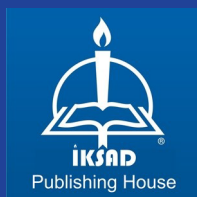
These steps will significantly contribute to the more efficient use of existing water resources and the sustainability of agricultural production.

REFERENCES

- Abioye, E.A., Hensel, O., Esau, T.J., Elijah, O., Abidin, M.S.Z., Ayobami, A.S., Yerima, O., Nasirahmadi, A., 2022. Precision Irrigation Management Using Machine Learning and Digital Farming Solutions. *AgriEngineering* 2022 (4):70–103. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010006>
- Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, S.R., Peng, L., 2024. Smart Agriculture: Current State, Opportunities, and Challenges. *Topical Review. IEEEAccess Multidisciplinary Open Access Journal* 2024 (12):144456-144478, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10701486>
- Balaska, V., Adamidou, Z., Vryzas, Z., Gasteratos, A., 2023. Sustainable Crop Protection via Robotics and Artificial Intelligence Solutions. *Machines* 11, 774. <https://doi.org/10.3390/machines11080774>
- Burton M, Molden D, Scutsh J (2000) Benchmarking irrigation and drainage system performance. *International Programme on Technology and Research in Irrigation and Drainage, IPTRID-FAO-WB, Report on A Workshop, FAO, Rome, pp. 1-9.*
- CSBB 2023. 12.Kalkınma Planı 2014-2028. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 253s., Ankara. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf
- Bulut, İ. ve Çakmak, B. 2001. Mersin Bahçeleri Sulamasında Devir Öncesi ve Sonrası Sistem Performansının Karşılaştırılması. *A.Ü.Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, Cilt:7, Sayı:3, s.58-65, Ankara.*
- Cin, S., Çakmak, B. 2017. Assessment of Irrigation Performance in Başören Irrigation Cooperative Area of Beypazarı, Ankara. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 34 (2), 10-19
- Çakmak, B., Beyribey, M., Yıldırım, Y.E. And Kodal, S. 2004. Benchmarking Performance of Irrigation Schemes: A Case Study from Turkey. *Irrigation and Drainage, The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, Vol 53, No:2, p.155-164.*
- Çakmak, B. Torun, E. 2023. Konya Kapalı Havzası Sulama Şebekelerinde Tarımsal Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda*

- Bilimleri Dergisi 2023, 27(2): 239-252.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3043144>
- Gökalp, Z. Çakmak, B. 2016. Agricultural water management in Turkey: past-present-future. *Current Trends in Natural Sciences* Vol. 5, Issue 9, pp. 133-138, 2016, Romanya. <https://www.natsci.upit.ro/media/1565/paper-20.pdf>
- Harman, E., Çakmak, B. 2023. Sakaryabaşı Sulama Birliğinde Sulama Performansının Değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.) cilt:11, sayı :2, s.320-330*
- Molden D., Sakthivadivel R., Perry C. J., Fraiture C. & Kloezen W. H. 1998. Indicators Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems, International for Water Management Institute, Research Report 20, Colombo, Sri Lanka.
- Marques, P., P' Adua, L., Sousa, J.J., Fernandes-Silva, A., 2024. Advancements in remote sensing imagery applications for precision management in olive growing: a systematic review. *Remote Sens* 16. <https://doi.org/10.3390/rs16081324>.
- Messina, G. and Modica, G., 2022. Twenty Years of Remote Sensing Applications Targeting Landscape Analysis and Environmental Issues in Olive Growing: A Review. *Remote Sens (Basel)* 14. <https://doi.org/10.3390/rs14215430>.
- Pantazi, X. E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R., & Mouazen, A. M. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 57-65.
- Parra-L'opez, C., Abdallah, S.B., Garcia-Garcia, G. , Hassoun, A., Trollman, H., Jagtap, S., Gupta, S., Ait-Kaddour, A., Makmuang, S., Carmona-Torres, C. 2025. Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future Outlook. *Agricultural Water Management* Volume 309 (2025), 21p. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347>
- Sishodia, R., P., Ram, L.R., Sudhir, K.Sing., 2020 Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing* 12:(4)3136; <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3136>

- SYGM 2021. Tarım Sektöründe Su Verimliliğine İlişkin Metodolojik Rehber. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. 92s., Ankara. <https://www.suverimliliği.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/Tarim-Sektoru-Su-Verimliliği-Rehber-Dokumani.pdf>
- Tanışıklı, B. Çakmak, B. 2023. Çorum Sulama Birliği'nde Su Yönetim Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(5): 994-1000. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 11(5): 994-1000.
- Torun, E., Çakmak, B. 2024. Evaluation Of Water Efficiency in Agriculture: The Case of Konya Closed Basin. Irrigation and Drainage 73:1470–1482. <https://doi.org/10.1002/ird.2972>
- TÜİK, 2025. TÜİK (2018-2080) Nüfus Projeksiyonları. Türkiye İstatistik Kurumu Veri portalı. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, MJ., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. Agricultural Systems 153 (2017) 69–80. <https://www.sciencedirectcom/science/article/pii/S0308521X16303754>



ISBN: 978-625-378-269-6