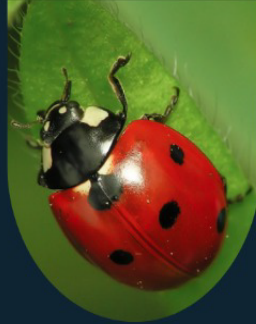


TARIM VE DOĞA BİLİMLERİNDE GÜNCEL METODOLOJİLER



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüde Alev ATEŞ



TARIM VE DOĞA BİLİMLERİNDE GÜNCEL METODOJİLER

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüde Alev ATEŞ

YAZARLAR

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

Prof. Dr. Engin ERTAN

Prof. Dr. Ertuğrul KANKAYA

Prof. Dr. Fahriye ERCAN

Prof. Dr. Halil GÜNEK

Prof. Dr. Mehmet YAĞMUR

Prof. Dr. Mustafa KAN

Prof. Dr. Nalan TÜRKOĞLU

Prof. Dr. Ruhan İlknur GAZİOĞLU ŞENSOY

Prof. Dr. Rüştü HATİPOĞLU

Prof. Dr. Sedat BOYACI

Doç. Dr. Bahadır ALTUN

Doç. Dr. Kadir AKAN

Doç. Dr. Cüneyt UYAK

Doç. Dr. Kadir AKAN

Doç. Dr. Siyami KARACA

Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN

Doç. Dr. Turgay KABAY

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SEPİL

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇANDAR

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur ŞAVKAN

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARGİN

Dr. Öğr. Üyesi Haydar KURT

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇAYAN

Dr. Öğr. Üyesi Rukiye GEZER

Dr. Öğr. Üyesi Sebahattin YILMAZ

Dr. Ethem Ömer BAŞ

Dr. Yağmur YILMAZ

Zir. Yük. Müh. Melike ZENGİN

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI

Dr. Derya DURAN GÖKALP

Dr. Kenan ÇELİK

Dr. Mehmet Ali KARGICAK

Dr. Parisa Pourali KAHRİZ

Zir. Yük. Müh. Kadir Aytaç ÖZAYDIN

Zir. Yük. Müh. Kander KOÇ

Zir. Yük. Müh. Mustafa NALBANT

Zir. Yük. Müh. Zeyni DAĞTEKİN

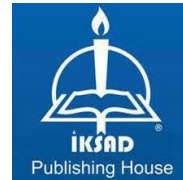
Zir. Müh. Buşra ÖZDEMİR

Deniz Uğur GÜZEL

Meryem Sümeyye EKİZ

Umut Kaan KURT

Ülkü YILDIZ KIZIL



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: 978-625-378-292-4

Cover Design: Adnan DOĞAN
August / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1

BÖLÜM 1

EPİGENETİK HAFIZANIN TEMELLERİ BİTKİLERDE BİLİŞ, BELLEK VE NESİLLERÜSTÜ ADAPTASYONUN MOLEKÜLER DİLİ

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN, Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA Doç. Dr. Cüneyt UYAK.....	3

BÖLÜM 2

YÜKSEK RAKIM KOŞULLARINDA KAMPUS BAĞCILIĞI MODELİ: UYGULAMA, AR-GE VE EĞİTİM PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRME

Prof. Dr. Ruhan İlknur GAZİOĞLU ŞENSOY, Doç. Dr. Cüneyt UYAK Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN, Dr. Ethem Ömer BAŞ Dr. Yağmur YILMAZ, Doç. Dr. Turgay KABAY Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN.....	33

BÖLÜM 3

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BALIKLARI NASIL ETKİLİYOR?

Prof. Dr. Ertuğrul KANKAYA, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SEPİL.....	51

BÖLÜM 4

ŞEKERPANCARI ÜRETİCİLERİNİN ŞEKER PANCARINA BAKIŞI: AMASYA ŞEKER PANCARI ÜRETİM SAHASI ÖRNEĞİ

Zir. Yük. Müh. Melike ZENGİN, Doç. Dr. Kadir AKAN Prof. Dr. Mustafa KAN.....	73

BÖLÜM 5

ENDEMİK VE TIBBİ ÖNEME SAHİP ASPARAGACEAE TÜRLERİNİN KORUNMASINA YÖNELİK MİKROÇOĞALTIM YAKLAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Rukiye GEZER, Dr. Parisa Pourali KAHRİZ Prof. Dr. Nalan TÜRKÖĞLU.....	99

BÖLÜM 6

SÜT SIĞIRI İŞLETMELERİNDE YAĞMUR SUYU HASADININ KULLANIM OLANAKLARININ BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Sedat BOYACI, Meryem Sümeyye EKİZ.....127

BÖLÜM 7

TOPRAKSIZ TARIM YÖNTEMLERİ VE İNCİR YETİŞTİRCİLİĞİNDE KULLANIM DURUMLARI

Dr. Mehmet Ali KARGICAK, Prof. Dr. Engin ERTAN.....145

BÖLÜM 8

BOZTEPE (KIRŞEHİR) İLÇESİNDEKİ SÜNE YOĞUNLUĞU VE ZARARI

Ülkü YILDIZ KIZIL, Prof. Dr. Fahriye ERCAN.....171

BÖLÜM 9

KURU KOŞULLARDA NOHUT (*CICER ARIETINUM* L.) ISLAHINDA KORELASYON ANALİZİ İLE SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Zir. Yük. Müh. Mustafa NALBANT, Prof. Dr. Mehmet YAĞMUR.....185

BÖLÜM 10

ÇUKUROVA KOŞULLARINDA İNCİ DARI (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) GENOTİPLERİNİN BAZI AGROMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Prof. Dr. Rüştü HATİPOĞLU, Zir. Yük. Müh. Zeyni DAĞTEKİN.....205

BÖLÜM 11

KURU KOŞULLARDA BAZI NOHUT ÇEŞİTLERİNİN TANE VERİMİ VE VERİM ÖĞELERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Zir. Yük. Müh. Mustafa NALBANT, Prof. Dr. Mehmet YAĞMUR.....235

BÖLÜM 12

TARIMDA YAPAY ZEKA İLE UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANIMI

Prof. Dr. Halil GÜNEK.....267

BÖLÜM 13

MAKRO VE MİKRO BESİN DENGESİ İLE ÜZÜM KALİTESİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ: BAĞCILIKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR

Doç. Dr. Cüneyt UYAK, Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN.....293

BÖLÜM 14

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE YÜKSEK SICAKLIĞIN BUĞDAY HASTALIK STRESLERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Kadir AKAN, Zir. Yük. Müh. Kander KOÇ.....327

BÖLÜM 15

MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI YAKLAŞIMLARIN ARAZİ UYGUNLUK SINIFLAMASINDA KULLANIMI

Doç. Dr. Siyami KARACA, Dr. Öğr. Üyesi. Bulut SARĞIN.....349

BÖLÜM 16

BÖCEK KAPAN BİTKİLER, AVLANMA MEKANİZMALARİ VE TÜRKİYE TÜRLERİ

Zir. Müh. Buşra ÖZDEMİR, Doç. Dr. Bahadır ALTUN.....375

BÖLÜM 17

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE YOMRA (TRABZON) İLÇESİNDE FINDIK YETİŞTİRİCİLİĞİ İÇİN ARAZİ UYGUNLUK ANALİZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR PLANLAMA YAKLAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN, Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARĞIN

Dr. Öğr. Üyesi Haydar KURT, Umut Kaan KURT.....411

BÖLÜM 18

BİTKİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE AGROEKOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇANDAR, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur ŞAVKAN.....449

BÖLÜM 19

KANATLI HAYVAN BESLEMEDE DOĞAL YEM KATKI MADDELERİ: FİTOBİYOTİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇAYAN.....471

BÖLÜM 20

PEYZAJ PLANLAMA VE TASARIM KAVRAMLARINA GENEL BAKIŞ

Dr. Derya DURAN GÖKALP.....501

BÖLÜM 21

BİTKİ FENOLOJİ MODELLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Sebahattin YILMAZ

Zir. Yük. Müh. Kadir Aytaç ÖZAYDIN.....513

BÖLÜM 22

MEYVE AĞAÇLARINDA KURAKLIK STRESİNE KARŞI FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER ADAPTASYON MEKANİZMALARI İLE ENTEGRE ISLAH VE YÖNETİM STRATEJİLERİ

Dr. Kenan ÇELİK.....543

BÖLÜM 23

TÜRKİYE KARPUZ SEKTÖRÜNDE DÖNÜŞÜM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARAYIŞI

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI.....571

BÖLÜM 24

ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE BİTKİ FİZYOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİ MEKANİZMALARI

Dr. Mehmet Ali KARGICAK.....593

BÖLÜM 25

KARPUZ (*Citrullus lanatus*) YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KURAKLIK STRESİNİN ETKİLERİ: MEKANİZMALAR, ÇEŞİT FARKLILIKLARI VE YÖNETİM STRATEJİLERİ

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI.....629

BÖLÜM 26

AKILLI TARIMDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS): UYGULAMA ALANLARI VE KRİTİK ROLÜ

Deniz Uğur GÜZEL.....655

ÖNSÖZ

Değerli Okuyucular,

21. yüzyıl, doğa ve tarım bilimlerinde yalnızca teknik değil aynı zamanda etik, ekolojik ve küresel ölçekte bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. İklim krizinin etkileri, biyolojik çeşitlilik kaybı, gıda güvenliği sorunları ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı, günümüz bilim insanlarının karşı karşıya olduğu en büyük meydan okumalardandır. Bu süreçte fen bilimleri, tarım, orman ve su ürünleri bilimleri disiplinleri, yalnızca akademik değil; aynı zamanda toplumsal ve çevresel sorumluluk taşıyan alanlar hâline gelmiştir.

Elinizdeki bu kitap, bu sorumluluk bilinciyle hazırlanmış; doğa bilimlerinin farklı alt disiplinlerinde yürütülen güncel bilimsel araştırmaları ve metodolojik yaklaşımları bir araya getirmeyi amaçlamıştır. “Tarım ve Doğa Bilimlerinde Güncel Metodolojiler” başlığını taşıyan bu eser, alanında uzman akademisyenlerin katkılarıyla oluşturulmuş bölümlerden oluşmaktadır. Her bir bölüm, yalnızca kuramsal bilgiyi aktarmakla kalmayıp; saha deneyimlerine, laboratuvar uygulamalarına ve yeni teknolojilere dayalı çözüm önerileri de sunmaktadır.

Bu çalışmanın, araştırmacılara, akademisyenlere ve ilgili sektör paydaşlarına güncel bilimsel veriler ışığında katkı sunacağına inanıyoruz. Aynı zamanda doğa ve insan arasındaki dengeyi önceleyen, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen yeni nesil araştırmalara ilham vermesini diliyoruz.

Bu eserin ortaya çıkmasında emeği geçen tüm yazarlarımıza, editörlerimize ve destek verenlere teşekkür eder; kitabın bilim dünyasına faydalı olmasını temenni ederiz.

Saygılarımızla,

Ağustos 2025

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüde Alev ATEŞ

BÖLÜM 1

EPİGENETİK HAFIZANIN TEMELLERİ BİTKİLERDE BİLİŞ, BELLEK VE NESİLLERÜSTÜ ADAPTASYONUN MOLEKÜLER DİLİ

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN¹

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA²

Doç. Dr. Cüneyt UYAK³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763338>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-0349-3846, adnandogan@yyu.edu.tr

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-1081-428, a.kazankaya@ahievran.edu.tr

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-6101-6845, cuneytuyak@yyu.edu.tr

GİRİŞ

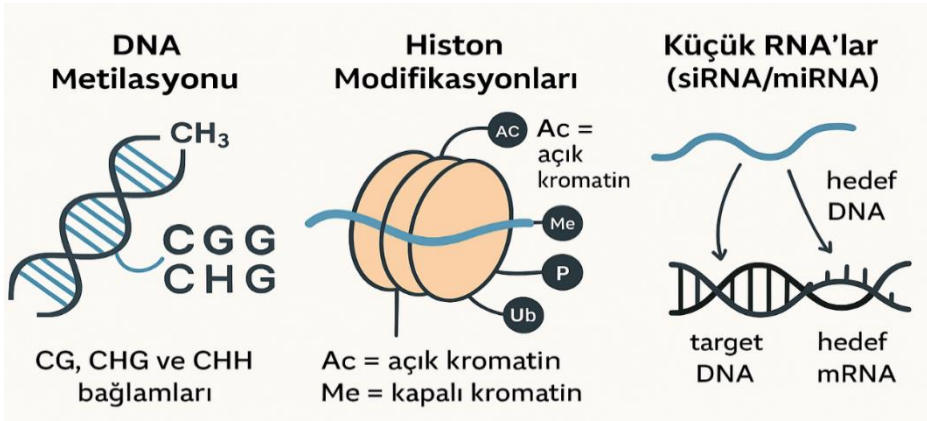
Bitkiler, çevresel değişimlere karşı geliştirdikleri adaptif esneklik sayesinde durağan yaşam biçimlerine rağmen yüksek düzeyde çevresel uyum gösterebilen organizmalardır. Bu esneklik, gen ekspresyonunun yalnızca transkripsiyon faktörleriyle değil, aynı zamanda kromatin yapısının yeniden düzenlenmesiyle şekillenmesini içeren epigenetik mekanizmalarla sağlanmaktadır (Grafı ve Ohad, 2013). DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve küçük RNA'lara dayalı düzenleme biçimleri, bitki hücrelerinde gen ekspresyonunun geçici veya kalıcı olarak düzenlenmesini mümkün kılarak çevresel uyarılara yanıt üretmenin yanı sıra, bu yanıtların moleküler düzeyde “hatırlanmasını” da olanaklı kılar (van Zanten vd., 2010; Pecinka vd., 2010). Özellikle *Arabidopsis thaliana* modelinde, çevresel sinyallerin ışığında gerçekleşen geniş ölçekli kromatin yeniden yapılanmaları, gelişimsel faz geçişleri ve stres koşullarına karşı fizyolojik uyum süreçlerinin temelini oluşturmaktadır (van Zanten vd., 2012). Düşük ışık, sıcaklık stresi ve biyotik etmenler gibi uyarılar, heterokromatin bölgelerinde gözlenen belirgin kromomer gevşemeleriyle birlikte, genetik olarak baskılanmış transpozonların yeniden aktive olmasına ve kromatin kompaksiyonunun yeniden yapılandırılmasına neden olabilmektedir (Tittel-Elmer vd., 2010; Luna vd., 2012). Bu yapısal değişimler yalnızca hücresel düzeyde geçici yanıtlar üretmekle kalmaz, aynı zamanda epigenetik hafıza oluşumu aracılığıyla sonraki nesillerde de etkili olabilecek moleküler izler bırakabilir (Sano ve Kim, 2013). Bu bağlamda, epigenetik hafıza olgusu bitkilerde bilişsel benzeri süreçlerin (quasi-cognitive responses), genetik olmayan ancak kalıtılabilir karakterlerin ortaya çıkmasında anahtar rol oynar. Söz konusu hafıza, gelişimsel faz geçişlerinde (örneğin çiçeklenme zamanı: FLC lokusunun epigenetik baskılanması) (Zografou ve Turck, 2013) veya tohum dinlenmesi gibi fizyolojik süreçlerde belirginleşmektedir (van Zanten vd., 2011). Bu derleme, epigenetik hafızanın moleküler temellerini, çevresel sinyallerle nasıl şekillendiğini ve bu hafızanın nesiller üstü kalıtım ve bitkisel uyum süreçlerindeki yerini bütüncül bir bakış açısıyla tartışmayı amaçlamaktadır.

1. EPİGENETİK KAVRAMI VE BİLİMSEL ARKA PLANI

Bu bölümde, epigenetiğin temel tanımı ve gen ifadesini düzenleyen başlıca moleküler mekanizmalar ele alınacaktır. Bitkilerde gözlemlenen karmaşık adaptasyon ve bellek süreçlerinin anlaşılması için bu temel mekanizmaların kavranması kritik öneme sahiptir. Epigenetik, genetik dizilimde bir değişiklik olmaksızın gen ifadesindeki kalıtsal değişiklikleri inceleyen bilim dalıdır. Bu değişiklikler, çevresel faktörlere yanıt olarak ortaya çıkabilir ve bitkilerin stres koşullarına adaptasyonunda önemli bir rol oynar. Epigenetik mekanizmalar, genlerin "açılıp kapanmasını" sağlayarak, hücre tipine özgü gen ifadesini ve organizmanın gelişimini düzenlerler (Grafi ve Ohad, 2013).

1.1. DNA Metilasyonu: Gen İfadesinin Kalıcı Olarak İşaretlenmesi

DNA metilasyonu, genellikle sitozin bazının 5. karbon atomuna bir metil grubunun (CH₃) eklenmesiyle karakterize edilen ve gen ifadesinin susturulmasında merkezi bir rol oynayan önemli bir epigenetik modifikasyondur. Bitkilerde, metilasyon sitozin nükleotidlerinin üç farklı bağlamında meydana gelebilir: CG, CHG ve CHH (H burada A, T veya C'yi temsil eder). Bu bağlamların her biri, farklı metiltransferaz enzim aileleri tarafından hedeflenir ve metilasyon kalıpları, gen ifadesinin yanı sıra transpozonların ve tekrar dizilerinin susturulmasında da önemli rol oynar. Özellikle, bitkilerde DNA metilasyonu, gelişimsel süreçlerin düzenlenmesinde, çevresel streslere yanıtta ve genomik kararlılığın korunmasında hayati bir epigenetik işaret olarak görev yapar (Şekil 1). Bu modifikasyon, genellikle gen promotör bölgelerinde yoğunlaştığında transkripsiyonel gen susturulmasına (TGS) yol açar ve bitkinin çevresel değişikliklere adaptasyonunda uzun süreli değişiklikleri kodlayabilir (Grafi ve Ohad, 2013). Jacobsen ve Law (2010)'ın belirttiği gibi, bitkilerdeki DNA metilasyonu dinamikleri, memelilerden farklılık gösterir ve bitkilere özgü adaptasyon yeteneklerinin temelini oluşturur.



Şekil 1: Temel epigenetik modifikasyonlar.

1.2. Histon Modifikasyonları: Kromatin Yapısını Değiştirerek Genlerin "Açılıp Kapanmasını" Sağlayan Dinamik Etiketler (Asetilasyon, Metilasyon vb.)

Histonlar, DNA'nın etrafını sarak kromatin adı verilen yoğun bir yapı oluşturan proteinlerdir. Histonların N-terminal kuyruklarındaki çeşitli kimyasal modifikasyonlar, kromatinin sıkılığını ve dolayısıyla DNA'ya erişilebilirliğini etkileyerek gen ifadesini düzenler. Bu modifikasyonlar arasında asetilasyon, metilasyon, fosforilasyon, ubikuitinasyon ve sumoylasyon bulunur (Kouzarides, 2007).

Histon Asetilasyonu: Genellikle histon asetiltransferaz (HAT) enzimleri tarafından histon kuyruklarındaki lizin kalıntılarına asetil gruplarının eklenmesiyle gerçekleşir. Bu modifikasyon, kromatin yapısını gevşeterek transkripsiyon faktörlerinin DNA'ya erişimini kolaylaştırır ve gen ifadesini artırır. Histon deasetilaz (HDAC) enzimleri ise asetil gruplarını kaldırarak kromatinin yoğunlaşmasına ve gen susturulmasına neden olur. Bitkilerde, histon asetilasyonu, gelişimsel geçişler, strese yanıtlar ve çiçeklenme zamanlaması gibi süreçlerde önemli roller oynar (Kouzarides, 2007).

Histon Metilasyonu: Histon kuyruklarındaki lizin ve arjinin kalıntılarının metilasyonu, gen ifadesi üzerinde hem aktive edici hem de baskılayıcı etkilere sahip olabilir. Bu etki, metilasyonun gerçekleştiği spesifik amino asit kalıntısına ve metilasyonun derecesine (mono-, di- veya tri-metilasyon) bağlıdır. Örneğin, H3K4me3 (Histon H3'ün 4. lizin kalıntısının üçlü metilasyonu) genellikle aktif genlerle ilişkilendirilirken, H3K9me2/3 ve

H3K27me3 gen susturulmasıyla ilişkilidir (Kouzarides, 2007). Bitkilerde, histon metiltransferazlar (HMT'ler) ve histon demetilazlar (HDM'ler) gibi enzimler, gen ifadesini dinamik olarak ayarlayarak çevresel uyaranlara karşı adaptif yanıtların oluşumuna katkıda bulunur. Özellikle, H3K27me3 modifikasyonu, bitki gelişiminde ve çiçeklenme kontrolünde önemli bir rol oynayan *Polycomb Repressive Complex 2 (PRC2)* tarafından yerleştirilir ve uzun süreli gen susturulmasını sağlar (Jiang ve Berger, 2017). Histon modifikasyonları, bitkilerin çevresel streslere (kuraklık, tuzluluk, soğuk vb.) karşı bellek oluşturmada ve bu belleği nesiller arası aktarmasında kritik bir epigenetik kod olarak işlev görür (Grafı ve Ohad, 2013; Ding vd., 2022).

1.2.1. Kromatin Yeniden Modellemesi: Genomun Üç Boyutlu Yapısının Düzenlenmesi

Kromatin yeniden modellemesi, nükleozomların (DNA'nın histon proteinleri etrafına sarılmasıyla oluşan temel kromatin birimleri) konumlarının değiştirilmesi, çıkarılması veya histon varyantları ile yer değiştirmesi süreçlerini ifade eder. Bu süreçler, ATP'ye bağımlı kromatin yeniden modelleme kompleksleri (örneğin, SWI/SNF, CHD, INO80/SWR1 ailesi) tarafından katalize edilir ve gen ifadesinin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar (Clapier ve Cairns, 2009). Kromatinin bu dinamik yapısı, DNA replikasyonu, transkripsiyon, rekombinasyon ve DNA onarımı gibi temel genetik süreçlere erişilebilirliği kontrol eder (Clapier ve Cairns, 2009). Bitkilerde, kromatin yeniden modelleme kompleksleri, gelişimsel yolların düzenlenmesinde, çevresel stres yanıtlarında ve transkripsiyonel düzenlemede önemli işlevlere sahiptir. Örneğin, SWI/SNF kompleksleri, bitki gelişiminde, abiyotik stres toleransında ve patojen savunmasında rol oynayan genlerin ifadesini etkileyebilir (Archacki vd., 2017). Kromatinin üç boyutlu yapısının yeniden düzenlenmesi, genlerin promotör bölgelerinin uzak regülatör elementlerle (enhancer'lar gibi) etkileşime girmesini sağlar, bu da gen ifadesinin hassas ve koordineli bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanır (Grafı ve Ohad, 2013). Bu mekanizma, bitkilerin değişen çevresel koşullara hızlı ve etkili bir şekilde adapte olabilmesi için temel bir esneklik sağlar.

1.2.2. Kodlamayan RNA'lar (ncRNA): Gen İfadesini Hedefli Bir Şekilde Düzenleyen RNA Molekülleri

Kodlamayan RNA'lar (ncRNA'lar), protein kodlamayan ancak gen ifadesinin düzenlenmesinde önemli rol oynayan RNA molekülleridir. Bu geniş RNA sınıfı, mikroRNA'lar (miRNA), küçük enterferans RNA'lar (siRNA), uzun kodlamayan RNA'lar (lncRNA) ve piwi-etkileşimli RNA'lar (piRNA) gibi çeşitli tipleri içerir. Bitkilerde ncRNA'lar, hem transkripsiyonel düzeyde (örneğin, DNA metilasyonunu ve histon modifikasyonlarını yönlendirerek) hem de transkripsiyon sonrası düzeyde (örneğin, mRNA yıkımını veya translasyonel baskılamayı tetikleyerek) gen ifadesini düzenleyebilir (Grafı ve Ohad, 2013; Bologna ve Voinnet, 2014).

MikroRNA'lar (miRNA): Yaklaşık 20-24 nükleotit uzunluğunda olan miRNA'lar, hedef mRNA'ların yıkımını veya translasyonel baskılanmasını tetikleyerek gen ifadesini düzenler. Bitkilerde, miRNA'lar gelişimsel süreçler (yaprak gelişimi, kök büyümesi, çiçeklenme zamanlaması), besin alımı ve strese yanıtlar gibi çeşitli biyolojik yollarda önemli rol oynar (Jones-Rhoades vd., 2006). Örneğin, bitki gelişiminde önemli olan belirli transkripsiyon faktörlerinin seviyelerini düzenleyerek morfolojik değişikliklere katkıda bulunurlar.

Küçük Enterferans RNA'lar (siRNA): Çoğunlukla 21-24 nükleotit uzunluğunda olan siRNA'lar, çift sarmallı RNA'lardan veya tek sarmallı RNA prekürsörlerinden üretilir. Bitkilerde siRNA'lar, özellikle transpozonların ve tekrar dizilerinin susturulmasında, virüs savunmasında ve transkripsiyonel gen susturulmasını (TGS) yönlendirmede etkilidir (Bucher vd., 2012). RNA-bağımlı DNA metilasyonu (RdDM) yoluyla, siRNA'lar spesifik genomik bölgelerin metilasyonunu yönlendirerek kalıcı gen susturulmasına katkıda bulunur. Bu durum, bitkilerin genomik bütünlüğünü koruması ve stres koşullarına epigenetik yanıtlar geliştirmesi açısından hayati öneme sahiptir (Matzke ve Moshier, 2014).

Uzun Kodlamayan RNA'lar (lncRNA): 200 nükleotitten daha uzun olan lncRNA'lar, gen ifadesinin düzenlenmesinde çeşitli mekanizmalarla görev alır. Bunlar arasında kromatin yeniden modellenmesinin yönlendirilmesi, transkripsiyonel aktiviteyi etkileme, mRNA stabilitesini veya translasyonunu düzenleme ve diğer RNA'lar için sünger görevi görme gibi işlevler bulunur (Mercer vd., 2009). Bitkilerde, lncRNA'ların stres yanıtları, çiçeklenme

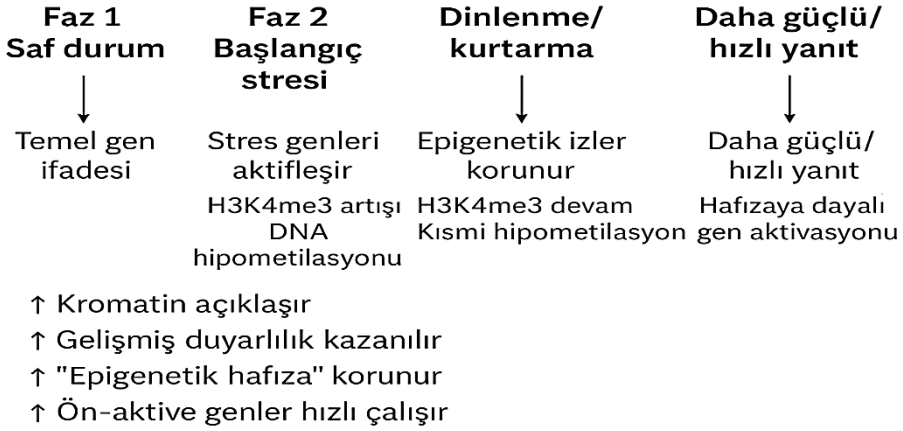
zamanlaması ve gelişimsel süreçler üzerindeki etkileri giderek daha fazla anlaşılmaktadır. Örneğin, bazı lncRNA'lar, soğuk adaptasyonu gibi çevresel uyaranlara verilen epigenetik yanıtların modülatörleri olarak işlev görebilir (Heo ve Sung, 2011). Kodlamayan RNA'lar, bitkilerin epigenetik düzenleme ağında karmaşık etkileşimler kurarak, gen ifadesinin hassas kontrolünü ve çevresel değişikliklere karşı adaptif esnekliği sağlayan önemli bileşenlerdir (Grafı ve Ohad, 2013).

2. EPİGENETİK HAFIZAYI TETİKLEYEN MEKANİZMALAR

Bu bölüm, bitkilerde epigenetik hafızanın nasıl oluştuğunu ve bu hafızanın farklı çevresel uyaranlara karşı bitkinin yanıtını nasıl şekillendirdiğini inceleyecektir. Özellikle, bitkilerin bir önceki deneyimlerini "hatırlamasını" sağlayan moleküler yollara odaklanılacaktır.

2.1. Stres Belleği ve Epigenetik İşaretlerin Rolü

Bitkiler, çevresel stres faktörlerine (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk, patojen saldırıları vb.) maruz kaldıklarında, sadece mevcut strese yanıt vermekle kalmaz, aynı zamanda bu deneyimleri "hatırlayarak" gelecekteki stres olaylarına daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verebilirler. Bu duruma stres belleği adı verilir ve epigenetik mekanizmalar bu belleğin oluşumunda ve sürdürülmesinde merkezi bir role sahiptir (Grafı ve Ohad, 2013). Stres belleği, genellikle DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve kodlamayan RNA'lar gibi epigenetik işaretlerin hedef genlerin promotör veya gen gövdesi bölgelerinde kalıcı veya yarı kalıcı değişiklikler yaratmasıyla kurulur. Örneğin, bir stres olayı, belirli genlerin kromatin yapısını gevşeterek veya sıkılaştırarak gen ifadesi kalıplarını değiştirebilir ve bu değişiklikler stres ortadan kalktıktan sonra bile bir süre devam edebilir (Şekil 2), (Crisp vd., 2016). Bu epigenetik değişiklikler, daha sonraki stres maruziyetlerinde ilgili genlerin daha hızlı veya daha güçlü bir şekilde aktive edilmesini sağlar, bu da bitkinin hayatta kalma şansını artırır (Kinoshita ve Seki, 2014).



Şekil 2: Stres belleği/hazırlama mekanizması.

2.2. Örnek Vaka Analizi: Sistemik Kazanılmış Direnç (SAR)

Sistemik Kazanılmış Direnç (SAR), bitkinin bir patojene karşı lokalize bir enfeksiyona yanıt olarak geliştirdiği ve bitkinin tamamında geniş spektrumlu patojenlere karşı koruma sağlayan bir direnç formudur (Durrant ve Dong, 2004). SAR, bitkilerde uzun süreli bir bağışıklık belleği örneğidir ve epigenetik mekanizmaların bu belleğin oluşumunda ve sürdürülmesinde önemli olduğu düşünülmektedir. SAR'ın indüklenmesinde salisilik asit (SA) sinyal yolu merkezi bir rol oynar ve bu yolak, downstream savunma genlerinin ekspresyonunu epigenetik olarak düzenleyebilir (Grafi ve Ohad, 2013). Bitkilerin patojenlerle ilk karşılaşması, savunma genlerinin promotör bölgelerinde histon asetilasyonu veya DNA demetilasyonu gibi epigenetik değişikliklere yol açabilir. Bu değişiklikler, ilk enfeksiyon ortadan kalktıktan sonra bile devam edebilir ve bitkiyi gelecekteki saldırılara karşı "hazırlıklı" hale getirebilir (Jaskiewicz vd., 2011). Tekrarlayan patojen saldırılarında, bu önceden ayarlanmış epigenetik işaretler sayesinde savunma genleri daha hızlı ve daha güçlü bir şekilde aktive edilerek bitkinin daha etkin bir yanıt vermesi sağlanır. Örneğin, *Arabidopsis thaliana*'da PR-1 geni gibi SAR ile ilişkili genlerin promotör bölgelerindeki histon asetilasyon seviyeleri, ilk patojen maruziyetinden sonra artmakta ve bu artış, patojen temizlendikten sonra bile belirli bir süre korunmaktadır (Jaskiewicz vd., 2011). Bu epigenetik "işaretler", bitkinin geçmiş deneyimlerini hatırlamasına ve gelecekteki tehditlere karşı uyarlanabilirliğinin artırmasına olanak tanır (Grafi ve Ohad, 2013). Bu

epigenetik adaptasyonun, bitkinin hayatta kalma stratejilerinin önemli bir parçası olduğu kabul edilmektedir.

2.3. Çiçeklenme Zamanlaması ve Vernalizasyon: Epigenetik Mekanizmalarla Çevresel Bellek

Çiçeklenme zamanlaması, bitkilerin üreme başarısı için kritik bir fenolojik özelliktir ve çevresel sinyallerle, özellikle soğuk (vernalizasyon) ve gün uzunluğu (fotoperiyodizm) ile sıkı bir şekilde düzenlenir. Bitkiler, uygun çiçeklenme zamanını belirlemek için uzun süreli çevresel koşulları "hatırlamak" zorundadır ve bu bellek, büyük ölçüde epigenetik mekanizmalar aracılığıyla sağlanır (Grafı ve Ohad, 2013).

Vernalizasyon: Birçok bitki türü, çiçeklenmeden önce belirli bir süre soğuk hava koşullarına maruz kalmaya ihtiyaç duyar. Bu süreç, vernalizasyon olarak bilinir ve bitkinin kışın bitmediğini "bilmesini" ve erken çiçeklenerek don riskinden kaçınmasını sağlar (Dennis ve Peacock, 2007). Vernalizasyon, merkezi olarak *FLOWERING LOCUS C (FLC)* geninin epigenetik susturulması yoluyla işler. *FLC*, çiçeklenmeyi baskılayan bir gen olup, soğuk maruziyeti sırasında kromatinin epigenetik olarak yeniden modellenmesi ile susturulur (Mylne vd., 2004). Soğuk maruziyeti sırasında, *FLC* geninin kromatin yapısında, özellikle H3K27me3 gibi represif histon modifikasyonlarının birikimi gerçekleşir. Bu modifikasyonlar, *Polycomb Repressive Complex 2 (PRC2)* gibi kompleksler tarafından yerleştirilir ve soğuk dönemi boyunca ve hatta bitki ısınan koşullara geri döndükten sonra bile *FLC*'nin susturulmasını sürdürür (Sung ve Amasino, 2004; Scheid, 2013). Bu kalıcı susturulma, bitkinin vernalizasyon gereksinimini karşıladığını ve artık çiçeklenmeye hazır olduğunu gösteren bir "epigenetik bellek" görevi görür. Soğuk sinyalinin kaldırılmasından sonra bile *FLC* susturulması devam eder, bu da bitkinin kış deneyimini "hatırlamasını" ve ilkbaharda uygun zamanda çiçeklenmesini sağlar. Bu mekanizma, bitkilerin mevsimsel değişikliklere uyum sağlayarak üreme başarılarını optimize etmelerini sağlayan güçlü bir epigenetik kontrol örneğidir (Grafı ve Ohad, 2013; Crevillén ve Dean, 2015).

2.4. Çevresel Stres ve Transkripsiyonel Bellek: Gen İfadesi Kalıplarındaki Uzun Süreli Değişiklikler

Bitkiler, kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık veya soğuk gibi çevresel stres faktörlerine maruz kaldıklarında, sadece anlık fizyolojik yanıtlar vermekle kalmaz, aynı zamanda bu stres deneyimlerini moleküler düzeyde "kaydederler". Bu kayıt, "transkripsiyonel bellek" olarak adlandırılır ve bitkinin gen ifadesi kalıplarında uzun süreli değişikliklerle kendini gösterir (Grafı ve Ohad, 2013). Transkripsiyonel bellek, genellikle epigenetik düzenlemeler aracılığıyla oluşturulur ve sürdürülür; bu da, geçmiş strese maruz kalmış bitkilerin, aynı strese tekrar maruz kaldıklarında, ilk kez maruz kalan bitkilere göre daha hızlı ve/veya daha güçlü bir transkripsiyonel yanıt vermesini sağlar (Avramova, 2015). Bu bellek mekanizması, özellikle stresle ilişkili genlerin kromatin yapısında meydana gelen değişikliklerle ilişkilidir. Örneğin, bir bitki kuraklık stresine maruz kaldığında, ilgili genlerin promotör bölgelerinde histon asetilasyon seviyeleri artabilir veya DNA metilasyon kalıpları değişebilir. Bu epigenetik işaretler, stres ortadan kalktıktan sonra bile belirli bir süre korunabilir. Dolayısıyla, bitki aynı kuraklık stresine tekrar maruz kaldığında, önceden ayarlanmış kromatin yapısı sayesinde, stresle ilişkili genler daha hızlı transkribe edilebilir ve bitkinin strese karşı daha dayanıklı hale gelmesi sağlanır (Kinoshita ve Seki, 2014; Ding vd., 2022). Bu durum, "epigenetik hafıza"nın adaptif bir avantaj sağladığını ve bitkinin çevresel değişimlere karşı direncini artırdığını göstermektedir (Grafı ve Ohad, 2013). Transkripsiyonel belleğin oluşumunda, genlerin "bölgeye özgü" bir şekilde epigenetik olarak işaretlenmesi önemlidir. Bu işaretler, genin aktif durumunu veya susturulmuş durumunu kodlayabilir. Örneğin, bazı stresle ilişkili genler, stres sırasında aktif hale gelir ve kromatinleri gevşer. Stres giderildikten sonra bu genler kapanabilir, ancak kromatinleri kısmen gevşek kalmaya devam edebilir, böylece "hazır" bir durumda beklerler. Bu durum, "epigenetik hazırlık" olarak da adlandırılır ve bitkinin hızlı tepki vermesini sağlar (Crisp vd., 2016). Bu karmaşık epigenetik düzenlemeler, bitkinin yaşamı boyunca edindiği deneyimleri biriktirmesine ve çevresel bellek oluşturmaya olanak tanır.

3. HAYATTA KALMA İÇİN EPİGENETİK SAVUNMA VE UYARLANABİLİRLİK STRATEJİLERİ

Bu bölüm, bitkilerin değişen ve genellikle zorlu çevresel koşullara karşı hayatta kalma ve uyum sağlama yeteneklerinde epigenetik mekanizmaların nasıl merkezi bir rol oynadığını inceleyecektir. Bitkiler, genetik kodlarını değiştirmeden, epigenetik işaretleri kullanarak stres faktörlerine karşı savunma hatlarını güçlendirir ve gelecek nesillerin adaptasyon potansiyelini artırır.

3.1. Abiyotik Streslere Yanıt: Kuraklık, Tuzluluk ve Sıcaklık Stresi Yönetimi

Bitkiler, kuraklık, yüksek tuzluluk, aşırı sıcaklık ve soğuk gibi abiyotik stres faktörleriyle sürekli olarak karşılaşır. Bu stresler, bitki büyümesini ve verimini önemli ölçüde sınırlar. Ancak bitkiler, epigenetik düzenlemeler aracılığıyla bu streslere karşı uyarlanabilir yanıtlar geliştirir ve bu yanıtları bir "bellek" olarak tutabilirler (Çizelge 1), (Grafı ve Ohad, 2013).

Kuraklık Stresi: Kuraklık, bitkiler için en yıkıcı abiyotik streslerden biridir. Bitkiler, kuraklık koşullarına yanıt olarak, su kaybını azaltan, kök büyümesini artıran veya osmolit birikimi yapan genlerin ifadesini epigenetik olarak düzenleyebilir (Grafı ve Ohad, 2013). Örneğin, kuraklık stresi, DNA metilasyon kalıplarında ve histon modifikasyonlarında değişikliklere yol açarak, stres yanıt genlerinin transkripsiyonunu artırabilir veya baskılayabilir (Zhu vd., 2011). Tekrarlanan kuraklık stresi maruziyeti, bitkinin "kuraklık belleği" geliştirmesine neden olabilir; bu, gen promotörlerindeki kalıcı epigenetik işaretler sayesinde, gelecekteki kuraklık olaylarına daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verilmesini sağlar (Kinoshita ve Seki, 2014; Ding vd., 2022). Bu epigenetik değişiklikler, su kullanım verimliliğini artıran veya zararlı oksijen radikallerini detoksifiye eden genlerin ekspresyonunu optimize edebilir.

Tuzluluk Stresi: Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerde osmotik stres ve iyon toksisitesine yol açar. Bitkiler, tuz toleransını artırmak için, iyon taşıyıcıları veya detoksifikasyon enzimleri gibi genlerin ifadesini epigenetik olarak düzenler (Grafı ve Ohad, 2013). DNA metilasyon seviyeleri ve histon asetilasyon/metilasyon kalıpları, tuzluluk stresine yanıt olarak önemli ölçüde değişebilir ve bu değişiklikler, bitkinin strese adaptasyon yeteneğini geliştirir (Karan vd., 2012). Örneğin, *Arabidopsis thaliana*'da tuz stresine yanıt veren

bazı genlerin DNA metilasyon seviyeleri düşerken, bazı genlerin histon asetilasyon seviyeleri artabilir, bu da bitkinin hayatta kalma şansını artıran genetik programları aktive eder.

Çizelge 1: Abiyotik strese yanıt olarak epigenetik değişikliklere örnekler

Stres Türü	Başlıca Epigenetik Değişiklikler	Fizyolojik/Moleküler Etki
Kuraklık	- DNA hipometilasyonu (özellikle promotor bölgelerinde) - H3K4me3 ve H3K9ac artışı - sRNA üretiminde artış	- Su kullanım verimliliğinde artış - ABA (abzistik asit) duyarlılığı - Antiinflatuar genlerin aktivasyonu
Tuzluluk (NaCl)	- Transpozonlarda CHH metilasyonu - H3K9me2 birikimi - siRNA aracılı RdDM aktivasyonu	- Sodyum dışlama mekanizmalarının güçlenmesi - Osmotik stres genlerinin epigenetik olarak aktive edilmesi
Yüksek Sıcaklık	- H3K27me3 azalması - H3K4me3 artışı - HSP genlerinde promotor gevşemesi	- Isı şok proteinlerinin (HSP) hızlı indüksiyonu - Termal toleransın artması
Soğuk (düşük sıcaklık)	- DNA metilasyonunda artış (genomun genelinde) - H3K27me3 birikimi (bazı gelişim genlerinde) - miRNA profilinde değişim	- Soğuk tolerans genlerinin bastırılması veya aktive edilmesi - Vernalizasyon mekanizmalarının epigenetik düzenlemesi

Sıcaklık Stresi (Sıcak ve Soğuk): Aşırı sıcak veya soğuk da bitkiler için önemli stres faktörleridir. Bitkiler, stres proteinleri (örn. ısı şoku proteinleri) veya antifriz proteinleri gibi genlerin ifadesini epigenetik yollarla düzenleyerek bu sıcaklık dalgalanmalarına uyum sağlar (Grafı ve Ohad, 2013). Soğuk stresi altında, özellikle histon H3K27me3 gibi represif işaretler, çiçeklenmeyi geciktiren genlerin susturulmasında rol oynar (vernalizasyon belleği). Diğer yandan, sıcaklık stresi, bitkinin stresle başa çıkma mekanizmalarını hızlı bir şekilde devreye sokmak için kromatinin yeniden modellenmesini ve gen ifadesi kalıplarının değiştirilmesini tetikleyebilir (Lamke ve Baurle, 2017). Bu epigenetik mekanizmalar, bitkilerin ekstrem sıcaklık koşullarında hayatta kalmalarını ve gelişimlerini sürdürmelerini sağlar. Genel olarak, bitkilerde abiyotik streslere karşı epigenetik yanıtlar, gen ekspresyonunun dinamik ve uyarlanabilir bir şekilde kontrol edilmesini sağlar, bu da bitkilerin zorlu çevresel koşullara karşı toleranslarını artırır ve hayatta kalma stratejilerini

optimize eder (Grafi ve Ohad, 2013). Bu epigenetik mekanizmalar, çevresel stresle karşılaşan bitkilerde uzun süreli adaptasyonlar sağlayarak, bir nevi "epigenetik hazırlık" durumu yaratır.

3.2. Biyotik Streslere Yanıt: Patojen ve Zararlı Savunması ve Belleği

Bitkiler, bakteriler, virüsler, mantarlar ve böcekler gibi biyotik stres faktörleriyle sürekli bir mücadele halindedir. Bu saldırılara karşı koymak için karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir ve epigenetik düzenlemeler bu savunma stratejilerinin etkinliğinde ve kalıcılığında önemli bir rol oynar (Grafi ve Ohad, 2013). Bitkiler, geçmiş patojen saldırılarını "hatırlayarak" gelecekteki tehditlere karşı daha hızlı ve güçlü bir yanıt verebilirler, bu da indüklenmiş direnç ve epigenetik bellek olarak bilinir.

Patojen Savunması ve Sistemik Kazanılmış Direnç (SAR): Daha önce de belirtildiği gibi, Sistemik Kazanılmış Direnç (SAR), bitkinin bir patojenle ilk karşılaşmasından sonra geliştirdiği ve bitki genelinde geniş spektrumlu direnç sağlayan bir mekanizmadır (Durrant ve Dong, 2004). SAR'ın indüksiyonu, salisilik asit (SA) sinyal yolağı aracılığıyla gerçekleşir ve bu süreç, epigenetik değişikliklerle desteklenir. İlk enfeksiyon, savunma genlerinin (örn. PR genleri) promotör bölgelerinde histon asetilasyonunda artışa veya DNA metilasyonunda düşüşe yol açabilir (Jaskiewicz vd., 2011). Bu epigenetik "işaretler", bitki patojenden arındıktan sonra bile genler üzerinde kalabilir ve genleri "hazır" duruma getirir (Crisp vd., 2016). Bu durum, bitkinin ikinci bir saldırıda savunma genlerini daha hızlı ve güçlü bir şekilde aktive etmesini sağlar, bu da daha etkili bir bağışıklık yanıtıyla sonuçlanır (Kinoshita ve Seki, 2014; Conrath, 2011). Bu epigenetik bellek, bitkinin patojenlerle etkileşimlerinde uyarlanabilirliğini ve hayatta kalma şansını artırır.

Böcek Zararlılarına Yanıt: Bitkiler, böcek saldırılarına karşı da epigenetik mekanizmaları kullanarak savunma geliştirirler. Böcek zararı, bitkilerde jasmonik asit (JA) ve etilen (ET) gibi sinyal yollarını tetikler ve bu da doğrudan veya dolaylı savunma genlerinin ekspresyonunu indükler (Howe ve Jander, 2008). DNA metilasyonundaki değişiklikler ve histon modifikasyonları, böcek saldırısına yanıt olarak aktive olan genlerin ifadesini modüle edebilir. Örneğin, bazı çalışmalar, böcek zararının, ilgili genlerin kromatin erişilebilirliğini değiştirerek bitkinin sonraki saldırılara karşı daha

"hazırlıklı" olmasını sağlayan epigenetik izler bırakabileceğini öne sürmektedir (Ramirez-Prado vd., 2018). Bu epigenetik adaptasyonlar, bitkinin sürekli tehdit altında olduğu doğal ortamlarda hayatta kalması için kritik öneme sahiptir. Genel olarak, bitkilerin biyotik streslere karşı epigenetik savunma stratejileri, gen ifadesinin dinamik bir şekilde düzenlenmesini ve edinilmiş direncin kalıcı bir hafıza olarak tutulmasını sağlar. Bu sayede bitkiler, genetik kodlarını değiştirmeden, yaşadıkları deneyimlerden öğrenerek adaptif yeteneklerini geliştirirler (Grafı ve Ohad, 2013).

3.3. Epigenetik Modifikasyonlar ve Bitki Gelişimindeki Rolü: Çevresel Sinyallerin Entegrasyonu

Epigenetik modifikasyonlar, sadece strese yanıt ve adaptasyon mekanizmalarında değil, aynı zamanda bitki gelişiminin her aşamasında çevresel sinyalleri entegre ederek kritik rol oynar. Bitkiler, çevrelerindeki ışık, sıcaklık, besin durumu ve mekanik uyarılar gibi birçok sinyali algılar ve epigenetik yollar aracılığıyla bu sinyalleri gen ifadesi programlarına dönüştürürler. Bu entegrasyon, bitkinin optimal büyüme ve gelişim stratejilerini belirlemesine olanak tanır (Grafı ve Ohad, 2013).

Gelişimsel Süreçler ve Çevresel Etkileşim: Tohum çimlenmesinden çiçeklenmeye, organ oluşumundan yaşlanmaya kadar tüm gelişimsel süreçler epigenetik olarak sıkı bir şekilde düzenlenir. Örneğin, filizlenme sırasında ışık sinyali, kloroplast gelişimi ve fotosentez genlerinin aktivasyonu için epigenetik yeniden modellemeyi tetikler (Grafı ve Ohad, 2013). Benzer şekilde, kök gelişimi, lateral kök oluşumu ve besin alımı yolları da epigenetik mekanizmalar aracılığıyla çevresel besin sinyallerine yanıt olarak modüle edilir (Amasino, 2004). Çiçeklenme zamanlaması, vernalizasyon (soğuk maruziyeti) ve fotoperiyodizm (gün uzunluğu) gibi çevresel sinyallerin epigenetik olarak *FLC* geni gibi anahtar düzenleyicileri etkilemesiyle kontrol edilir. Uzun süreli soğuk, *FLC*'nin epigenetik olarak susturulmasına yol açar ve bu susturulma, sıcaklıklar yükseldikten sonra bile devam ederek bitkinin doğru zamanda çiçek açmasını sağlar (Dennis ve Peacock, 2007; Sung ve Amasino, 2004). Bu, bitkinin mevsimsel değişikliklere uyum sağlamak için çevresel deneyimlerini nasıl "hafızaya" aldığına dair klasik bir örnektir.

Fenotipik Plastisite: Epigenetik düzenlemeler, bitkilerin aynı genotip ile farklı çevresel koşullarda farklı fenotipler (örneğin, farklı büyüme alışkanlıkları

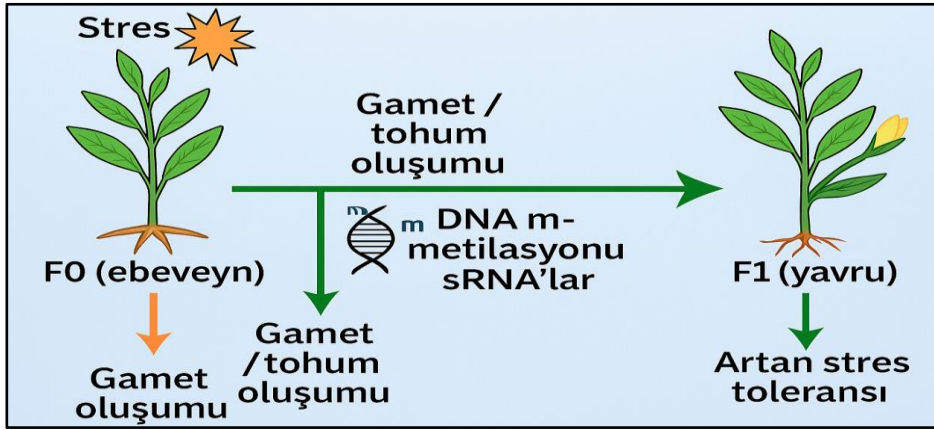
veya yaprak morfolojileri) sergilemesine olanak tanıyan fenotipik plastisitenin temelini oluşturur (Grafi ve Ohad, 2013). Örneğin, bitkilerin ışık seviyesindeki değişikliklere veya toprak besin maddelerindeki farklılıklara yanıt olarak büyüme formlarını değiştirmeleri, kısmen epigenetik mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir. Bu epigenetik değişiklikler, bitkilerin dinamik çevrelerde hayatta kalma ve başarılı bir şekilde üreme yeteneklerini artıran esnek adaptasyonlar sağlar (Nicotra vd., 2010). Dolayısıyla, epigenetik modifikasyonlar, bitkinin çevresel bilgiyi alıp işleyerek kendi gelişimsel yolunu optimize etmesi için kritik bir ara yüz görevi görür.

4. EDİNİLEN STRATEJİLERİN KALITIMI: EPIGENETİK HAFIZANIN NESİLLERARASI AKTARIMI

Bitkiler, çevresel deneyimlerinden edindikleri uyarlanabilir stratejileri sadece kendi yaşam süreleri boyunca kullanmakla kalmaz, aynı zamanda bu bilgiyi epigenetik mekanizmalar aracılığıyla sonraki nesillere aktarabilirler. Bu nesiller arası epigenetik kalıtım, genetik dizilimde bir değişiklik olmaksızın, çevresel değişikliklere hızlı adaptasyon için önemli bir yol sunar.

4.1. Transgenerasyonel Epigenetik Kalıtım Mekanizmaları: Bitki Türlerinde Örnekler

Transgenerasyonel epigenetik kalıtım (TGEI), ebeveyn neslinin çevresel uyaranlara maruz kalması sonucu ortaya çıkan epigenetik değişikliklerin, germ hücreleri aracılığıyla veya doğrudan bitkinin somatik hücrelerinde meydana gelen değişikliklerin tohumlara aktarılmasıyla sonraki nesillere geçmesidir (Grafi ve Ohad, 2013). Bu aktarım, genellikle DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve küçük RNA'lar (sRNA'lar) gibi ana epigenetik işaretler aracılığıyla gerçekleşir (Rapp ve Wendel, 2005; Jablonka ve Raz, 2009).



Şekil 3: Nesiller arası epigenetik kalıtım yolu.

DNA Metilasyonu: DNA metilasyonundaki değişiklikler, transgenerasyonel kalıtımın en iyi belgelenmiş mekanizmalarından biridir. Ebeveyn bitkinin stres koşullarına maruz kalması, genomda belirli bölgelerde yeni metilasyon kalıplarının oluşmasına veya mevcut kalıpların değişmesine yol açabilir. Bu değişiklikler, mayoz bölünmesi sırasında korunabilir ve tohumlar aracılığıyla F1 (birinci fili) ve hatta F2 (ikinci fili) nesillerine aktarılabilir (Şekil 3), (Grafi ve Ohad, 2013; Verhoeven vd., 2010). Özellikle, transpozonların ve tekrar dizilerinin susturulmasında rol oynayan CHH ve CHG metilasyon bağlamları, stres koşulları altında dinamik değişiklikler gösterebilir ve bu değişiklikler, nesiller arası aktarımla gen ifadesi üzerinde uzun süreli etkiler yaratabilir (Meyer, 2015). Örneğin, kuraklık veya tuz stresi altında büyüyen ebeveyn bitkilerde gözlemlenen DNA metilasyon değişikliklerinin, yavruların strese karşı artan toleransı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Kinoshita ve Seki, 2014).

Histon Modifikasyonları: Histon modifikasyonları, kromatin yapısını etkileyerek gen ifadesini düzenler ve epigenetik kalıtımda da rol oynayabilir. Her ne kadar DNA metilasyonu kadar doğrudan kalıtım mekanizması olarak görülme de, histon modifikasyonları DNA metilasyonu ile etkileşim içinde çalışarak epigenetik işaretlerin stabilitesini ve aktarımını etkileyebilir (Grafi ve Ohad, 2013; Allis ve Jenuwein, 2016). Bitkilerde, çiçeklenme zamanlamasının vernalizasyon yoluyla kontrolünde rol oynayan *FLC* geninin H3K27me3 modifikasyonu, soğuk maruziyetini izleyen nesillerde bile korunabilir, bu da

çevresel belleğin nesiller arası aktarımına bir örnektir (Dennis ve Peacock, 2007).

Küçük RNA'lar (sRNA'lar): Küçük RNA'lar, özellikle siRNA'lar, bitkilerde RNA'ya bağımlı DNA metilasyonu (RdDM) yoluyla epigenetik kalıtımın önemli araçlarıdır. Ebeveyn bitkide üretilen sRNA'lar, tohumlara aktarılabilir ve sonraki nesillerde spesifik genomik bölgelerde DNA metilasyonunu yönlendirerek gen ifadesini düzenleyebilir (Grafı ve Ohad, 2013; Matzke ve Mosher, 2014). Bu mekanizma, bitkilerin transpozonları susturmasında ve genomik bütünlüğü korumasında kritik öneme sahiptir. Ayrıca, çevresel streslere yanıt olarak üretilen sRNA'ların, bu stres yanıtlarını sonraki nesillere aktararak adaptif avantaj sağlaması da mümkündür (Quadrana ve Colot, 2016). Örneğin, patojen saldırısı sonrası üretilen bazı sRNA'ların, bitkinin savunma genlerinin epigenetik durumunu değiştirerek sonraki nesillerin hastalıklara karşı daha dirençli olmasını sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu mekanizmalar, bitkilerin yaşadıkları çevresel deneyimlerden "öğrenerek" elde ettikleri bilgiyi sonraki nesillere aktarmalarına olanak tanır, bu da bitki popülasyonlarının hızla değişen çevresel koşullara uyum sağlama yeteneğini artırır (Grafı ve Ohad, 2013).

4.2. Çevresel Stresin Nesiller Arası Etkileri ve Evrimsel Önem

Bitkilerde transgenerasyonel epigenetik kalıtım, sadece tekil genlerin ifadesini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda bitki popülasyonlarının çevresel değişikliklere karşı uzun vadeli adaptasyon kapasitelerini de şekillendirir. Ebeveynlerin deneyimlediği stres koşullarına epigenetik olarak adapte olmuş yavruların, genetik olarak benzer, ancak stres görmemiş ebeveynlerden gelen yavrulara göre aynı strese karşı daha dayanıklı veya daha verimli olmaları, transgenerasyonel epigenetik kalıtımın çevresel önemini vurgular (Grafı ve Ohad, 2013; Mozgova vd., 2019).

Adaptif Avantaj: Çevresel epigenetik varyasyon, bitki popülasyonlarına hızlı bir adaptasyon mekanizması sunar. Genetik mutasyonlar yoluyla adaptasyon binlerce nesil sürebilirken, epigenetik değişiklikler tek bir nesil içinde ortaya çıkabilir ve hızla yayılabilir (Jablonka ve Raz, 2009). Bu durum, bitkilerin ani veya tekrarlayan çevresel değişimlere (örneğin, iklim değişikliği, yeni patojen türlerinin ortaya çıkışı) daha hızlı yanıt vermesini sağlar. Eğer bir ebeveyn bitki, kuraklık veya tuzluluk gibi bir strese epigenetik olarak uyum

sağlarsa, bu uyum yavrularına aktarılabilir ve yavrular, benzer koşullarda doğduklarında, daha yüksek hayatta kalma oranlarına veya daha iyi performans gösterme yeteneğine sahip olabilirler (Verhoeven vd., 2016). Bu, "epigenetik hazırlık" olarak da adlandırılır ve bitki popülasyonlarının çevresel öngörülemezliğe karşı direncini artırır.

Evrimsel Rolü: Epigenetik kalıtım, Darwinci evrim teorisinin temelini oluşturan genetik varyasyona dayalı seçilime ek olarak, evrimsel sürece yeni bir boyut katar. Lamarckçı evrim teorisinde olduğu gibi edinilmiş özelliklerin kalıtımı, epigenetik mekanizmalar aracılığıyla kısmen de olsa gerçekleşebilir (Richards, 2006; Jablonka ve Raz, 2009). Bu durum, evrimin sadece DNA dizilimindeki rastgele mutasyonlarla değil, aynı zamanda çevresel etkileşimler sonucunda oluşan ve kalıtsal olabilen epigenetik değişikliklerle de ilerleyebileceğini göstermektedir. Epigenetik varyasyonlar, genetik çeşitliliğin düşük olduğu veya genetik adaptasyonun çok yavaş olduğu durumlarda bitki popülasyonlarının hayatta kalması için bir "can simidi" görevi görebilir (Bossdorf vd., 2008). Örneğin, bitki türlerinin ekstrem habitatlara yayılmasında veya yeni nişlere uyum sağlamasında epigenetik varyasyonlar kritik bir rol oynayabilir. Gelecekteki araştırmalar, bu epigenetik mekanizmaların bitki ıslahında ve tarımsal verimliliğin artırılmasında potansiyel uygulamalara sahip olabileceğini işaret etmektedir (Grafı ve Ohad, 2013).

5. EPIGENETİK HAFIZAYA FELSEFİ YAKLAŞIM: BİTKİ BİLİNCİ YA DA BELLEĞİ VAR MI?

Bu bölüm, bitkilerdeki epigenetik bellek olgusunun daha geniş felsefi çıkarımlarını ele alacaktır. Özellikle, "bellek," "öğrenme" ve hatta "biliş" gibi kavramların bitki dünyasına ne ölçüde uygulanabileceği ve bu durumun geleneksel canlılık anlayışımızı nasıl etkileyebileceği tartışılacaktır.

5.1. Bitkilerde Bellek ve Öğrenme Kavramlarının Yeniden Tanımlanması

Geleneksel olarak bellek ve öğrenme kavramları, sinir sistemine sahip hayvanlarla ilişkilendirilmiştir. Ancak bitkilerde gözlemlenen epigenetik hafıza mekanizmaları, bu kavramların daha geniş bir biyolojik bağlamda yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Epigenetik bellek, bitkinin geçmiş çevresel deneyimlerini moleküler düzeyde "kaydetmesi" ve bu bilgilere

dayanarak gelecekteki yanıtlarını optimize etmesi yeteneğini ifade eder. Bu, belirli bir anlamda öğrenme ve belleğin temel özelliklerini taşır. Bitkiler, vernalizasyon, stres priming (ön hazırlık) ve patojenlere karşı indüklenmiş direnç gibi olaylarla çevresel sinyalleri algılayıp işleyerek kalıcı fizyolojik ve moleküler değişiklikler gösterirler (Grafi ve Ohad, 2013). Bu değişiklikler, bir tür "kısa süreli" veya "uzun süreli" bellek olarak işlev görebilir. Örneğin, bir bitkinin soğuk maruziyeti sonucu *FLC* geninin susturulması ve bu susturulmanın bitki ısınan koşullara geri döndükten sonra bile devam etmesi, çevresel bir olayın kalıcı bir "iz" bıraktığını ve bitkinin bu izi kullanarak gelecekteki gelişimini yönlendirdiğini gösterir (Dennis ve Peacock, 2007). Benzer şekilde, önceki stres maruziyetlerinin bir sonucu olarak stres yanıt genlerinin hızlı ve güçlendirilmiş ekspresyonu, bitkinin "öğrenerek" adaptif bir yanıt geliştirdiğine işaret eder (Kinoshita ve Seki, 2014). Bu bağlamda, bitkilerdeki bellek, hayvanlardaki karmaşık bilişsel belleğe benzer bir deneyim hatırlama yeteneği olarak değil, daha çok moleküler düzeydeki "izler" veya "işaretler" olarak anlaşılmalıdır. Bu işaretler, gen ifadesini etkileyerek bitkinin çevresel uyaranlara karşı yanıt eşiğini veya şiddetini değiştirir. Bu perspektif, belleği sadece nöronal ağlarla sınırlı bir olgu olmaktan çıkarıp, tüm canlı sistemlerdeki adaptif süreçlerin temel bir özelliği olarak görmemizi sağlar (Jablonka ve Lamb, 2014). Grafi ve Ohad (2013) gibi bilim insanları, bu epigenetik mekanizmaların bitkilerin kendi yaşam çevreleri hakkında bilgi edinmelerini ve bu bilgiyi kullanarak hayatta kalma ve üreme şanslarını artırmalarını sağladığını belirtir.

5.2. Bitki Bilinci ve Biliş Tartışmaları: Epigenetik Bulguların Rolü

Bitki bilinci ve bilişi üzerine yapılan tartışmalar, bilim felsefesi ve biyoloji alanında son yıllarda artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. "Biliş" terimi genellikle bilgiyi işleme, karar verme, öğrenme ve bellek gibi zihinsel süreçleri ifade eder. Bitkilerin sinir sistemi olmamasına rağmen, çevresel sinyallere karmaşık ve uyarlanabilir yanıtlar vermesi, bazı araştırmacıların bitkilerde ilkel bir "biliş" veya "zekâ" biçiminin olup olmadığını sorgulamasına yol açmıştır (Trewavas, 2003; Calvo ve Friston, 2017). Epigenetik bellek, bu tartışmalara önemli bir veri noktası sağlamaktadır. Epigenetik değişiklikler aracılığıyla geçmiş çevresel koşullara ilişkin bilgiyi depolama ve bu bilgiyi kullanarak

gelecekteki davranışlarını (örn. büyüme yönü, çiçeklenme zamanlaması, savunma tepkileri) modüle etme yeteneği, bitkilerin basit reflekslerden öte, bir tür "bilgi işleme" kapasitesine sahip olduğunu düşündürmektedir (Grafı ve Ohad, 2013). Her ne kadar bu, hayvanlardaki "bilinçli" karar verme süreçleriyle doğrudan karşılaştırılamasa da, bitkilerin yaşadıkları deneyimlerden "çıkartım yapabildiğini" ve "uyarlanabilir stratejiler" geliştirebildiğini göstermektedir (Baluska ve Mancuso, 2007). Ancak, "bilinç" kavramı, genellikle öznel deneyim, farkındalık ve niyet gibi unsurları içerir ve bu kavramların bitkilere doğrudan uygulanması, mevcut bilimsel araçlarla doğrulanması zor olan derin felsefi sorunları beraberinde getirir. Bitkilerdeki epigenetik bellek, daha çok bir "sistemsel bellek" veya "hücrel öğrenme" olarak tanımlanabilir; burada bilgi, moleküler düzeydeki düzenlemeler aracılığıyla depolanır ve iletilir, ancak bu durumun öznel bir deneyimle ilişkili olduğuna dair henüz doğrudan bir kanıt bulunmamaktadır (Gagliano vd., 2012). Sonuç olarak, epigenetik hafıza, bitkilerin çevresel bilgiye nasıl tepki verdiğini ve bu tepkileri nasıl uzun vadeli stratejilere dönüştürdüğünü anlamamızda devrim yaratmıştır. Bu bulgular, bellek ve öğrenme kavramlarının biyolojik spektrumdaki genişliğini vurgularken, bitki bilisi tartışmalarına zengin bir zemin sunar. Yine de, bitkilerde "bilinç" veya insan benzeri "bellek" olup olmadığı sorusu, daha fazla bilimsel araştırma ve felsefi tartışmayı gerektiren açık bir sorudur (Grafı ve Ohad, 2013).

6. TARIM VE BİTKİ ISLAHI İÇİN EPİGENETİK UYGULAMALAR

Epigenetik araştırmalardaki hızlı ilerlemeler, bitkilerdeki karmaşık gen ifadesi düzenleme mekanizmalarına dair derinlemesine bir anlayış sağlamıştır. Bu anlayış, sadece temel bilimsel merakı gidermekle kalmayıp, aynı zamanda küresel gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım gibi acil sorunlara yönelik yenilikçi çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır. Bitki ıslahı ve tarımsal üretimde epigenetik bilgidен yararlanmak, iklim değişikliğinin ve artan dünya nüfusunun getirdiği zorluklarla başa çıkmak için yeni yollar açabilir.

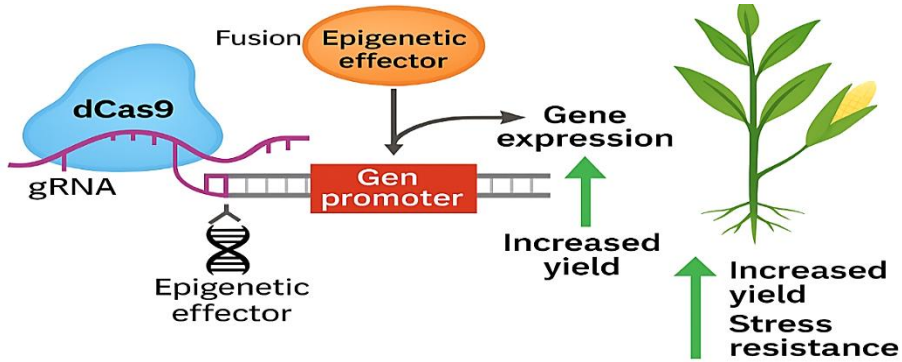
6.1. Epigenetik Varyasyonun Kullanımı: Stres Toleranslı veya Verimli Bitki Çeşitleri Geliştirmede Epigenetik Varyasyonlardan Faydalanma

Doğal popülasyonlarda ve bitki çeşitleri arasında genetik farklılıkların yanı sıra, önemli miktarda epigenetik varyasyon (epivaryasyon) da bulunur. Bu epivaryasyonlar, DNA metilasyonundaki veya histon modifikasyonlarındaki farklılıklar şeklinde ortaya çıkabilir ve gen ifadesini etkileyerek bitkinin fenotipinde gözle görülür değişikliklere yol açabilir (Mozgova vd., 20129; Meyer, 2015). Bitki ıslahçıları, bu doğal epigenetik varyasyonlardan, geleneksel genetik seçilimin ötesinde faydalanma potansiyeline sahiptir. Özellikle, çevresel streslere (kuraklık, tuzluluk, sıcaklık, soğuk) veya patojen saldırılarına karşı daha yüksek toleransa sahip bitki popülasyonları içinde epigenetik olarak farklılaşan bireyler tespit edilebilir. Bu bireylerin epigenetik kalıpları, stres toleransı ile ilişkilendirilebilir ve bu kalıpları taşıyan bitkiler, ıslah programlarında ebeveyn olarak kullanılabilir (Grafı ve Ohad, 2013). Örneğin, belirli bir stres koşuluna maruz kalmış ve "stres belleği" geliştirmiş bitkilerin, bu bellek aracılığıyla sonraki nesillere aktarılan epigenetik işaretler sayesinde, aynı strese karşı daha dirençli yavrular ürettiği gözlemlenmiştir (Kinoshita ve Seki, 2014; Lamke ve Baurle, 2017). Bu tür epigenetik olarak indüklenmiş direnç veya tolerans, bitki popülasyonlarının hızla değişen çevresel koşullara adaptasyonunu hızlandırabilir. Epigenetik varyasyonun tespiti ve kullanılması, bitki ıslahının süresini kısaltabilir ve daha dayanıklı ve verimli yeni çeşitlerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

6.2. Epigenetik Mühendisliği: Hedefli Epigenetik Düzenlemelerle Bitki Özelliklerini İyileştirme Potansiyeli (örn. CRISPR/Cas9 tabanlı epigenetik düzenleme)

Genom düzenleme teknolojilerindeki gelişmeler, epigenetik mühendisliğinin önünü açmıştır. CRISPR/Cas9 sisteminin epigenetik uygulamaları için uyarlanması (CRISPR-Epigenetik veya Epi-CRISPR), spesifik gen bölgelerinde DNA metilasyonunu veya histon modifikasyonlarını hedefli bir şekilde değiştirmeyi mümkün kılmaktadır (Voytas ve Gao, 2014; Liu vd., 2016). Bu, genetik dizilimi değiştirmeden gen ifadesini kalıcı olarak modüle etme potansiyeli sunar. Epi-CRISPR sistemleri kullanılarak, bitkilerde strese yanıt genlerinin promotör bölgelerindeki DNA metilasyon kalıpları veya

histon asetilasyon seviyeleri, bitkinin stres toleransını artıracak şekilde ayarlanabilir. Örneğin, bir bitkinin kuraklık toleransını artıran genin ekspresyonunu sürekli kılmak için promotör bölgesindeki represif DNA metilasyonu hedeflenebilir veya aktif histon işaretleri eklenebilir. Benzer şekilde, istenmeyen özelliklere (örn. patojen duyarlılığı) yol açan genler, epigenetik olarak susturulabilir (Şekil 4). Bu teknoloji, bitki ıslahında devrim niteliğinde yenilikler sunarak, belirli çevresel koşullar altında optimum performans gösteren bitkilerin tasarlanmasını mümkün kılabilir. Hedefli epigenetik düzenlemelerle, bitkilerin besin kullanım verimliliği, büyüme hızı, ürün kalitesi veya hastalık direnci gibi agronomik açıdan önemli özellikleri geliştirilebilir (Grafi ve Ohad, 2013; Qi vd., 2023).



Şekil 4: Mahsul iyileştirme için CRISPR-Epigenetik.

6.3. İklim Değişikliği ve Gıda Güvenliği Bağlamında Epigenetiğin Rolü

İklim değişikliği, kuraklık, aşırı sıcaklık dalgalanmaları, tuzluluk artışı ve yeni patojenlerin yayılması gibi faktörlerle tarımsal üretimi tehdit etmektedir. Bu koşullar altında küresel gıda güvenliğini sağlamak, uyarlanabilir ve dirençli bitki çeşitlerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Epigenetik, bu zorluklara karşı mücadelede önemli bir araç sunmaktadır.

Epigenetik mekanizmalar, bitkilerin değişen çevresel koşullara genetik mutasyonlardan çok daha hızlı bir şekilde adaptif yanıtlar geliştirmesine olanak tanır. Bu "epigenetik adaptasyon" yeteneği, iklim değişikliğinin hızına ayak uydurmak için hayati öneme sahiptir (Grafi ve Ohad, 2013; Miryeganeh, 2021). Epigenetik varyasyonun tespiti ve kullanımı, mevcut bitki gen havuzlarındaki

gizli potansiyeli ortaya çıkarabilir. Ayrıca, epigenetik mühendisliği ile bitkilerin stres toleransını artırmak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletebilir ve marjinal tarım alanlarında bile verimli üretime olanak sağlayabilir. Epigenetik araştırmalar, yeni nesil dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi için güçlü bir temel oluşturarak, gelecekteki gıda güvenliğinin sağlanmasında stratejik bir rol oynayacaktır (Chinnusamy ve Zhu, 2009; Lamke ve Baurle, 2017).

KAYNAKLAR

- Allis, C. D., & Jenuwein, T. (2016). The molecular hallmarks of epigenetic control. *Nature Reviews Genetics*, 17(8), 487-500.
- Amasino, R. (2004). Vernalization, competence, and the epigenetic memory of winter. *The Plant Cell*, 16(10), 2553-2559.
- Archacki, R., Yatusovich, R., Buszewicz, D., Krzyczmonik, K., Patryn, J., Iwanicka-Nowicka, R., ... & Swiezewski, S. (2017). Arabidopsis SWI/SNF chromatin remodeling complex binds both promoters and terminators to regulate gene expression. *Nucleic Acids Research*, 45(6), 3116-3129.
- Avramova, Z. (2015). Transcriptional 'memory' of a stress: transient chromatin and memory (epigenetic) marks at stress-response genes. *The Plant Journal*, 83(1), 149-159.
- Baluška, F., Volkmann, D., Hlavacka, A., Mancuso, S., & Barlow, P. W. (2006). *Neurobiological view of plants and their body plan*. In Communication in plants: Neuronal aspects of plant life (pp. 19-35). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bologna, N. G., & Voinnet, O. (2014). The diversity, biogenesis, and activities of endogenous silencing small RNAs in Arabidopsis. *Annual Review of Plant Biology*, 65(1), 473-503.
- Bossdorf, O., Richards, C. L., & Pigliucci, M. (2008). Epigenetics for ecologists. *Ecology Letters*, 11(2), 102-115. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01130.x>
- Bucher, E., Reinders, J., & Mirouze, M. (2012). Epigenetic control of transposon transcription and mobility in Arabidopsis. *Current opinion in plant biology*, 15(5), 503-510.
- Calvo, P. (2016). The philosophy of plant neurobiology: a manifesto. *Synthese*, 193(5), 1323-1343.
- Calvo, P., & Friston, K. (2017). Predicting green: really radical (plant) predictive processing. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(131). <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0096>
- Chinnusamy, V., & Zhu, J. K. (2009). Epigenetic regulation of stress responses in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(2), 133-139.

- Clapier, C. R., & Cairns, B. R. (2009). The biology of chromatin remodeling complexes. *Annual Review of Biochemistry*, 78: 273-304. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.77.062706.153223>
- Conrath, U. (2011). Molecular aspects of defence priming. *Trends in Plant Science*, 16(10), 524-531.
- Crevillen, P., & Dean, C. (2011). Regulation of the floral repressor gene FLC: the complexity of transcription in a chromatin context. *Current opinion in plant biology*, 14(1), 38-44.
- Crisp, P. A., Ganguly, D., Eichten, S. R., Borevitz, J. O., & Pogson, B. J. (2016). Reconsidering plant memory: Intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. *Science advances*, 2(2), e1501340.
- Dennis, E. S., & Peacock, W. J. (2007). Epigenetic regulation of flowering. *Current opinion in plant biology*, 10(5), 520-527.
- Ding, X., Jia, X., Xiang, Y., & Jiang, W. (2022). Histone modification and chromatin remodeling during the seed life cycle. *Frontiers in Plant Science*, 13, 865361.
- Durrant, W. E., & Dong, X. (2004). Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42: 185-209. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140421>
- Gagliano M, Mancuso S, Robert D (2012) Towards understanding plant bioacoustics. *Trends Plant Sci* 17:323–325
- Grafi, G., & Ohad, N. (2013). *Plant epigenetics: a historical perspective*. In *Epigenetic Memory and Control in Plants*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Heo, J. B., & Sung, S. (2011). Vernalization-mediated epigenetic silencing by a long intergenic noncoding RNA. *Science*, 331(6017), 76-79.
- Howe, G. A., & Jander, G. (2008). Plant immunity to insect herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 41-66. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825>
- Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2014). *Evolution in four dimensions: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. MIT Press.

- Jablonka, E., & Raz, G. (2009). Transgenerational epigenetic inheritance: Prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. *Quarterly Review of Biology*, 84(2), 131-176.
- Jacobsen, S. E., & Law, J. A. (2010). Establishing and maintaining DNA methylation in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 355-378.
- Jaskiewicz, M., Conrath, U., & Peterhänsel, C. (2011). Chromatin modification acts as a memory for systemic acquired resistance in the plant stress response. *EMBO reports*, 12(1), 50-55.
- Jiang, D., & Berger, F. (2017). DNA replication–coupled histone modification maintains Polycomb gene silencing in plants. *Science*, 357(6356), 1146-1149.
- Jones-Rhoades, M. W., Bartel, D. P., & Bartel, B. (2006). MicroRNAs and their regulatory roles in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 19-53.
- Karan, R., DeLeon, T., Biradar, H., & Subudhi, P. K. (2012). Salt stress induced variation in DNA methylation pattern and its influence on gene expression in contrasting rice genotypes. *PloS One*, 7(6), e40203.
- Kinoshita, T., & Seki, M. (2014). Epigenetic memory for stress response and adaptation in plants. *Plant and Cell Physiology*, 55(11), 1859-1863.
- Kouzarides, T. (2007). Chromatin modifications and their function. *Cell*, 128(4), 693-705. Doi: 10.1016/j.cell.2007.02.005
- Lämke, J., & Bäurle, I. (2017). Epigenetic and chromatin-based mechanisms in environmental stress adaptation and stress memory in plants. *Genome biology*, 18, 1-11.
- Liu, Z. W., Zhou, J. X., Huang, H. W., Li, Y. Q., Shao, C. R., Li, L., ... & He, X. J. (2016). Two components of the RNA-directed DNA methylation pathway associate with MORC6 and silence loci targeted by MORC6 in Arabidopsis. *PLoS Genetics*, 12(5), e1006026.
- Luna, E., Bruce, T. J. A., Roberts, M. R., Flors, V., & Ton, J. (2012). Next-generation systemic acquired resistance. *Plant Physiology*, 158(2), 844–853. <https://doi.org/10.1104/pp.111.187468>
- Matzke, M. A., & Mosher, R. A. (2014). RNA-directed DNA methylation: an epigenetic pathway of increasing complexity. *Nature Reviews Genetics*, 15(6), 394-408.
- Mercer, T. R., Dinger, M. E., & Mattick, J. S. (2009). Long non-coding RNAs: Insights into functions. *Nature Reviews Genetics*, 10(3), 155-159.

- Meyer, P. (2015). Epigenetic variation and environmental change. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3541-3548.
- Miryeganeh, M. (2021). Plants' epigenetic mechanisms and abiotic stress. *Genes*, 12(8), 1106.
- Mozgova, I., Mikulski, P., Pecinka, A., & Farrona, S. (2019). Epigenetic mechanisms of abiotic stress response and memory in plants. Epigenetics in plants of agronomic importance: Fundamentals and applications: *Transcriptional regulation and chromatin remodelling in plants*, 1-64.
- Mylne, J., Greb, T., Lister, C., & Dean, C. (2004). Epigenetic regulation in the control of flowering. In *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 69: 457-464. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., ... & van Kleunen, M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in plant science*, 15(12), 684-692.
- Pecinka, A., Dinh, H. Q., Baubec, T., Rosa, M., Lettner, N., & Scheid, O. M. (2010). Epigenetic regulation of repetitive elements is attenuated by prolonged heat stress in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 22(9), 3118-3129.
- Qi, Q., Hu, B., Jiang, W., Wang, Y., Yan, J., Ma, F., ... & Xu, J. (2023). Advances in plant epigenome editing research and its application in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3442.
- Quadrana, L., & Colot, V. (2016). Plant transgenerational epigenetics. *Annual Review of Genetics*, 50:467-490. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120215-035254>
- Ramirez-Prado, J. S., Abulfaraj, A. A., Rayapuram, N., Benhamed, M., & Hirt, H. (2018). Plant immunity: from signaling to epigenetic control of defense. *Trends in plant science*, 23(9), 833-844.
- Rapp, R. A., & Wendel, J. F. (2005). Epigenetics and plant evolution. *New Phytologist*, 168: 81-91. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01491.x
- Richards, E. J. (2006). Inherited epigenetic- revisiting soft inheritance. *Nature Reviews Genetics*, 7(5), 395-401.
- Sano, H., & Kim, H.-J. (2013). Transgenerational epigenetic inheritance in plants. In G. Grafi & N. Ohad (Eds.), *Epigenetic memory and control in plants* (pp. 233-254). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35227-0_11

- Sung, S., & Amasino, R. M. (2004). Vernalization in *Arabidopsis thaliana* is mediated by the PHD finger protein VIN3. *Nature*, 427(6970), 159-164.
- Tittel-Elmer, M., Bucher, E., Broger, L., Mathieu, O., Paszkowski, J., & Vaillant, I. (2010). Stress-induced activation of heterochromatic transcription. *PLoS Genetics*, 6(10), e1001175. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001175>
- Trewavas, A. (2003). Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany*, 92(1), 1-20. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg101>
- van Zanten, M., Koini, M. A., Geyer, R., Liu, Y., Brambilla, V., Bartels, D., Koornneef, M., Fransz, P., & Soppe, W. J. J. (2011). Seed maturation in *Arabidopsis thaliana* is characterized by nuclear size reduction and increased chromatin condensation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20219–20224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117726108>
- van Zanten, M., Tessadori, F., McLoughlin, F., Smith, R., Millenaar, F. F., van Driel, R., Voesenek, L. A. C. J., Peeters, A. J. M., & Fransz, P. (2010). Photoreceptors Cryptochrome 2 and Phytochrome B control chromatin compaction in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 154(4), 1686–1696. <https://doi.org/10.1104/pp.110.164616>
- van Zanten, M., Tessadori, F., Peeters, A. J. M., & Fransz, P. (2012). Shedding light on large-scale chromatin reorganization in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant*, 5(3), 583–590.
- Verhoeven, K. J., Jansen, J. J., Van Dijk, P. J., & Biere, A. (2010). Stress-induced DNA methylation changes and their heritability in asexual dandelions. *New Phytologist*, 185(4), 1108-1118.
- Verhoeven, K. J., Vonholdt, B. M., & Sork, V. L. (2016). Epigenetics in ecology and evolution: what we know and what we need to know. *Molecular Ecology*, 25(8).
- Voytas, D. F., & Gao, C. (2014). Precision genome engineering and agriculture: opportunities and regulatory challenges. *PLoS Biology*, 12(12), e1001877. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001877>
- Zhu Z, An F, Feng Y et al (2011) Derepression of ethylene-stabilized transcription factors (EIN3/EIL1) mediates jasmonate and ethylene signaling synergy in Arabidopsis. *Proc Natl Acad Sci USA* 108:12539–12544

Zografou, T., & Turck, F. (2013). Epigenetic control of flowering time. In G. Grafi & N. Ohad (Eds.), *Epigenetic memory and control in plants* (pp. 77–106). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35227-0_5

BÖLÜM 2

YÜKSEK RAKIM KOŞULLARINDA KAMPUS BAĞCILIĞI MODELİ: UYGULAMA, AR-GE VE EĞİTİM PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRME

Prof. Dr. Ruhan İlknur GAZİOĞLU ŞENSOY¹

Doç. Dr. Cüneyt UYAK²

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN³

Dr. Ethem Ömer BAŞ⁴

Dr. Yağmur YILMAZ⁵

Doç. Dr. Turgay KABAY⁶

Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN⁷

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763409>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-2379-0688, rigazioglu@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-6101-6845, cuneytuyak@yyu.edu.tr

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-0349-3846, adnandogan@yyu.edu.tr

⁴ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-5729-5191, ethemomerbas@yyu.edu.tr

⁵ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-0769-9171, yagmur65100@gmail.com

⁶ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-3239-0037, tkabay@yyu.edu.tr

⁷ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-8186-1990, sakirisleyen@yyu.edu.tr

1. Giriş

Üzüm (*Vitis vinifera* L.), hem ekonomik değeri hem de genetik çeşitliliğiyle Türkiye tarımında stratejik öneme sahip bir meyve türüdür. Üzüm ve bağcılık kültürü, dünya genelinde binlerce yıldır varlığını sürdürmekte olup; sofralık, kurutmalık ve şaraplık olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu köklü gelenek, Anadolu ve özellikle Van yöresi için de büyük bir tarımsal ve kültürel öneme sahiptir. Türkiye’de üzüm sadece taze tüketilmekle kalmayıp; şarap, pekmez, cevizli sucuk, bastık, muska ve sirke gibi birçok ürüne dönüştürülmekte, ayrıca yaprakları salamura edilerek değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, üzüm bağları özellikle ev bahçelerinde çardak biçiminde gölgelik ve peyzaj ögesi olarak da kullanılmaktadır (Gazioğlu Şensoy ve Tutuş, 2017; Çelik ve Karanis, 1998).

Van İli sınırları içinde yer alan arkeolojik buluntular, bu coğrafyada bağcılığın binlerce yıllık geçmişe sahip kadim bir kültür olduğunu ortaya koymaktadır. Üzüm ve üzüm ürünleri, yalnızca besin kaynağı değil, aynı zamanda bölgenin kültürel kimliğinin de önemli bir parçası hâline gelmiştir. Özellikle bağcılığın en yoğun yapıldığı Erciş ilçesinde, üzüm bağlarının geleneksel olarak özel misafirlerin ağırlandığı en kıymetli alanlar olduğu görülmektedir. Yöre halkının türkü, hikâye ve efsanelerinde de üzüm bağlarına sıkça yer verilmesi, bu kültürel mirasın toplum belleğindeki yerini açıkça ortaya koymaktadır (Kelen ve Tekintaş, 1991; Gazioğlu Şensoy ve Tutuş, 2017; Ün ve Okat, 2023).

Ülkemiz, üzüm yetiştiriciliğinde uzun bir geçmişe ve zengin bir yerel çeşitliliğe sahip olmakla birlikte, modern üretim teknikleriyle geleneksel bilgilerin birleştirilmesi gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda, üniversite kampüslerinde kurulan eğitim ve araştırma bağları uygulamalı tarım eğitimi, standart çeşit adaptasyonu, yerel çeşitlerin korunması ve tanıtılması gibi önemli fırsatlar sunmaktadır. Üniversitelerin uygulamalı eğitim, araştırma ve toplumsal katkılar üzerindeki rolleri giderek artarken, bu hedeflere hizmet edecek tarımsal modellerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kampüs yerleşkesi içerisinde bir üzüm bağı kurulumu gerçekleştirmek amacıyla, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörlüğüne yapılmış olan başvuru olumlu karşılanmış, bağcılık çalışmaları için kullanılmak üzere, 18 dekar alan tahsis edilmiştir. Mevcut alanda, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı desteğiyle, FBG-2021-9255 ID kodlu, “Van

Gölu Havzasında Unutulmaya Yüz Tutmuş Bağcılık Kültürünün Yaşatılması ve Bağcılığın Yöre Ekonomisine Kazandırılması” isimli çalışma, GÜdümlü Proje olarak desteklenmeye uygun bulunmuştur. Bu çerçevede Yeşil Alan Müdürlüğünün de katkıları ve proje ortaklığıyla, 2022 yılı itibariyle Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs yerleşkesinde, ilk etapta 10 dekarlık alan, ihata ve damla sulama altyapısının kurulmasıyla başlatılmıştır. Aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı desteğiyle hayata geçirilen doktora projesi kapsamında, 2.5 dekarlık alanda Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü’nden temin edilmiş olan, 1103 P ve 5 BB anaçlarına aşılı, Sultani Çekirdeksiz (K7 klonu) fidanlarının dikimi gerçekleştirilmiş ve çalışma, 2022 ve 2023 yılına ait verilerle tamamlanmıştır. Yine 2022 yılında bir önceki yıl tüplere alınmış olan kendi kökleri üzerinde yetiştirilmiş yerel Erciş Üzümlü çeşidine ait fidanların da 2 dekar alanda dikimi sağlanmış. 2023 yılında 10 dekarlık alanın çevresine, bahçecilik uygulamalarında kullanmak ayrıca rüzgâr kıran özelliğinden faydalanmak üzere, muhtelif tür ve çeşitlere ait meyve fidanlarının dikimi gerçekleştirilmiştir. 2025 yılında ise, ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen 10 farklı çeşidin yer aldığı bir koleksiyon bağı kurulmuş, bu yapı ile bağcılık eğitimi ve araştırmalarına çok yönlü katkılar sağlanması hedeflenmiştir. Tesis edilmiş olan bu alan, yalnızca araştırma amaçlı değil, aynı zamanda ön lisans, lisans ve lisansüstü düzeydeki öğrencilere uygulamalı eğitim sunmayı amaçlayan çok yönlü bir model olarak tasarlanmış, standart ve yerel çeşitlerin birlikte değerlendirilebildiği bir uygulama ortamı oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, söz konusu kampüs bağının kuruluş sürecini, uygulanan teknikleri, eğitim ve araştırma çıktıları ile değerlendirmeyi, yerel çeşitlerin performansı ve uygulamalı tarım eğitimine katkılarını örnek bir model çerçevesinde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Yüksek rakım ve karasal iklim koşullarında kurulan bu uygulama alanının hem teknik, eğitsel hem de araştırma potansiyeli değerlendirilmekte, çeşit uyumu, sulama stratejileri, çeşitli bitki besleme ve bitki koruma uygulamaları ve öğrenci katkılarına dayalı olarak sistemin çok yönlü çıktısı sunulmaktadır.

2. Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliği ve Islahında Uygulama ve Stajların Önemi

Bahçe bitkileri bölümü, meyve, sebze, bağ ve süs bitkileri gibi geniş bir alanı kapsayan, modern tarımın temel taşlarından biridir. Bu alandaki başarı, teorik bilginin ötesinde, uygulama becerileri ve pratik deneyim gerektirir. Bahçe bitkileri yetiştiriciliği ve ıslahı gibi dinamik ve uygulamaya dayalı bir disiplinde, öğrencilerin sahada deneyim kazanmaları ve teorik bilgilerini gerçek dünya sorunlarıyla harmanlamaları kritik öneme sahiptir. Uygulama dersleri ve stajlar, genç mühendis adaylarını sektöre hazırlayan vazgeçilmez unsurlardır.

Bahçe bitkileri yetiştiriciliği ve ıslahı, topraktan hasada, hastalıklarla mücadeleden yeni çeşit geliştirmeye kadar çok sayıda detayı barındırır. Derslerde edinilen bilgilerin laboratuvar ve arazi ortamında bizzat uygulanması, öğrencilerin konuyu derinlemesine kavramalarını sağlar. Örneğin, meyve ağaçlarında budama teknikleri, sebze fidelerinin şaşırtılması veya bağcılıkta terbiye sistemleri gibi konular, sadece kitaplardan öğrenilemez; bu tekniklerin deneyimli bir eğitmen eşliğinde uygulamalı olarak yapılması gerekir. Bitki ıslahında ise, seleksiyon, melezleme veya doku kültürü gibi yöntemler, laboratuvar ve deneme arazilerindeki uygulamalarla somutlaşır (Rogers, 2018). Yapılan araştırmalar, bu tür uygulamalı eğitimin, öğrencilerin problem çözme yeteneklerini, analitik düşünme becerilerini ve eleştirel bakış açılarını önemli ölçüde geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, pratik uygulamalar, öğrencilerin mesleğe olan ilgilerini ve motivasyonlarını artırarak öğrenme sürecini daha verimli hale getirir (Aldous vd., 2014).

Stajlar, bahçe bitkileri alanındaki öğrencilere gerçek iş ortamında önemli deneyimler sunar. Bir meyve bahçesi, sebze parseli ve serası, fidanlık, tohum firması veya araştırma enstitüsünde yapılacak stajlar, öğrencilerin sektörü yakından tanımalarına, kurumsal işleyişi anlamalarına ve edindikleri bilgileri pratik olarak uygulamalarına olanak tanır. Stajyerler, üretim planlamadan hasat sonrası işlemlere, hastalık ve zararlı yönetiminden kalite kontrolüne kadar geniş bir yelpazede bilgi ve beceri edinirler. Bu süreçte, yalnızca teknik bilgilerini pekiştirmekle kalmaz, aynı zamanda iletişim becerileri, ekip çalışması, zaman yönetimi ve sorumluluk alma gibi önemli aktarılabılır becerileri de geliştirirler. Akademik çalışmalar, staj deneyimi olan mezunların iş piyasasında daha rekabetçi olduğunu ve daha hızlı iş bulma oranlarına sahip olduğunu

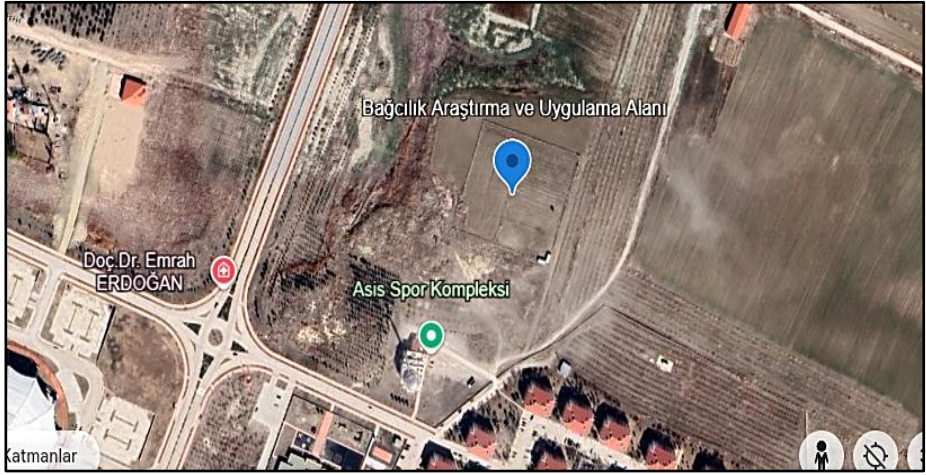
göstermektedir (Orvis, 2022). Stajlar, öğrencilere farklı alt sektörlerdeki kariyer fırsatlarını keşfetme ve kendi ilgi alanlarına uygun bir uzmanlık alanı seçme şansı da sunar. Staj yapılan kurumlarda kurulan profesyonel ağlar, mezuniyet sonrası iş arama sürecinde önemli bir referans ve destek kaynağı olabilir (Doğan, 2019).

Bahçe bitkileri yetiştiriciliği ve ıslahı eğitiminde, uygulama dersleri ve stajların kritik önemi yadsınamaz. Bu bağlamda, “Gerçekleştirilen Yüksek Rakım Koşullarında Kampüs Bağcılığı Modeli: Uygulama, AR-GE ve Eğitim Alanının Tesisi” gibi somut bir proje ve uygulama alanının mevcudiyeti, öğrencilerin pratik deneyimlerine kayda değer bir derinlik katmaktadır. Bu tür bir entegre tesis, genç mühendis adaylarının edindikleri teorik bilgiyi pekiştirmelerinin yanı sıra, mesleki yetkinliklerini geliştirmelerine, problem çözme becerilerini artırmalarına, iş etiği ve kariyer yönelimi konularında farkındalık kazanmalarına olanak tanır. Özellikle yüksek rakım gibi spesifik ve zorlu koşullarda bağcılık pratiklerine dair gerçekçi bir perspektif sunması, bu tesisin eğitimsel değerini yükseltmektedir. Kampüs bünyesinde yer alan bu uygulama alanı, öğrencilere mevsimsel döngüyü doğrudan deneyimleme, AR-GE faaliyetlerine aktif katılım sağlama ve gerçek üretim süreçlerini yakından gözlemleme fırsatı sunarak, mezuniyet sonrası saha koşullarına daha donanımlı ve adaptif bir şekilde hazırlanmalarını sağlamaktadır.

3. Tesis Edilen Uygulama Alanının Özellikleri

Bağcılık Araştırma ve Uygulama alanı, Van YYÜ kampüsü içinde yer alan, 1720 m rakımlı, yazın gündüz sıcaklığının yüksek ve gece sıcaklığının belirgin şekilde düşük olduğu bir alanda konumlandırılmıştır (Şekil 1). Alanın bu özelliği, özellikle şaraplık üzüm çeşitleri açısından aroma gelişimi için önemli potansiyel sunmaktadır. 10 dekarlık alan ihata edilerek 4 eşit parselle ayrılmış ve her bir parsel bağımsız damla sulama sistemi ile donatılmıştır.

Uygulamanın yapıldığı Van İli, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, ortalama 1.700–2.000 metre rakım aralığında yer almakta olup, yüksek rakımı ve engebeli topoğrafyasıyla dikkat çeker. Bölge, karasal iklimin etkisi altındadır; kışlar uzun ve sert geçerken, yazlar kısa ve sıcak olur. Ancak, Van Gölü'nün iklim yumuşatıcı etkisi sayesinde göle yakın alanlarda mikroklimatik farklılıklar oluşur, bu da tarımsal faaliyetler için avantaj sağlamaktadır (Anonim, 2023).



Şekil 1: Bağ alanı uydu görüntüsü

Yıllık ortalama sıcaklık 9–10 °C civarındadır; kış aylarında sıcaklık - 20 °C'ye kadar düşerken, yaz aylarında 35 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 370–570 mm arasında değişir; yağışlar daha çok ilkbahar ve kış aylarında yoğunlaşır. Yaz ayları ise kurak geçer. Toprak yapısı açısından, Van ili genelinde en geniş alanı Kestane Rengi Topraklar ve Kahverengi Topraklar kaplamaktadır. Bu topraklar, organik madde bakımından zengin olup, tarımsal üretim için elverişlidir. Ayrıca, Van Gölü çevresinde alüvyal topraklara rastlanır; bu topraklar geçirgen ve kolay işlenebilir özellikleriyle verimlidir (Anonim, 2016).

Bu ekolojik koşullar, özellikle geç don riski az olan güney yamaçlarda üzüm yetiştiriciliğini mümkün kılar. Ancak, ilkbahar geç donları ve yağış rejimindeki düzensizlikler gibi iklimsel riskler, tarımsal üretimi olumsuz etkileyebilir (Gazioğlu Şensoy ve Balta,2010)

4. Uygulama Alanının Planlanması

Dört farklı parsel şeklinde tesis edilmiş olan bağ alanının büyük bölümü tamamlanırken, son parseller ise tedrici olarak tamamlanacaktır. Bağ alanında telli sistem altyapısı için şu an için bütçe yetersizliği nedeniyle goble (yüksekten taçlandırılmış) sistem tercih edilmiştir.

Ayrıca alana konteyner tipi iki yapı yerleştirilerek yüksek lisans tezleri kapsamında iklim odası olarak kullanılmaya başlanmıştır. 2024 yılı itibariyle alanı çevreleyen sınırlara muhtelif meyve ağaçları dikilerek hem mikroklima

çeşitliliği sağlanmış hem de polikültürü bir sistem oluşturulmuştur. Aynı zamanda meyve ağaçlarının büyümesiyle, üzüm bağı için rüzgâr kıran etkisinden yararlanılması hedeflenmiştir.

4.1. Mevcut Alanda Gerçekleştirilen Çalışmalar

Birinci parsel, 3.0 x 3.5 m aralıkla, 2.5 dekarlık alana dikilmiş 1103P ve 5BB anacına aşılı Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidinden oluşmaktadır (Şekil 2.). Fidan dikimi sonrası genel tutma oranı %92 olarak belirlenmiştir. Yüksek rakımlı ve sert kış koşullarına rağmen, özellikle 1103P anacı üzerine asili olanlarda daha güçlü sürgün gelişimi izlenmiştir. Mevcut parselde, dikim yılı olan 2022 yılını takiben iki yıl süresince, "*Yüksek Rakım Sartlarında, Farklı Amerikan Asma Anaçları Üzerine Asili Sultani Çekirdeksiz Uzum Çeşidinde Mikorizal Fungus Uygulamalarının Kuraklık Stresine Etkileri*" başlıklı doktora tezi yürütülmüş ve başarıyla tamamlanmıştır. Bu kapsamda su kısıtı uygulamaları yapılarak, farklı sulama düzeylerinde, mikoriza uygulamalarının bitki üzerindeki etkileri izlenmiştir. Çalışma sonucunda, mikoriza uygulamaları, yaprak solması ve sürgün zayıflamasını geciktirmekte olduğu ve su kullanım etkinliğini artırdığı görülmüştür. Çalışma, Ziraat Fakültesi bünyesinde, Bahçe Bitkileri, Bitki Koruma ve Biyosistem Mühendisliği Bölümlerinin ortak katkılarıyla, çok disiplinli bir çalışma özelliğine sahip bulunmaktadır.

Uygulanan rutin kültürel işlemler 2024 yılında devam etmiştir. Farklı organik ve mineral bitki besleme programları uygulanarak, çeşitlerin makro ve mikro besin alımına verdiği tepkiler gözlemlenmiştir. Bu uygulamalar hem lisans hem lisansüstü düzeyindeki eğitimlerde öğrencilere uygulamalı öğrenme fırsatı sunmuştur.



Şekil 2: Sultani Çekirdeksiz parseli

Aynı parselde yürütölmek üzere, 2025 yılında "*Yüksek Rakım Şartlarında Yetiştirilen Aşılı Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinde, Nano Çinko Oksit ve Deniz Yosunu Gübresi Uygulamalarının Etkileri*" isimli yine çok disiplinli bir Yüksek Lisans Tez çalışması kabul edilmiş ve uygulamalara başlanmıştır.

İkinci parselde, 2 dekarlık alan ayrılmış ve 2,5 x 3,5 m aralıkla dikilmiş, kendi kökleri üzerine yetiştirilen otokton Erciş Uzumu fidanlarının dikimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.). Van İli asma gen potansiyelinde en önemli çeşit olarak olan Erciş üzüm çeşidi, yörede hem tarımsal hem de kültürel açıdan önemli bir yer tutmakta olup, fen bilimleri ve sosyal bilimler alanında çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Moleküler ve ampelografik olarak tanımlanmış; klon seleksiyonu, yetiştiricilik, kimyasal içerik, stres koşullarına dayanıklılık ve muhafaza gibi alanlarda araştırılmıştır (Uyak ve Doğan, 2011; Gazioğlu Şensoy ve ark., 2019; Gazioğlu Şensoy ve Balta, 2010; Ersayar ve ark., 2011; Baş ve Gazioğlu Şensoy, 2024; Gazioğlu Sensoy, 2015; Gazioğlu Sensoy, 2008; Uyak ve Gazioğlu Şensoy, 2009).



Şekil 3: Erciş Üzümlü Çeşidi

Üçüncü Parselde, 2025 yılı Nisan ayında dikilen koleksiyon bağında, 1.5 x 3.5 m aralıkla dikilmiş koleksiyon bağı Narince, Trakya İlkeren, Red Globe, Alfons Lavallee, Kalecik Karası, Ergin Çekirdeksizi, Autumn Royal, Hasandede, Hamburg Misketi ve Çekirdeksiz üzüm çeşitleri yer almaktadır. Daha önce yüksek rakım şartlarında göstermiş oldukları performansın bilimsel düzeyde kaydedilmemiş olduğu bu çeşitlerin, uzun yıllar süresince adaptasyonları ve fenolojik süreçleri değerlendirilecektir.

Dördüncü parselde ise henüz bağ fidanları dikilmemiş olmakla beraber, geçici olarak bölümümüz sebzecilik faaliyetlerine tahsis edilmiştir. Yüksek lisans çalışması kapsamında “*Domateste Farklı Dönemlerde Uygulanan Kuraklık Stresinin Bitki Gelişimi ve Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi*” isimli çalışma, 2023 yılında mevcut alanda uygulanmıştır Sebzecilik alanında mevcut alanda yürütülen bir diğer çalışma da 2025 yılında doktora tez projesi olarak desteklenen “*Farklı Malç ve Kısıntılı Sulama Uygulamalarının, Kavun Bitkisinde Morfolojik ve Fizyolojik Etkileri*” isimli çalışma gerçekleştirilmektedir (Şekil5).



Şekil 4: Koleksiyon bağından bir görüntü



Şekil 5 Sebze yetiştiriciliği parseli



Şekil 6: İklim Odası ve işletme binası olarak kullanılan konteynerlerin kurulum aşaması

Bağcılık uygulama alanında, kamu kuruluşundan hibe şeklinde tedarik edilmiş olan iki adet konteyner konumlandırılmıştır (Şekil 6). Tadilatı gerçekleştirilen konteynerlerden biri işletme binası ve depo vasfında kullanılırken, biri ise iklim odası şeklinde tasarlanmıştır. Konteyner içerisinde uygulanacak olan “*Elektrokültür Uygulamalarının Amerikan Asma Anaçlarında Köklenme ve Bazı Gelişim Parametrelerine Etkileri*” isimli çalışma, yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

4.2. Eğitimsel Katkı ve Öğrenci Deneyimi

Bağ kurulumu ve uygulamaları sürecinde ön lisans, lisans ve lisansüstü öğrenciler aktif olarak sürece katılmıştır (Şekil 7. a-e). Dikim, budama, sulama, bitki koruma, toprak analizleri, veri toplama gibi aşamalarda öğrencilerin

katılımı ile hem ders uygulamaları zenginleştirilmiş hem de staj benzeri deneyimler kazandırılmıştır.





Şekil 7: Eğitim ve uygulama faaliyetleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Projenin sunum aşamasında, çok sayıda hedef belirlenerek, proje önerisi ile ilgili birime sunulmuştur. Bu kapsamda; yöreye uyum sağlayabilecek yeni sofralık üzüm çeşitlerini tanıtmak ve yaygınlaştırmak, modern bağcılığı geliştirmek, eski çağlardan beri bağcılığın var olduğu Van yöresinde, modern bağcılığı yaygınlaştırmak, verimi, kalitesi ve ticari değeri yüksek yeni sofralık üzüm çeşitlerini bölgeye kazandırmak, proje sonuçlarının kongre ve sempozyumlar aracılığıyla ve yapılacak yayınlarla bilim dünyasıyla paylaşmak, yörede mevcut bakımsız olan bağların ıslahı ve gençleştirilmesi için çelik üretimi sağlamak, bölgede yetiştirilecek başta Erciş üzümü çeşidi olmak üzere

üzüm çeşitleriyle, ileride yapılacak olan bilimsel çalışmalara kolaylık sağlamak, bölge çiftçisinin refah düzeyini artıracak faaliyet alanlarının ortaya çıkması, işletme bünyesinde Üniversitemiz Çiftçi Eğitim Birimi ile birlikte yapılacak çalışmalar, düzenlenecek kurslarla, yöre çiftçisine uygulamalı teknik bilgi verilmesine olanak sağlanması, tesiste kullanılan modern sulama sistemi, telli terbiye sistemi gibi uygulamalarla, yöre bağlarında yeterince kullanılmayan tekniklerin yaygınlaşmasını sağlamak, ilgili alanda eğitim gören öğrenciler için ön lisans, lisans ve lisansüstü çalışmaların yapılabilceği bir alan oluşturarak, öğrencilerin bilgi ve becerilerini arttırmak, yörenin en önemli bitkisel ürünlerinden olan Erciş Üzümü çeşidi konusunda yapılacak üst düzey çalışmalar, yüksek rakım şartlarına uyum sağlamış bu çeşidin gerek yetiştiricilik ve pazarlama, gerekse ıslah çalışmalarına dâhil olmasıyla, hak ettiği değere kavuşması ve bölgede üretiminin artmasının sağlanması, Erciş Üzüm çeşidi ile ilgili başlatılmış olan tescil sürecine ve çeşidin desteklenen ürünler listesine alınmasına katkı sağlanmış olmak şeklinde hedefler ortaya konmuştur. Süreç değerlendirildiğinde, hedeflerin büyük bir bölümüne şimdiden ulaşılmış olduğu ya da gerçekleştirme potansiyelinin sağlanması konusunda ciddi manada yol kat edildiği görülmektedir.

Elde edilen katkılar ve gelecek perspektifleri

- ✚ **Yüksek Rakım Bağcılığı:** Bu model, 1700 m üzeri rakımda üzüm yetiştiriciliğine dair veri sunmakta; özellikle iklim değişikliklerine karşı alternatif üretim alanlarının şekillendirilmesine katkıda bulunmaktadır.
- ✚ **Optimum Su Kullanımı:** Sürdürülebilir sulama stratejileriyle su stresine karşı toleransın artırılması, ileride su kısıtlı tarım modelleri için temel bilgi sağlamaktadır.
- ✚ **Standart Çeşit Adaptasyonları:** Koleksiyon bağında farklı çeşitlerin gelişim dinamikleri, bölgeye uygun çeşit seçimi konusunda bilgi sunmaktadır.
- ✚ **Yüksek Rakıma Adapte Olmuş Yöresel Çeşitlerin Koleksiyona Dahil Edilmesi:** Asma genetik kaynaklarının korunması, sonraki dönemlere aktarılması ve gerektiğinde ıslah çalışmalarına dahil edilmesi sağlanmış olacaktır.

- ✚ **Sürdürülebilir Bağcılık Modeli:** Sürdürülebilir bağcılığın farklı materyal ve uygulamalarla yöreye kazandırılması yönünde çalışmalar devam edecektir.
- ✚ **Bitki Besleme Araştırmaları:** Uygulanan farklı besleme programları, doğal koşullarda besin elementlerinin biyoyararlılığı üzerine yeni tez ve projelere temel teşkil edebilir.
- ✚ **Eğitim ve Öğrenci Katkısı:** Uygulamalı tarım eğitimi açısından bu model, teori ve pratiği birleştiren bir platform sağlamakta; öğrencilerin mesleki yeterliliğine doğrudan katkıda bulunmaktadır.
- ✚ **Döner Sermaye Katkısı:** Verim dönemine ulaşıldığında üzüm ve ürünlerinin satışıyla, üniversitemiz döner sermayesine katkı sunulması hedeflenmiştir.
- ✚ **Üzüm ve Asma Yaprığı Değerlendirme:** Asmalar meyve dönemine geldiğinde, Üniversitemiz Mühendislik Fakültesi Gıda Bilimi Bölümü ile birlikte meyve suyu, asma yaprağı gibi gıda ile ilgili konularda çalışmalar yapılması hedeflenmektedir.
- ✚ **Yaygınlaştırma Potansiyeli:** Bu model, diğer üniversite kampüslerinde ve meslek yüksekokullarında uygulanabilir, sürdürülebilir tarım eğitimi için örnek teşkil etmektedir.

Sonuç olarak üniversite yerleşkesinde oluşturulan bu alan, eğitim, araştırma ve çeşit koruma hedeflerini aynı anda gerçekleştiren örnek bir Ar-Ge platformudur. Kurulumundan itibaren geçen 4 yıl içerisinde ikisi doktora olmak üzere 5 lisansüstü teze ve ev sahipliği yapmış olması ve sürekli bir şekilde uygulama dersleri ve staj eğitimleri kapsamında kullanılıyor olması, projenin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Mevcut çalışma, koşullu ve sınırlı destekler dahilinde uygulanmış olsa da, disiplinler arası iş birlikleriyle, tarımsal üretimin geleceğine dair yenilikçi çalışmalar için verimli bir zemin sunmaktadır.

Teşekkür:

“Van Gölü Havzasında Unutulmaya Yüz Tutmuş Bağcılık Kültürünün Yaşatılması ve Bağcılığın Yöre Ekonomisine Kazandırılması” isimli, FBG-2021-9255 ID kodlu, çalışmayı Güzümlü Proje kapsamında destekleyen, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı’na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aldous, D. E., Dixon, G. R., Darnell, R. L., & Pratley, J. E. (2014). Education and training futures in horticulture and horticultural science. **Horticulture: Plants for People and Places**, Volume 3: Social Horticulture (pp. 1087-1115). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Anonim, 2016. https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/pekyolu.pdf?utm_source=chatgpt.comKalkınma Kütüphanesi
- Anonim, 2023. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/van-ilcdr-2022-20231027133953.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Arslan, K., & Doğan, A. (2020). Erciş Üzüm Çeşidinin In Vitro Rejenerasyon Potansiyelinin Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3): 117-126.
- Bas, E. O., & Gazioglu Sensoy, R. I. (2024). Phytochemical Characteristics of Some Grape Cultivars Grown in High Altitude Conditions at Lake Van Basin. *Applied Fruit Science*, 66(5), 1855-1865.
- Doğan, İ. S. (2019). *Gıda mühendisliği eğitiminde staj uygulamalarının etkinliği* Boy Yayınları, (96 s.). ISBN: 978-605-7503-77-0.
- Ersayar, F., Kazankaya, A., Doğan, A., & Uyak, C. (2011). Van ili merkez ilçe ve köylerinde yetiştirilen bazı üzüm çeşitlerinin ampelografik özelliklerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 23-33.
- Gazioğlu Şensoy, R. İ. (2008). Bazı üzüm çeşitlerinin Van ekolojik şartlarına adaptasyonunun belirlenmesi ve Van yöresine ait bazı yerli asma formlarının RAPD markörleriyle tanımlanması (doktora tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Gazioğlu Şensoy, R., & Baş, E. (2020). Van yöresinde yetiştirilen mahalli üzüm çeşitlerinin bazı biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. V. International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress, Konya, Turkey.
- Orvis, K. (2022). Course development to address gaps in horticulture content standards for students in an agricultural education undergraduate degree program. *NACTA Journal*, 66(1).

- Rogers, M. A. (2018). Urban agriculture as a tool for horticultural education and youth development. *Urban Horticulture: Sustainability for the Future*, 211-232.
- Sensoy, R. İ. G. (2015). Determination of organic acids, sugars, and macro-micro nutrient contents of must in some grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(3): 693-697.
- Şensoy, R. İ. G., & Balta, F. (2010). Bazı üzüm çeşitlerinin Van ekolojik şartlarına adaptasyonu. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 20(3), 159-170.
- Şensoy, R. İ. G., & Tutuş, A. (2017). Tarih Boyunca Van İli ve Çevresinde Bağcılık Kültürü. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 56-63.
- Şensoy, R. İ. G., Ethem Ömer, B. A. Ş., & Yılmaz, Y. (2019) Yüksek Rakım Bağcılığı: Van İli Örneği. III. Agriculture and Natural Science Congress, Antalya.
- Uyak, C., & Şensoy, R. İ. G. (2009). Van İli bağcılığının mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 19(2), 100.
- Ün, A., & Okat, Ç. (2023). Van ilinin gastronomi turizmi potansiyelinin değerlendirilmesi. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 13(3), 488-504.

BÖLÜM 3

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BALIKLARI NASIL ETKİLİYOR?

Prof. Dr. Ertuğrul KANKAYA¹

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SEPİL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763449>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü
Van, Türkiye. ekankaya@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3032-3041

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü
Van, Türkiye. ahmetsepil@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3201-5181

GİRİŞ

Belirli zaman dilimleri içerisinde doğal olarak gözlemlenebilen doğal iklim değişikliklerine ilaveten yoğunlukla insan faaliyetleri sonucu küresel atmosfer bileşiminin bozulmasıyla meydana gelen değişiklikler iklim değişikliği olarak tanımlanmıştır (Arnell ve Gosling, 2016; Atar ve Ataman, 2016). Küresel ısınma iklim değişikliğinin sadece bir bileşenidir. Sıcaklık artışının, kirlilik, ötrofikasyon, kaynakların aşırı kullanımı, habitat modifikasyonu ve tahribatı gibi diğer artan antropojenik rahatsızlıklarla birlikte hareket etmesi muhtemeldir (Bahri ve ark., 2018; Zgouridou ve ark., 2022). Küresel ısınmanın etkisi altında olan tatlı suyun insan ihtiyaçlarını karşılamak için kullanımı giderek artmaktadır. Kullanıcılar arasındaki rekabet daha sıcak ve daha kalabalık bir dünyada daha da yoğunlaşacaktır. Tatlı su ekosistemlerindeki biyoçeşitlilik, iklim değişikliğinin neden olduğu aşırı olaylar nedeniyle tehdit altındadır. İklim değişikliği, tatlı suyu yaşam alanı olarak kullanan biyoçeşitlilik için sinsi bir varoluşsal tehdit oluşturmaktadır. Ancak barajlar, habitat bozulması ve kirlilikten kaynaklanan acil riskler çok daha büyük olabilir (Dudgeon, 2019; Yamada ve ark., 2024). İklim değişikliğinin tatlı su sistemleri üzerindeki genel etkileri muhtemelen artan su sıcaklıkları, azalan çözünmüş oksijen seviyeleri ve kirleticilerin artan toksisitesi olacaktır (Atar ve Ataman, 2016). Lotik sistemlerde, değişen hidrolojik rejimler ve artan yeraltı suyu sıcaklıkları balık habitatının kalitesini etkileyebilir. Balık fizyolojisi ayrılmaz bir şekilde sıcaklıkla bağlantılıdır. Bu nedenle, fizyolojileri ve yaşam öyküleri iklim değişikliğinin neden olduğu değişikliklerden etkilenecektir (Ficke ve ark., 2007; Barbarossa ve ark., 2021). İklim değişikliğiyle açıkça bağlantılı türlerin yok olması veya zarar görmesi örnekleri hala az olsa da, iklim değişikliği potansiyel olarak küresel tatlı su balığı türlerinin %50'sini tehdit etmektedir. Sadece ortalama 1°C'lik bir sıcaklık artışına verilen ekolojik tepkiler halihazırda belirgindir. Genlerden popülasyonlara kadar tatlı su ekosisteminin işleyişini destekleyen 31 ekolojik süreçten 23'ü iklim değişikliğinden etkilenmiştir. Bunlar arasında vücut büyüklüğündeki azalmalar, dağılımdaki kaymalar, fenolojideki değişiklikler, alg patlamaları ve türler arası etkileşimlerin desenkronizasyonu yer almaktadır. İklim değişikliğinden kaynaklanan kalıcı tatlı su tehditleri arasında artan su sıcaklıkları, değişen deşarj ve bunlar ile diğer stres faktörleri arasındaki etkileşimler yer almaktadır. Artan tatlı su sıcaklıkları türlerin dağılımını,

hastalık salgınlarını, fenolojilerini ve hayatta kalmalarını değiştirebilir (Reid ve ark., 2019). İklim değişikliği tatlısulardaki gibi deniz ortamlarında da benzeri görülmemiş bir ısınmaya yol açmaktadır. Antropojenik iklim değişikliği deniz ortamlarının ısınmasına katkıda bulunmaktadır. Ektotermik organizmaların fizyolojisi, bulundukları ortamın sıcaklığı ile ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır (Khalsa ve ark., 2023). Bu çalışma, iklim değişikliğinin etkilerinden su sıcaklıklarındaki yükseliş sonucu balıkların nasıl etkileneceğini açıklamak için yapılmıştır.

Balık habitatları üzerine etkiler

Balık habitatları üzerinde değişime yol açan iklim değişikliği kaynaklı faktörler; sıcaklık artışı, çözülmüş oksijende azalma, kirleticilerin toksisitesinde artış, hidrolojik rejimler, hidrolojik değişkenlik, akarsu ve yeraltı suyu sıcaklıklarındaki değişimler, ötrofikasyon, su sıcaklığının limnoloji üzerindeki etkileri, ultraviyole ışık, lentik sistemlerden su kaybı olarak sıralanabilir. Lotik sistemlerde, değişen hidrolojik rejimler ve artan yeraltı suyu sıcaklıkları balık habitatının kalitesini etkileyebilir. Ötrofikasyon şiddetlenebilir. Bu durum besin ağlarını değiştirebilir ve habitat mevcudiyetini ve kalitesini değiştirebilir (Ficke ve ark., 2007).

Balık fizyolojisi üzerindeki etkiler

Balık fizyolojisi ayrılmaz bir şekilde sıcaklıkla bağlantılıdır. Bu nedenle, fizyolojileri ve yaşam öyküleri iklim değişikliğinin neden olduğu değişikliklerden etkilenecektir. Belirli ekosistemlerdeki su sıcaklıklarının, sınırlı dağılma kabiliyetine sahip yerleşik balıklar veya göçü engelleyen sistemlerde yaşayanlar için uygun olmayan veya ölümcül seviyelere yükselmesi küresel ısınmanın olası bir etkisidir. Tüm balıklar, üst uçta kritik termal maksimumları ve alt uçta kritik termal minimumları ile sınırlanan bir termal aralığa sahiptir. Ortam sıcaklığından daha yüksek veya ölümcül sıcaklığa yakın sıcaklıklara alıştırmaya, balıkların bu kritik sınırları birkaç derece ayarlamasına izin verse de, termal alıştırmının büyüklüğü ve hızı için sınırlar vardır. Subletal aralıktaki sıcaklıklara maruz kaldıklarında, balıklar yine de çevre sıcaklığından olumlu veya olumsuz etkilenebilirler. Bu etkilerin çoğu, balık metabolizma hızlarının su sıcaklığı ile yakın ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Tüm balıklar tükettikleri gıdalardan elde ettikleri enerjiyi, enerji bütçelerine tahsis etmek zorundadır. Termal aralıklar türe özgüdür ve

değişen termal rejimlerle karşı karşıya kalan balık popülasyonlarının, büyük ölçüde yeni bir termal ortam ve yeni bir dizi türler arası etkileşimle başa çıkmanın enerjik maliyetleri tarafından belirlenen yeni dengeler elde etmeleri beklenebilir. Türlerin bolluklarının artması ya da azalması, menzillerinin genişlemesi ya da daralması veya yok olmayla karşı karşıya kalmaları aşağıdaki faktörlere bağlı olacaktır:

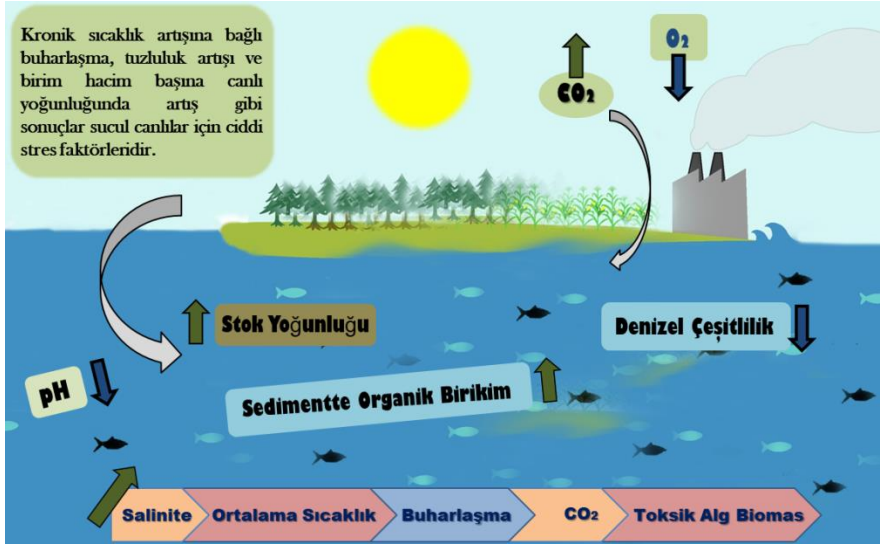
- Stenotermal veya eurythermal olup olmadığı ve hangi bölgede yaşadığı,
- O ekosistemdeki termal değişimin büyüklüğü ve oranı,
- Popülasyonun yeni seçici baskılara verdiği genetik tepki,
- Uygun termal koşullara sahip alanlara taşınma fırsatları,
- Kaynaklar için av, avcı veya rakip olabilecek sempatrik türlerin bolluğu veya dağılımındaki değişiklikler,
- Habitat ve su kalitesi parametreleri gibi gerekli fiziksel kaynakların mevcudiyeti (Ficke ve ark., 2007).

Yüksek su sıcaklıkları, balıklarda metabolik talepleri artırarak enerji kullanımında dengesizliklere neden olur. Bu durum, büyüme oranlarında azalma ve üreme verimliliğinde düşüş gibi olumsuz sonuçlara yol açabilir (Pankhurst, 1997; Alfonso ve ark., 2021). Öte yandan, düşük sıcaklıklar ise balıkların bağışıklık sistemini zayıflatır, beslenme davranışlarını olumsuz etkiler ve hastalıklara karşı duyarlılığı artıran fizyolojik stres oluşturur (Bly ve ark., 1997; Volkoff ve Rønnestad, 2020). Ayrıca sıcaklık, sudaki oksijenin çözünürlüğünü ve balıkların oksijen ihtiyacını doğrudan etkilediğinden, mevcut çözünmüş oksijen miktarını da belirleyen önemli bir faktördür (Jiang ve ark., 2021).

Suların fiziko-kimyasal yapısı üzerine etkiler

Son yıllarda küresel ısınmanın olumsuz etkileri, doğal su kaynakları ve tüm biyotoplar üzerinde belirgin şekilde hissedilmektedir. Mevsimsel sıcaklık ortalamalarındaki artış, su sıcaklıklarının da yükselmesine yol açmakta; bu durum özellikle kapalı havza özelliği taşıyan lotik biyotoplarda normalden daha hızlı buharlaşma ve su seviyesinde azalmaya neden olmaktadır. Su miktarındaki bu azalma, tuzlu ve acı suya sahip sulak alanlarda birim hacim başına düşen tuz miktarını artırarak ekosistem dengelerini olumsuz yönde etkilemektedir (Şekil 1). Sudaki sıcaklıkta meydana gelen 10 °C'lik bir artış,

amonyak (NH_3) konsantrasyonunu yaklaşık iki kat artırmaktadır. Aynı sıcaklık koşullarında, tuzluluğun 0,5'ten 32 ppt'ye yükselmesi ise NH_3 konsantrasyonunu yaklaşık %15 oranında azaltmaktadır (Eddy, 2005). Ancak sıcaklık ve tuzluluğun birlikte artması, genel olarak amonyak ve amonyak azotu konsantrasyonlarında artışa yol açmaktadır.



Şekil 1. Kronik sıcaklık artışına bağlı sucul ortamlarda meydana gelen fiziko-kimyasal ve biyolojik etkileşimler.

Tuzluluğun NH_3 seviyelerini düşürme etkisine rağmen, küresel ısınma nedeniyle su sıcaklıklarının yükselmesi, özellikle tatlı su popülasyonlarının NH_3 toksisitesinden daha hızlı etkilenmesine neden olabilir. Doğal sularda yapılan çalışmalar, pH ile sıcaklık arasında -0,097 ve pH ile tuzluluk arasında -0,054 düzeyinde çok zayıf bir korelasyon olduğunu göstermektedir (Rugebregt ve Nurhati, 2020). Bu da pH, sıcaklık ve tuzluluk değişkenleri arasında güçlü bir ilişki olmadığını ortaya koymaktadır. Öte yandan, suyun pH değeri arttıkça amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4^+) dengesinde NH_3 lehine bir kayma olur; bu da daha toksik olan NH_3 'ün oranını artırarak toksik etkiyi güçlendirir. Sudaki NH_3 konsantrasyonunun 0,01 mg/L'yi aşması, balıklar başta olmak üzere birçok sucul canlı için öldürücü etki oluşturabilmektedir (Ölmez ve Saraç, 2009).

Ilıman ve tropikal balıklar üzerindeki etkiler

Ilıman ve kutup bölgelerinin tropikal bölgelere göre daha büyük sıcaklık değişiklikleri yaşaması beklenmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde yaşayan balıklar iklim değişikliğinin bu yönünden daha fazla etkilenecektir. Yeterli rasyon ve iyi su kalitesi sağlandığında, balık büyümesi sıcaklığa bağlıdır ve genellikle sıcaklıkla birlikte optimum bir seviyeye yükselir. Ilıman ekosistemlerdeki balıklar yıllık büyümelerinin yaklaşık %90'ını yaz aylarında gerçekleştirir. Çünkü besin bulunabilirliği en yüksek seviyededir ve su sıcaklıkları büyüme optimumlarına yaklaşır. Bu durumlarda, su sıcaklığındaki hafif bir artış faydalı olabilir. Çünkü büyüme mevsimi uzar ve kışlama stresi azalır. Kış boyunca hayatta kalmadaki bu artış, hafifçe yükselen su sıcaklıklarıyla birleştiğinde, türlerin optimum büyümesinin altındaki sıcaklıklarla sınırlı olan balıkçılığın verimliliğini artırabilir. Besin kaynaklarının durumu ne olursa olsun, sıcaklıktaki bir artış metabolik hızda bir miktar artışa ve ardından ihtiyaç duyulan enerji miktarında bir artışa neden olur. Termal olarak uyum sağlamaları için zaman verildiğinde, balıklar metabolik hızdaki sıcaklıkla ilgili artışın bir kısmını telafi etme yeteneği gösterir. Alabalıklar genellikle yaz aylarında besin açısından kısıtlı olduklarından, iklim değişikliği alabalıkların baskın olduğu sistemlerin taşıma kapasitesini düşürebilir. *Coregonus commersoni* ve *Perca* sp. gibi soğuk ve serin su türleri üzerinde yapılan çalışmalar, yalnızca besin arzının artan talebi karşılayabilmesi durumunda balık büyüme oranlarının artacağını öngörmektedir. Bununla birlikte, sıcaklık artışı yeterince büyükse, artan metabolik talebi karşılamak için besin mevcudiyetindeki hiçbir artışın yeterli olmayacağı unutulmamalıdır. Çünkü beslenme aktivitesi bir türün optimum sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda baskılanır (Ficke ve ark., 2007).

Ilıman iklim balıklarının üreme başarısı küresel ısınmadan etkilenecektir. Düşük kış sıcaklıkları genellikle salmonidler, *Ictalurus punctatus* ve *Acipenser transmontanus* gibi ılıman balıkların yumurtlama başarısı için gereklidir. Birçok ılıman türün soğuğa dayanıklılığı göz önüne alındığında, özellikle soğuk aylarda sıcaklıktaki artışlar, ticari açıdan önemli balıkların dağılımlarının alt enlemsel sınırlarına yakın üreme verimini azaltabilir. Bu durum, doğal sistemlerdeki türleri üreme stratejilerine bağlı olarak farklı şekilde etkileyecektir. Denge türleri (büyük yumurtalar, kısa süreli kuluçkalama, geç cinsel olgunluk) çevresel değişime karşı en savunmasız

olanlardır, periyodik türler (geç olgunluk, küçük yumurtalar, uzun süreli kuluçkalama) daha az savunmasızdır ve fırsatçı türler (erken olgunluk, küçük yumurtalar, kısa süreli kuluçkalama, sık yumurtlama) en az savunmasız olanlardır. Erginlerin üreme başarısı ve yavru balık alımı da değişen termal rejimlerden etkilenebilir. Balıkların iklim değişikliğine karşı üreme tepkisi türe özgü olacaktır. Bununla birlikte, üreme stratejilerindeki esneklik göz önüne alındığında, bazı balık türleri alternatif yaşam öyküsü stratejileri kullanarak ve yumurtlama tarihlerini ayarlayarak değişen bir ortama uyum sağlayabilir. Çevresel çözünmüş oksijen seviyeleri, balıklarda aerobik metabolizmayı desteklemek için yeterince yüksek olmalıdır. Çoğu balık 5 mg/L'nin üzerindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında yeterli düzeyde oksijen alımını sürdürebilir. Konsantrasyonlar 5 mg/L'nin altına düştüğünde, birçok tür yeterli oksijen alım oranlarını korumak için fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar kullanır. Ancak çözünmüş oksijen konsantrasyonları 2–3 mg/L'nin altına düştüğünde, bu adaptasyonlar genellikle yetersiz kalır. Çevresel hipoksinin yaygın olduğu habitatlarda doğal olarak bulunan ılıman türler, örneğin *Carassius carassius* ve *Orthodon microlepidotus* çevresel hipoksiyi tolere etmelerini sağlayan fizyolojik adaptasyonlara sahiptir. Örneğin, *Lepisosteus spatula* modifiye edilmiş bir yüzme kesesi aracılığıyla hava solur. Ancak çoğu balık için, fizyolojik işlevlerin etkilenmesi için çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının çok düşük seviyelere düşmesi gerekmez. Subletal hipoksi (2–3 mg/L) beslenme aktivitesini, yüzme performansını ve yeni çıkan larvaların uygunluğunu azaltır. Düşük çözünmüş oksijen seviyeleri balıklarda bağışıklık sisteminin baskılanmasıyla da ilişkilendirilmiştir. Hipoksik koşullara maruz kalan balıklar, normoksik (havaya doymuş) sudaki balıklara göre çevresel streslere (örneğin hastalık, yoğun stok, besin kısıtlaması, termal stres ve doğal ve insan kaynaklı toksinler) karşı daha az toleranslıdır. Azalan çözünmüş oksijen seviyeleri, balıkların büyüme ve üreme başarısını azaltabilir ve diğer çevresel zorluklarla etkili bir şekilde başa çıkmalarını engelleyebilir. Bu nedenle, iklim değişikliği çözünmüş oksijen seviyelerinin azalmasına neden olursa, balıkların daha küçük, daha az doğurgan ve hayatta kalma olasılıklarının daha düşük olması mümkündür. Bununla birlikte, bazı balıkların daha düşük çözünmüş oksijen seviyelerine alışması da mümkündür. Örneğin, balıklar mevsime bağlı olarak değişen miktarlarda kırmızı kan hücresi üretebilir ve oksijen için farklı afinitelere sahip birden fazla hemoglobin türü üretebilirler.

Bu telafi mekanizmaları, çok çeşitli çevresel koşulları tolere edebilen türlerde yeterli olabilir. Bununla birlikte, iklimlendirme ve adaptasyonun yine sınırları vardır. Örneğin, *Oncorhynchus mykiss* dört tip hemoglobin üretir ancak yine de iyi oksijenli sularla sınırlıdır. Değişen çözünmüş oksijen seviyelerine verilen tepki türe özgü olacak ve diğer çevresel stres faktörlerine bağlı olacaktır (Ficke ve ark., 2007).

Tropikal balıkların yüksek kritik termal maksimumları vardır. Örneğin, *Tilapia mariae*, 37°C'lik kritik bir termal maksimuma ve artan sıcaklıklara uyum sağlama yeteneğine sahiptir. 33°C'de yetiştirilen *Danio rerio* embriyoları, termal stresle başa çıkmak için 21°C veya 26°C'de tutulanlardan daha fazla ısı şoku proteini üretmiştir. Aşırı yüksek metabolik hızlara ve enerji taleplerine sahip olmak yerine, optimum sıcaklıklarında tutulan tropikal balıklar, ılıman balıklarınkinden benzer metabolik hızlara sahiptir. Bu ve mevcut iklim değişikliği senaryolarının tropik bölgeler için küçük sıcaklık artışları öngördüğü gerçeği göz önüne alındığında, tropik balıkların iklim değişikliğinin etkilerinden ılıman veya kutup balıkları kadar zarar görmemesi mümkün görünmektedir. Ancak çoğu ılıman balıktan farklı olarak tropikal türler, günlük su sıcaklığı dalgalanmalarının düzenli olarak başlangıçtaki üst ölümcül sınırlarına yaklaştığı sistemlerde yaşamaktadır. Tropikal balıklar şu anda bu sıcaklıklara dayanabilse de, bölgesel sıcaklıklardaki hafif (1–2°C) bir artış, özellikle şu anda termal olarak marjinal habitatlarda bulunan popülasyonlar için günlük sıcaklık maksimumlarının bu sınırları aşmasına neden olabilir. Hindistan alt kıtasındaki önemli ötermal türler *Cyprinus carpio* ve *Labeo rohita* üzerinde yapılan son çalışmalar, 30°C ve 35°C su sıcaklıklarına alıştırmaların ardından yüksek sıcaklıklara karşı toleransın arttığını göstermiştir. Bu durum, düşük enlemlerdeki ötermal türlerin yeni bir iklime fizyolojik uyum sağlayabileceğini düşündürmektedir. Ancak şu anda marjinal habitatlarda yaşayan balıklar için küresel ısınmanın etkileri ılıman sistemler için öngörülenlere benzer olacaktır. Çünkü tropikal balıklar yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında benzer fizyolojik semptomlar sergilemektedir. Örneğin, diğer birçok tilapia türü 41–42°C'ye kadar olan sıcaklıklarda hayatta kalabilmesine rağmen, 39–40°C sıcaklıklar *Tilapia mossambica* yüzme yeteneğini engellemiştir. Sıcaklık ve yüzme performansı üzerine yapılan bir laboratuvar çalışmasında, *Oreochromis niloticus* 33°C'deki yorucu egzersizden sonra 23°C'ye göre daha yüksek oksijen yetersizlikleri yaşamıştır. *Cyprinus*

carpio ve *Labeo rohita* 30°C ve 35°C sıcaklıklarda oksijen tüketim oranlarında artış göstermiştir. Bu da daha yüksek sıcaklıkların ve sabit bir rasyonun büyüme oranlarında düşüşe neden olacağını göstermektedir. Bunun akuakültür sistemleri için sonucu, balıkların hasat edilebilir bir boyuta ulaşmasının daha uzun sürmesi veya aynı sürede hasat edilebilir boyuta ulaşmaları için daha fazla besin gerektirmesidir. Büyüme üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, subletal sıcaklık artışları, bireysel büyüme oranlarını yavaşlatarak doğal ve yapay su sistemlerinin verimliliğini azaltabilir. Sıcaklığın tropik balıkların gametogenez ve yumurtlama davranışlarında büyük bir rol oynadığı düşünülmese de, yüksek sıcaklıkların üreme verimini düşürdüğü bazı durumlar vardır. Ticari olarak yetiştirilen *Poecilia reticulata* 25–27°C’de en yüksek yavru üretim oranlarına ulaşmıştır. Bu balıklar 30°C’de yavru ve dişi yetişkin ölümünde artış, ovaryumlarda dejenerasyon ve yavru büyüklüğünde azalma yaşamıştır. Yüksek sıcaklıklar (28°C ve 32°C), laboratuvar koşullarında yetiştirilen 5 günlük *Oreochromis mossambicus* balıklarında yüksek deformite oranlarına neden olmuştur. Bu çalışmalar, üreme veriminin azalmasının, yüksek su sıcaklıklarının bir başka ölümcül olmayan etkisi olabileceğini düşündürmektedir. Bazı tropikal balık türlerinin yumurtlama mevsimleri, yağışlı mevsimde görülen düşük su sıcaklıklarına veya hidrografın yükselen koluna denk gelmektedir. Bu nedenle artan serin mevsim sıcaklıklarının başarılı üremeyi engelleme olasılığı vardır. Artan sıcaklıklar tropik balıklar üzerinde ölümcül olmayan etkilere sahip olabileceğinden, termal izoliner kaydıkcı tropik türlerin kutba doğru bir genişleme yaşaması muhtemeldir. Kaynak yöneticileri endişelenmelidir. Çünkü sıcaklıktaki küçük bir artış, termal olarak optimal aralıkları değiştirmek için yeterli olabilir. Bu durum ılıman balıklarda meydana gelmiştir. Sıcaklıktaki küçük artışlar (1–2°C), özellikle değişen hidrolojik rejimin olası etkileriyle birleştğinde, tropikal balık fizyolojisi ve özellikle üreme üzerinde ölümcül olmayan etkilere sahip olmak için yeterli olabilir. *Labeo dussumieri* yıllık büyüme modelleri ve yumurtlama tarihleri yerel akış rejimlerine karşılık gelmektedir. Birçok tropikal balıkta yumurtlama, su seviyesinin yükselmesiyle gerçekleşir. Mevsimsel olarak su altında kalan bölgelerde yumurtlayan tropikal balıklar, kanal dışı alanlarda sürüklenen yavruların kaybı ve su seviyelerinin düşmesiyle açığa çıkan yumurtaların kurumması nedeniyle bir üreme yetersizliği yaşayabilir. Hidrograflardaki değişiklikler, daha fazla yumurtanın kurumaya maruz kalmasına neden olarak

veya akış artarsa yumurtaların ve genç balıkların hayatta kalması için çok derin ve çok soğuk suya batırılmasına yol açarak bu katılım yetersizliğinin büyüklüğünü artırabilir. Bazı araştırmalar tropikal balıkların yüksek sıcaklıklar ve düşük çözünmüş oksijen seviyeleri gibi kötü çevresel koşullara karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Ancak çevrelerindeki olası değişikliklerin yönü ve büyüklüğü konusunda önemli bir belirsizlik vardır. Ayrıca, birçok tropikal türün durumu ve biyolojik ihtiyaçları hakkındaki bilgi eksikliği, iklim değişikliğinin etkileri hakkında tahminlerde bulunmayı zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, değişen akış rejimlerinin etkilerinin sıcaklıktaki bir değişiklikten daha zararlı olması muhtemeldir. Tropikal sistemlerde küresel iklim değişikliğinin etkilerinin ormansızlaşma ve arazi kullanımı değişiklikleri gibi diğer daha büyük bozulmaların gölgesinde kalması da mümkündür. Küresel dolaşım modelleri kullanılarak yapılan son çalışmalar, Amazon havzasındaki ormansızlaşmanın Parana ve Paraguay Nehri havzalarında yağışı artırma ve Uruguay ve Negro Nehri havzalarında yağışı azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu tahminler doğru çıkarsa, balıkçılık verimliliği akış rejiminin değişmesiyle değişebilir. Ortam sıcaklığının sadece 1–2°C artmasıyla, ormansızlaşma, kirlilik ve aşırı avlanma gibi rahatsızlıklar muhtemelen balık popülasyonları için daha büyük ve daha acil bir tehdit oluşturacaktır. Öte yandan, birden fazla taksonun incelenmesi, iklim değişikliğinin doğal popülasyonları diğer antropojenik rahatsızlıklar kadar etkilediğini göstermektedir. Yine, bu etkiler türe özgü olacak ve ortalama sıcaklıklara ve bunların değişkenliğine, mevsimsel akarsu akışlarının büyüklüğü, süresi ve değişkenliğindeki değişikliklere ve iklim kaynaklı bu değişikliklerin diğer antropojenik stres faktörleriyle etkileşimlerine bağlı olacaktır. Birçok tropikal sistem, yüksek besin döngüsü, yüksek bakteri ayrışması oranları, makrofit gölgelemesi ve su bulanıklığı nedeniyle doğal olarak düşük oksijen seviyelerine sahiptir. Sığ göletler ve göller, yüksek verimlilikleri ve biyolojik oksijen ihtiyaçları nedeniyle çözünmüş oksijen ihtiyaçlarını yenilemek için fotosenteze bağımlıdır. Bu sistemlerde gece boyunca ve özellikle gün doğumundan hemen önce kritik derecede düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarıyla karşılaşmaktadır. Biyolojik oksijen ihtiyacındaki sıcaklığa bağlı bir artış, bu kritik periyodun büyüklüğünü (şafak öncesi düşük çözünmüş oksijen düzeylerini daha da tüketerek) veya süresini (çözünmüş oksijen arzını daha erken tüketerek) artırabilir, böylece hipoksik

koşullara daha toleranslı türler seçilebilir. Bu, potansiyel olarak bu sistemlerin topluluk yapısını ve taşıma kapasitesini değiştirebilir. Hipoksi ile baş etmeye yönelik adaptasyonlar en çok tropik balıklarda gelişmiştir. Örneğin bazı balıklar (*Arapaima gigas*), değiştirilmiş yüzme keseleri yoluyla hava solumaya başvurur. Ticari açıdan önemli olan *Colossoma macropomum* gibi diğerleri, oksijen açısından zengin hava-su arayüzünden yararlanır. Diğer balıklar daha iyi bir yaşam alanı bulmak için metabolik aşağı regülasyonu, anaerobik metabolik yolları veya karada kısa mesafeler kat etme yeteneğini kullanır. Hipoksik ve hatta anoksik ortamlarda varlığını sürdürebilme yeteneği maliyetsiz değildir. Balıkların hipoksi ile başa çıkmak için kullandığı fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar enerji açısından pahalı olabilir, büyüme ve üreme için mevcut enerji miktarını azaltabilir. Bu nedenle, artan su sıcaklıkları hipoksik olayların sıklığının veya süresinin artmasına neden oluyorsa, hayatta kalan türlerin büyüme oranlarında azalma ve üreme çıktısında azalma yaşaması muhtemeldir. Yetiştiricilerin mümkün olduğu kadar ekonomik ve hızlı bir şekilde hasat edilebilir büyüklükte balık üretme ihtiyacı nedeniyle bu durum su ürünleri yetiştiriciliği türleri için özellikle endişe verici olacaktır. Bu ihtiyacı engelleyen herhangi bir şey (hipoksi gibi) zararlıdır. Her ne kadar bazı yoğun kültür operasyonları, düşük oksijen seviyelerini dengelemek için havalandırmayı kullanabilse de, dünyadaki kültür balıklarının çoğu, havalandırmanın ya lojistik açıdan zor ya da aşırı pahalı olduğu açık hava havuzlarında yetiştiriliyor. Bu sistemlerdeki balıkların çoğu orta düzeydeki hipoksiyle başa çıkacak şekilde adapte olsa da, hala suda solunuma bağımlıdırlar. Dolayısıyla uzun süreli hipoksi veya anoksiye karşı savunmasızdırlar. Hava soluyan balıklar su sütunundaki hipoksi veya anoksiden daha az etkilenecektir. Ancak artan metabolizma muhtemelen daha sık yüzeye çıkmayı gerektirecektir, bu da enerji maliyetlerini ve avlanma riskini artırabilir.

Kutup ve yüksek enlem balıkları üzerindeki etkiler

Soğuk su ekosistemlerinde yaşayan balık türlerinin, küresel iklim değişikliğinin en belirgin etkilerinden biri olan sıcaklık artışından daha fazla etkileneceği beklenmektedir. Sıcaklıkların yükselmesiyle birlikte buharlaşma artmakta ve su hacmi azalmaktadır. Bu durum, sucul ortamlarda stok yoğunluğunun artmasına ve çözünmüş oksijen miktarının azalmasına yol açar.

Özellikle yüksek oksijen gereksinimi olan balık türleri için bu koşullar, yaşamlarını sürdürmelerini zorlaştıran ciddi sorunlara neden olabilir (Isaak ve ark., 2018; Alfonso ve ark., 2021).

Yüksek enlem bölgelerindeki tatlı su balıklarının çoğunun yaşam alanları ılıman kuşaklara kadar uzanır. Bu balıklar arasında somon balıkları ve Cottidae familyası gibi soğuk su stenotermi de yer alır. Bazı tatlı su balıkları Arktik'e özgüdür ve yüksek enlemlerde yaşarlar: *Dallia pectoralis* 71° Kuzey enlemine kadar görülebilir ve Arktik alabalığı Avrasya'da 79° Kuzey enlemine kadar kuzeyde bulunabilir. Bunun dışında, zorunlu kutup balıklarının neredeyse tamamı, *Harpagifer antarcticus* ve *Arctogadus glacialis* gibi deniz türleridir. Donmaya karşı dayanıklılık sağlayan fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlara rağmen, bu balıklar uygun yaşam alanı eksikliği nedeniyle kısıtlıdır. Tatlı su 0 °C'de donduğu için bu balıkların yaşam alanları, kışın ölmesi ve kısa büyüme mevsimi nedeniyle üst enlem sınırlarında sınırlıdır. Göletler, akan nehirler ve dereler gibi sığ su kütleleri daha yüksek enlemlerde donarak bu bölgelerdeki balıkların potansiyel yaşam alanlarını geçici olarak ortadan kaldırabilir. Kış ölümü, bir su kütesinin buzla kaplanması ve çözünmüş oksijenin fotosentez veya atmosferden difüzyon yoluyla yenilenememesi durumunda meydana gelir. Ancak biyolojik oksijen ihtiyacı azalarak da olsa devam etmekte ve ortaya çıkan çevresel hipoksi veya anoksi, çoğu su canlısı için öldürücü olmaktadır. En yüksek enlemlerdeki tatlı su sistemleri, üzerlerindeki kalıcı veya kalıcıya yakın buz örtüsü nedeniyle balıkları destekleyemez. Balıkların bulunduğu yerlerde, büyüme mevsimleri, kısa süreli su sıcaklıkları ve birincil üretimi desteklemeye yeterli ışık seviyeleri nedeniyle ciddi şekilde sınırlıdır. *Dallia pectoralis* antifriz proteinlerine sahip olan ve atmosferik havayı soluyabilen balıklar, bu tür koşullarda potansiyel olarak hayatta kalabilir. *Dallia pectoralis*, modifiye edilmiş bir yüzme kesesini solunum organı olarak kullanma yeteneğine sahip ve donma koşullarına karşı alışılmadık bir toleransı vardır. Deniz balıklarında antifriz proteinleri ve antifriz glikoproteinlerinin varlığı bilinirken, bu bileşiklerin tamamen tatlı su balığı olan *Hypomesus nipponensis*'te varlığı gösterilmiştir. Birçok ılıman ve tropikal balık için sunulan senaryoların aksine, küresel sıcaklıklardaki bir artışın aslında soğuk su stenotermilerinin kolonizasyonu için mevcut habitat miktarını arttırması mümkündür. Ancak, aynı zamanda yayılış alanları daha yüksek enlemlere doğru genişlerken, kendi yayılış alanları kutuplara doğru ilerleyen ılıman iklim

balıklarının rekabetiyle karşı karşıya kaldıklarından alt enlem sınırlarında daralabilirler. Sıcaklıkların değişmesi bu balıkların yaşam alanlarını da azaltabilir. Kutup bölgelerinde hayatta kalacak şekilde adapte oldukları için sıcaklık değişimlerine karşı son derece savunmasız olabilirler. Kutupsal tuzlu su balıkları nispeten yüksek sıcaklıklardan zarar gören hücresel yapıları onaran ısı şoku proteinleri üretme yeteneklerini kaybettiklerini göstermektedir. Bunun bu bölgelerdeki tatlı su balıkları için de geçerli olup olmadığının belirlenmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Isı şoku proteinlerinin eksikliği, iklim değişikliğine karşı hassasiyetlerini artırabilir. Küresel sıcaklıktaki değişiklikler, balık fizyolojisi üzerindeki doğrudan etkiler ve dolaylı olarak su kalitesi, su kimyası ve hidrograflar üzerindeki etkiler yoluyla balık topluluklarını ve bu topluluklara bağlı balıkçılığı etkileyecektir. Sıcaklıktaki artışın akut ve hatta kronik olarak ölümcül olduğunu kanıtlamak için yeterli olmadığı durumlarda bile, balık fizyolojisi, özellikle de büyüme ve üreme üzerindeki ölümcül olmayan etkiler, tropik bölgelerden arktik bölgelere kadar balık faunasının yapısında ve bileşiminde önemli değişikliklere neden olmak için yeterli olabilir. Küresel iklim değişikliğinin, bir balık türü için uygun ortamı belirleyen kritik fiziksel ve kimyasal özellikler üzerindeki etkileri, balık topluluklarının refahını ve kompozisyonunu belirlemede muhtemelen itici faktörler olacaktır.

Değişen balık toplulukları ve yeni zorluklara olası yanıtlar

Jeomorfoloji ve hidrolojik rejim gibi diğer faktörler de mevcut balık habitatını belirlese de, ılıman bölgedeki birçok tatlı su balığı türünün dağılımları, doğası gereği yükselti ve enlemsel olan sıcaklık izolinleri tarafından belirlenir. Balıklar, menzillerinin en yüksek enlem ve rakımlarında soğuk sıcaklıklarla sınırlıdır, çünkü büyüme mevsimleri, yavruların ilk yazlarında kışın açlıktan ölmek için yeterli büyüklüğe ulaşmalarına izin vermeyecek kadar kısadır. En düşük enlemlerdeki ve kendi aralıklarındaki yüksekliklerdeki sıcak su sıcaklıkları da sınırlayıcı faktörler haline gelir. Ayrıca drenajlar içinde, daha düşük rakımlardan gelen balıkların daha önce kendileri için çok soğuk olan akarsu boylarına doğru hareket edebildiği yerel hareketler de olabilir. Bu balıklar yeni ekosistemlerinde, muhtemelen benzer termal gereksinimleri paylaşan veya bazı durumlarda daha düşük termal toleranslara sahip yerli türler pahasına yer için rekabet edeceklerdir.

Parazit bulaşması konakçının durumuna, parazit yaşam döngüsü için gerekli ara konakçıların varlığına, su kalitesine ve sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla iklim değişikliği, bulaşma fırsatlarını ve konakçının duyarlılığını değiştirerek konakçı–parazit dinamiklerini değiştirebilir. Ilıman ve yarı arktik bölgelerdeki balıklar, artan bulaşma fırsatı nedeniyle artan parazit yükleriyle karşılaşabilir. Ilıman ve yarı arktik bölgelerde, kış sıcaklıkları, hem doğrudan hem de dolaylı mekanizmalar yoluyla parazitlerin mevcut stoku üzerinde önemli bir sınırlayıcı faktördür. Dolayısıyla daha sıcak kışlar, yıl boyunca enfeksiyon olasılığına ve bir yıl içinde birden fazla parazit oluşumuna izin verebilir. Tersine, bazı durumlarda daha sıcak kış sıcaklıkları hastalık ve parazitliğin etkisini azaltabilir. Yıllık sıcaklık aralıklarının geniş olduğu ılıman bölgelerde, pek çok fırsatçı parazit, balıkların henüz sert kış koşulları nedeniyle zayıflamış olduğu ilkbaharın başlarında bulaşır. Bu nedenle, daha ılıman geçen kışlarla ilişkili yüksek sıcaklıklar, kış stresini azaltarak enfeksiyon oranlarını düşürebilir. Her ne kadar son yıllarda yıl içi değişkenlik azalmış gibi görünse de (yüksek kış sıcaklıkları nedeniyle), aşırı hava olaylarının sıklığı arttı. Bu aşırı olaylar balık, parazit ve patojen popülasyonları üzerinde ek stres oluşturabilir ve daha sıcak kışların değişken etkileri olabilir. Değişen küresel sıcaklıklar balıkların hastalıklara karşı duyarlılığını da etkileyecektir. Çünkü balığın bağışıklık fonksiyonu yoğun stok, yüksek sıcaklıklar ve ozmotik stres gibi stres etkenlerinin varlığında tehlikeye girer. Örneğin, su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde bakteriyel hastalık oranları (furunküloz gibi) genellikle yüksek sıcaklıkta zirveye ulaşır. İklim değişikliğine eşlik eden göl limnolojisindeki değişiklikler de bulaşma oranlarını etkileyebilir. Soğuk su balıklarının daha küçük bir hipolimniyonda toplanması, potansiyel konakçıların yoğunluğunun artması nedeniyle parazit geçişini destekleyebilir. Akarsu ve nehir sistemlerinde parazit salgınları daha sık yaşanabilir. Uzun süreli düşük akış ve yüksek sıcaklık, gökkuşağı ve kahverengi alabalıklarda artan parazitizm ve hastalıkla ilişkilendirilmiştir. Balık topluluklarında bireysel türlerin dağılım değişikliklerinin neden olduğu değişiklikler, muhtemelen belirli sistemlerin parazit faunasının kompozisyonunu değiştirecektir. Daha sıcak bölgelerden göç eden balıklar, alıcı ortamdaki türler için yeni olan parazitler ve hastalıklar için konakçı veya vektör görevi görebilir. Her ne kadar birçok patojen veya parazit yeni bir ortamda yerleşmese de, bunu yapanlar yerli balık popülasyonlarını etkileyebilir. Mevcut veriler, küresel iklim

değişikliğinin parazit ve hastalık salgınları üzerindeki etkilerine ilişkin doğru, sahaya özgü tahminlere izin vermek için yetersizdir. Bununla birlikte parazitler, balıklar ve su kalitesi üzerinde gözlemlenen termal etkiler, küresel ısınmanın bazı balık patojenlerinin virülansını ve bazı parazitlerin bulaşmasını artırabileceğini, diğerlerinin ise azaltabileceğini düşündürmektedir. Bunun etkileri doğası gereği küreseldir ve hem yabani hem de kültür balıklarını kapsamaktadır. Parazitizm ve hastalık salgınları balıklarda ölüm oranlarının artmasına, büyüme oranlarının yavaşlamasına ve pazarlanabilirliğin azalmasına neden olabilir.

Değişen bir çevreyle karşı karşıya kalan balıklar uyum sağlamalı, göç etmeli veya yok olmalıdır. Balık popülasyonları, özellikle de büyük veya yaygın olarak dağılmış olanlar, genellikle kendi coğrafi aralıkları içinde değişen yüksek düzeyde heterojenliğe sahiptir. Örneğin, *Merluccius merluccius* ve *Fundulus heteroclitus*'taki genetik lokuslar enlem çizgisi boyunca değişiklik gösterir. İklim değişikliğinin mevcut hızı, fosil kayıtlarında kayıtlı diğer tüm hızlara rakip oluyor veya onları geride bırakıyor. Dolayısıyla değişen iklimin, bazı balık popülasyonlarının yeni seçici baskılara yanıt verme yeteneğini geride bırakması muhtemel. Tarihi kayıtlar ve fosil kayıtları, hayvanların ve bitkilerin iklim değişikliğine tepki olarak yaşam alanlarını değiştirme eğiliminde olduklarını gösteriyor. Bu da bazı genetik özelliklerin nispeten inatçı olduğunu gösteriyor. Türlerin uyum sağlama yeteneği, genetik esnekliklerine ve özgünleşme derecelerine bağlı olacaktır. Yerel koşullara uyum sağlayan alışmış neslinin tükenme olasılığı, genel adapte olanlardan daha fazladır. Küresel iklim değişikliği ılıman iklimdeki balıkların yayılış alanlarını daha yüksek enlemlere doğru kaydıracağından, bazı akarsu balıkları, coğrafi olarak izole edilmiş ortamlardaki balıklar ve lentik sistemlerdeki balıklar üzerinde potansiyel olarak ciddi etkiler yaratabilir. Kutuplara göç bazı türler için bir seçenek olabilir. Ancak doğu-batı yönelimli akarsu sistemlerindeki balıkların daha yüksek enlemlere taşınması aşırı mesafe ve fizyolojik engeller nedeniyle engellenecektir. Her ne kadar doğu-batı yönelimli akarsulardaki bazı balıklar daha düşük sıcaklık arayışı içinde yüksek rakımlı memba sularına doğru göç edebilse de, muhtemelen daha küçük akarsu boyutu ve alışılmadık habitat gibi tamamen yeni bir dizi çevresel zorlukla karşı karşıya kalacaklardır. Benzer şekilde, kuzey-güney yönelimli sistemlerde optimum sıcaklıkları aramaya zorlanan balıklar da muhtemelen yeni bir fiziksel çevreyle baş etmek zorunda

kalacaklardır. Bu farklılıkların büyüklüğü, menzil kaymasının boyutu ve nehrin boyutu ve boylamsal profili gibi faktörlere bağlı olacaktır. Ayrıca göçün önündeki fiziksel engeller yeni habitatların kolonileşmesini önleyecektir. Dünya çapında akarsular ve göl zincirleri, barajlar, su yönlendirme yapıları ve taşkın kontrol yapıları gibi insan yapımı engellerle parçalanmıştır. Bu değişiklikler balıkların yeni habitatlara geçme yeteneğini engelleyecektir. Kaynaklar ve göller gibi coğrafi olarak izole edilmiş sistemlerdeki balık popülasyonları esasen kapana kısılacak ve dolayısıyla yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalacak. *Coregonus nasus*, *Coregonus sonbaharalis* gibi Kuzey Kutup Dairesi'ne özgü balıklar da yeni zorluklarla karşılaşacak. Bu türler büyük ölçüde Kuzey Kutbu'na yakın ve Arktik enlemleriyle sınırlıdır ve zorunlu soğuk su stenothermleridir. Sıcaklıklar optimal olmayan koşullara yaklaştığında başka bir yere göç edemeyeceklerdir. Artan sıcaklıkların Arktika'ya uyum sağlayan bu balıkların azalmasına ve bölgesel olarak yok olmasına neden olması muhtemeldir. Göller gibi nispeten kapalı sistemlerdeki balıklar da potansiyel olarak zararlı sonuçlardan etkilenecektir (Ficke et al., 2007).

SONUÇ

Küresel ısınmanın olumsuz etkileri, sucul canlı popülasyonlarını dolaylı veya doğrudan etkilemektedir. Kronik sıcaklık artışına bağlı oluşan buharlaşma, tuzluluk artışı ve birim hacim başına düşen canlı yoğunluğunda artış gibi sonuçlar potansiyel stres faktörleridir. Küresel ısınmaya bağlı olarak abiyotik faktörlerde meydana gelen bu değişimler tek başlarına hareket etmezler ve sucul organizmalar üzerinde karmaşık ve potansiyel olarak sinerjik etkiler üreterek etkileşime girerler. Örneğin, daha sıcak su daha az çözünmüş oksijen içerir, bu nedenle daha yüksek sıcaklıklar düşük çözünmüş oksijen seviyelerinin olumsuz etkilerini şiddetlendirebilir (Jiang ve ark., 2021). Bu durum, gökkuşağı alabalıkları üzerindeki fizyolojik stresi daha da artırarak hipoksik koşullarla başa çıkma yeteneklerini azaltabilir. Artan tuzluluk, yüksek sıcaklıkların veya düşük oksijen seviyelerinin neden olduğu fizyolojik stresi yoğunlaştırabilir. Buharlaşmaya bağlı artan tuzluluk seviyeleri, sıcaklık ve çözünmüş oksijenle etkileşime girerek balıkların osmoregülatör kapasitelerini ve metabolik işlevlerini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu faktörlerin birleşik

etkileri kümülatif strese yol açabilir ve balıklar başta olmak üzere tüm sucul canlıların hayatta kalmasını tehlikeye atabilir.

Bununla birlikte, fosil yakıtların yoğun kullanımı, orman tahribatı ve endüstriyel faaliyetler sonucunda atmosfere salınan sera gazları, özellikle karbondioksit (CO₂), küresel ısınmanın temel itici gücünü oluşturmaktadır. Bu durum, yalnızca atmosfer sıcaklığını değil, aynı zamanda sucul ortamların fiziko-kimyasal özelliklerini de değiştirmekte; asidite artışı, termal stres ve biyolojik çeşitlilikte azalma gibi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Çalışmalar, buharlaşmaya bağlı belirli bir düzeye kadar artan tuzluluğun, özellikle anadrom balıklarda daha düşük stres etkisi oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, lagüner özelliklere sahip ve abiyotik değişimlere kolay adaptasyon sağlayan yavru balık türleri için daha çok geçerlidir. Bu nedenle, acı sularda yayılım gösteren ve anadrom özellikteki balık türlerinin iklim değişikliğinin zararlı etkilerinden nispeten daha az etkilendiği düşünülmektedir. Ancak, küresel ısınmanın etkileri, tatlı su kökenli balık türleri üzerinde daha ciddi olumsuz etkilere sahiptir. Okyanuslar ve denizler, iklim değişikliğine karşı küresel ölçekte en önemli tampon sistemlerden biri olarak işlev görmektedir. Bu doğal sular günümüze kadar atmosferde biriken fazla ısıнын %90'ından fazlasını ve antropojenik kaynaklı karbondioksitin yaklaşık %25'ini absorbe ederek, iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini önemli ölçüde hafifletmiştir. Ancak son yıllarda etkisi daha da hissedilen mevsimsel sıcaklık ortalamalarındaki artış, denizel ekosistemler üzerinde geri dönüşmesi güç olan ekolojik bozulmalara yol açmaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile doğal suların sıcaklık ortalamalarının artması ve beraberinde oluşan değişimler, sucul canlıları yayılım gösterdiği alanları terk etmeye ve yeni bölgelere yönelmeye zorlamaktadır. Denizel ortamda sıcaklık artışları, birçok demersal ve pelajik türün dağılım alanlarını kısıtlamakta ve üreme verimliliklerini düşürmektedir (Kayhan ve ark., 2015). Tüm bu değişimler ışığında öngörülen projeksiyon, türlerin adaptasyon kapasitelerine bağlı olarak, teritorial rekabet artışı ile birlikte sadece bazı türlerin çoğalmasına, özellikle soğuk suları seven türlerin ise toplu ölümlerine neden olacağı şeklindedir.

KAYNAKÇA

- Alfonso, S., Gesto, M., Sadoul, B. (2021). Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *Journal of Fish Biology*, 98(6), 1496-1508. <https://doi.org/10.1111/jfb.14599>
- Arnell, N. W., Gosling, S. N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387–401. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>
- Atar, H. H., Ataman, T. G. (2016). İklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkileri. *Ziraat Mühendisliği*, 363, 17–22.
- Bahri, T., Barange, M., Moustahfid, H. (2018). Climate change and aquatic system. In M. Barange, T. Bahri, M. C. M. Beveridge, K. L. Cochrane, S. Funge-Smith, F. Poulain (Ed.), *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options* (FAO Fisheries and aquaculture technical paper 627, pp. 1–17). Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- Barbarossa, V., Bosmans, J., Wanders, N., King, H., Bierkens, M. F. P., Huijbregts, M. A. J., Schipper, A. M. (2021). Threats of global warming to the world's freshwater fishes. *Nature Communications*, 12: 1701. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21655-w>
- Bly, J. E., Quiniou, S. M., Clem, L. W. (1997). Environmental effects on fish immune mechanisms. *Developments in biological standardization*, 90, 33-43. PMID: 9270832
- Dudgeon, D. (2019). Multiple threats imperiel freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R960–R967. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>
- Eddy, F. B. (2005). Ammonia in estuaries and effects on fish. *Journal of Fish Biology*, 67(6), 1495-1513. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2005.00930.x>
- Ficke, A. D., Myrick, C. A., Hansen, L. J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17, 581–613. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9059-5>
- Isaak, D. J., Luce, C. H., Horan, D. L., Chandler, G. L., Wollrab, S. P., Nagel, D. E. (2018). Global warming of salmon and trout rivers in the

- Northwestern US: road to ruin or path through purgatory? Transactions of the American Fisheries Society 147(3):566-587. <https://doi.org/10.1002/tafs.10059>
- Jiang, X., Dong, S., Liu, R., Huang, M., Dong, K., Ge, J. (2021). Effects of temperature, dissolved oxygen, and their interaction on the growth performance and condition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Thermal Biology, 98, 102928. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102928>
- Kayhan, F. E., Kaymak, G., Tartar, Ş., Akbulut, C., Esmer, H. E., Ertuğ, N. D. Y. (2015). Küresel ısınmanın balıklar ve deniz ekosistemleri üzerine etkileri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 31(3), 128-134
- Khalsa, N. S., Hodgdon, C. T., Mazur, M. D., Chen, Y. (2023). Climate-driven shifts in growth and maturity induce changes to the population and fishery dynamics of a high-value crustacean. Fisheries Research, 259, 106574. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106574>
- Ölmez, M., Saraç, D. (2009). The importance of pH for aquatic products. Agricultural Engineering, 353, 12-17
- Pankhurst, N. (1997). Temperature effects on the reproductive performance of Global warming: implications for freshwater and marine fish, (61), 159. DOI:10.1017/CBO9780511983375.008
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., Cooke, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. Biological Reviews, 94(3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brev.12480>
- Rugebregt, M. J., Nurhati, I. S. (2020). Preliminary study of ocean acidification: relationship of pH, temperature, and salinity in Ohoililir, Southeast Maluku. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 618, 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012004>
- Volkoff, H., Rønnestad, I. (2020). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. Temperature, 7(4), 307-320. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1765950>

- Yamada, T., Urabe, H., Nakamura, F. (2024). Pink salmon productivity is driven by catchment hydrogeomorphology and can decline under a changing climate. *Freshwater Biology*, 69(3), 376–386. <https://doi.org/10.1111/fwb.14217>
- Zgouridou, A., Tripidaki, E., Giantsis, I. A., Theodorou, J. A., Klaitzidou, M., Raitsos, D. E., Lattos, A., Mavropoulou, A. M., Sofianos, S., Karagiannis, D., Chaligiannis, I., Anestis, A., Papadakis, N., Feidantsis, K., Mintza, D., Staikou, A., Michaelidis, B. (2022). The current situation and potential effects of climate change on the microbial load of marine bivalves of the Greek coastlines: an integrative review. *Environmental Microbiology*, 24(3), 1012–1034. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15765>

BÖLÜM 4

ŞEKERPANCARI ÜRETİCİLERİNİN ŞEKER PANCARINA BAKIŞI: AMASYA ŞEKER PANCARI ÜRETİM SAHASI ÖRNEĞİ*

Zir. Yük. Müh. Melike ZENGİN¹

Doç. Dr. Kadir AKAN²

Prof. Dr. Mustafa KAN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763484>

¹ S.S. Amasya Pancar Ekicileri Kooperatifi, Hacılar Meydanı Yavuz Acar Caddesi No: 72 Amasya, E-mail: melikeblc37.mb@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0002-6074-9112>

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir, E-mail: kadir.akan@ahievran.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-1612859X>

³ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Kırşehir, E-mail: mustafa.kan@ahievran.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-9198-5906>

*Bu çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Koruma ABD’de yüksek lisansını tamamlamış olan Melike ZENGİN’in “*Şeker Pancarı Üreticilerinin Tarımsal Mücadele Eğilimlerinin Analizi: Amasya Şeker Fabrikası Üretim Sahası Örneği*” adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Bitkisel üretim sektörü, hem ekonomik kalkınmanın hem de toplumsal refahın sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, şeker pancarı (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris* var. *altissima*), dünya genelinde ve Türkiye’de sanayi için temel bitkisel ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Şeker pancarından elde edilen şeker, yalnızca insan beslenmesinin temel bileşenlerinden biri değildir; aynı zamanda üretim sürecinde ortaya çıkan yan ürünler ve sağladığı istihdam olanakları ile tarımsal ekonomiye çok yönlü katkı sunmaktadır.

Küresel düzeyde şeker üretimi esas olarak şeker pancarı ve şeker kamışından yapılmaktadır. Son yıllarda, dünya şeker üretiminin yaklaşık beşte biri şeker pancarından karşılanmaktadır ve Türkiye bu alanda önemli üretici ülkeler arasında yer almaktadır (FAOSTAT, 2025). 2023 yılı verilerine göre, dünya genelinde 4,5 milyon hektarlık alanda şeker pancarı üretimi yapılmış ve toplam üretim 281 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Rusya Federasyonu, ABD, Fransa, Almanya ve Türkiye, şeker pancarı üretiminde önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır (FAOSTAT, 2025).

Şeker pancarı üretimi yalnızca şeker elde etmek amacıyla değil, aynı zamanda gıda, hayvancılık ve çeşitli sanayi kolları için değerli yan ürünlerin temini açısından da stratejik bir rol üstlenmektedir. Melas ve küspe gibi yan ürünler hayvan yemi ve endüstriyel hammaddeler olarak kullanılırken, şeker pancarından elde edilen diğer bileşenler de biyoteknoloji ve enerji sektörlerinde değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, şeker pancarı üretiminde karşılaşılan biyotik ve abiyotik stres faktörleri, verim ve kalite üzerinde değişen düzeylerde olumsuz etkiler oluşturabilmekte, bu durum sürdürülebilir üretim tekniklerinin ve entegre mücadele yöntemlerinin önemini artırmaktadır.

Türkiye’de şeker pancarı üretimi, 4634 Sayılı Şeker Kanunu ve ilgili mevzuat çerçevesinde düzenlenmekte olup, ülke genelinde 33 pancar şekeri fabrikası faaliyet göstermektedir. Sektörün yıllık ekonomik hacmi yaklaşık 38,5 milyar TL’ye ulaşmakta, bu da şeker pancarının ulusal tarım politikalarındaki yerini daha da güçlendirmektedir (TEPGE, 2025). Son yıllarda üretim miktarlarında ve verimlilikte yaşanan dalgalanmalar, hem küresel hem de ulusal düzeyde şeker piyasasının dinamiklerini etkilemektedir (PŞÜD, 2025).

Bu araştırma, Amasya Şeker Fabrikası üretim sahasında faaliyet gösteren şeker pancarı üreticilerinin, şeker pancarı üretimine ilişkin bilgi düzeylerini kapsamlı biçimde değerlendirmektir. Üreticilerin üretim stratejilerinin şekillenmesinde tarımsal deneyim, eğitim seviyesi, ekonomik koşullar ve bilgiye erişim olanakları gibi çok yönlü etkenlerin rol oynadığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, üreticilerin bilgi düzeyinin yanı sıra tarımsal danışmanlık hizmetlerinden yararlanma oranlarının da sürdürülebilir ve yüksek verimli şeker pancarı üretimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, hem üretim verimliliğinin artırılması hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından, üreticilerin bilgiye erişiminin ve danışmanlık hizmetlerinden yararlanmasının kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu araştırmanın materyalini, Amasya Şeker Fabrikası üretim sahasında faaliyet gösteren şeker pancarı üreticileri oluşturmaktadır. Çalışma, Amasya ilinin Merkez, Göynücek, Gümüşhacıköy, Merzifon, Suluova ve Taşova ilçeleri ile Tokat ilinin Erbaa ve Samsun ilinin Havza ve Vezirköprü ilçelerinde şeker pancarı üretimi yapan üreticileri kapsamaktadır. Araştırmanın ana veri kaynağı, 2023 ve 2024 üretim sezonlarında bu bölgelerde faaliyet gösteren üreticilerle gerçekleştirilen yüz yüze anketlerdir. Anketler aracılığıyla, üreticilerin üretim süreçlerinde kullandıkları bitkisel üretim yöntemleri ve sosyo-ekonomik özellikleri hakkında bilgiler toplanmıştır.

Bunun yanı sıra, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), FAOSTAT, Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), Strateji ve Bütçe Dairesi Başkanlığı (SBB), sivil toplum kuruluşları ve özel sektör raporları gibi çeşitli kurumsal kaynaklardan elde edilen istatistiki veriler; bilimsel makaleler, ulusal ve uluslararası araştırmalar, tezler, sektörel toplantı raporları ve güncel internet kaynakları da ikincil veri olarak değerlendirilmiştir. Bu ikincil veriler, anketlerden elde edilen birincil verilerle birleştirilerek analiz edilmiştir.

Metot

Araştırmada, zaman ve ekonomik kısıtlar nedeniyle tüm üreticilerle görüşme yapılması mümkün olmadığından, tabakalı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Amasya Tarım ve Orman İl Müdürlüğü'nün 2022 yılı kayıtlarına

göre (ATOBİM, 2025), çalışma alanında toplam 4.210 şeker pancarı üreticisi olduğu belirlenmiştir. Çalışma popülasyonunun heterojen yapısı göz önünde bulundurularak, üreticiler üretim alanlarına göre üç tabakaya ayrılmış ve her tabakadan rastgele örnekler seçilmiştir. Örneklem büyüklüğü, Neyman formülü esas alınarak belirlenmiş ve uç değer olarak tanımlanan dört üretici analiz dışında bırakılmıştır. Tabakalı örnekleme yöntemiyle, farklı üretici gruplarının temsiliyeti (Tablo 1) sağlanmış ve verilerin güvenilirliği artırılmıştır (Yamane, 2001).

$$n = \frac{(\sum N_h S_h)^2}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2}$$

n : Örnek hacmi
 N : Toplam üretici sayısı
 N_h : Tabakada ki üretici sayısı
 D=d/z olup
 d : Öngörülen sapma miktarı
 z : Standart normal dağılım değeri
 S_h² : Tabaka varyansı

Tablo 1. Tabakalara Göre Örnek Sayıları

Tabaka	Popülasyon Sayısı	Varyasyon Katsayısı	Örnek Sayısı
0,10-10,00 da	2238	43	47
10,01-30,00 da	1582	32	74
30,01-+ da	390	38	63
Toplam	4.210		184

Anket formunun geliştirilmesinde, daha önce benzer konularda yapılmış çalışmalar incelenmiş; Amasya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü teknik personelinin görüşleri ve bazı üreticilerin önerileri dikkate alınmıştır. Anket uygulaması doğrudan araştırmacılar tarafından yürütülmüş ve hata payı en aza indirilmiştir. Anketlerde, yapılandırılmış ve yarı yapılandırılmış soru formları kullanılmış; ölçeklendirme amacıyla ise 5’li Likert ölçeği tercih edilmiştir. Sorular, hem olumlu hem de olumsuz ifadeler içerecek şekilde hazırlanmış ve katılımcıların görüşleri “Kesinlikle Katılıyorum”dan “Kesinlikle Katılmıyorum”a kadar derecelendirilerek alınmıştır (Köklü, 1995).

Araştırmada toplanan veriler, IBM SPSS Statistics (Sürüm 29) paket programı (IBM Corp., 2025) ile analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde, değişkenlerin frekans ve yüzde dağılımları hesaplanmış, çapraz tablolar oluşturulmuş ve veriler belirli kategoriler altında gruplandırılmıştır. İstatistiksel analizlerde, anket yoluyla araştırma bölgesinden toplanan “evet-hayır” gibi iki veya daha fazla seçeneikli kategorik verilerin analizinde ki-kare analizinden yararlanılmıştır (Kesici ve Kocabaş, 2007). Araştırma bulguları, şeker pancarı üreticilerinin demografik ve sosyo-ekonomik değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir.

Bu çalışma için Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Kurulu Etik Kurulu tarafından etik kurul izni alınarak, etik ilkelere uygun olarak hazırlanmıştır (Karar Tarihi: 18.04.2024, Karar No: 2024/11, Etik Kurul Sayısı ve Tarihi: E-30684474-202.03.02-00000581490, 21.11.2023).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Katılımcıların Demografik, Ekonomik ve Tarımsal Profili

Yaş ve Eğitim Yapısı; Araştırmaya katılan üreticilerin yaş dağılımı incelendiğinde, ortalama yaşın 47,12 olduğu, en genç katılımcının 21, en yaşlı katılımcının ise 80 yaşında olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların yaş dağılımında en sık karşılaşılan yaş 45 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, Demirkan ve Uysal (2011), Demir (2019), Şahin (2022) ve Arık (2024) gibi önceki çalışmalarda da benzer şekilde rapor edilmiştir.

Eğitim düzeyi incelendiğinde, katılımcıların %2,66'sının yalnızca okur-yazar olduğu, %30,85'inin ilköğretim, %46,28'inin lise, %7,98'inin yüksekokul ve %12,23'ünün ise lisans mezunu olduğu görülmektedir (Tablo 2). Benzer çalışmalarda (Demir, 2019; Ediboğlu, 2019; Duman, 2024), tarımda eğitim düzeyinin genellikle ilköğretim ve lise seviyesinde yoğunlaştığı, yükseköğretim mezunu oranının ise düşük olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada ise yükseköğretim mezunu oranının görece yüksek çıkması, bölgesel farklar ve son yıllarda tarımsal üretime yönelen genç ve eğitilmiş nüfusun artışı ile ilişkilendirilebilir.

Medeni Durum ve Mesleki Deneyim; Katılımcıların medeni durumları değerlendirildiğinde, %75'inin evli, %25'inin ise bekar olduğu saptanmıştır.

Bitkisel üretim deneyimi açısından, ortalama deneyim süresi 30 yıl olup, minimum 3 yıl ve maksimum 65 yıl arasında değişmektedir. Şeker pancarı üretiminde ise ortalama deneyim süresi 28 yıl olarak hesaplanmıştır. Katılımcıların esas meslekleri incelendiğinde, %72,87'sinin çiftçi olduğu, bunu ise işçi (%7,45), serbest meslek (%3,72), memur (%3,72), mühendis (%2,66), esnaf (%2,66), operatör (%1,60), şoför (%1,06), öğretmen (%1,06), aşçı (%0,53), inşaat işçisi (%0,53), direksiyon eğitmeni (%0,53), ziraat mühendisi (%0,53), emlakçı (%0,53) ve terzi (%0,53) meslekleri izlemektedir (Tablo 2).

Gelir ve Zaman Dağılımı; Katılımcıların ana gelir kaynağı olarak tarımsal üretimin payı ortalama %81 olup, bu oran minimum %30 ve maksimum %100 arasında değişmektedir. Katılımcıların %60'ında tarımsal üretim dışı gelir de bulunmaktadır. Tarımsal gelirin dağılımı incelendiğinde, bitkisel üretimin ortalama %84, hayvansal üretimin ise ortalama %16 oranında olduğu belirlenmiştir. Yıllık tahmini gelir ortalaması 1.800.000 TL olup, bu değer in standart sapması 1.200.000 TL'dir. Katılımcıların yıllık gelirleri minimum 400.000 TL, maksimum ise 5.000.000 TL olarak kaydedilmiştir (Tablo 2).

Katılımcıların işlere ayırdıkları zaman incelendiğinde, tarıma ortalama %80, tarım dışı işlere ise ortalama %20 oranında zaman ayırdıkları belirlenmiştir (Tablo 2).

Aile Bireylerinin Yaş ve Cinsiyete Göre Dağılımı; 0-6 yaş grubunda kadınların oranı %0,26, erkeklerin oranı ise %0,79'dur. 7-14 yaş grubunda kadınlar %9,45, erkekler %10,50 oranındadır. 15-49 yaş aralığında kadınların oranı %19,42, erkeklerin oranı %21,65 olarak belirlenmiştir. 50 yaş ve üzeri grupta ise kadınlar %19,16, erkekler %18,77 oranındadır. Toplamda, aile bireylerinin %48,29'unu kadınlar, %51,71'ini ise erkekler oluşturmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Katılımcıların Demografik, Ekonomik ve Tarımsal Profili

Tanımlama	Değer / Dağılım
Yaş	Ortalama: 47,12 yıl, En az: 21 yıl, En çok: 80 yıl, En sık: 45 yıl
Eğitim Durumu	Okuma-yazma var: 5 (%2,66), İlköğretim: 58 (%30,85), Lise: 87 (%46,28), Yüksekokul: 15 (%7,98), Lisans: 23 (%12,23)
Medeni Durum	Evli: 141 (%75), Bekar: 47 (%25)
Bitkisel Üretim Deneyimi	Ortalama: 30 yıl, En az: 3 yıl, En çok: 65 yıl, En sık: 30 yıl
Şeker Pancarı Üretim Deneyimi	Ortalama: 28 yıl, En az: 2 yıl, En çok: 65 yıl, En sık: 30 yıl
Esas Meslek	Çiftçi: 137 (%72,87), İşçi: 14 (%7,45), Serbest Meslek: 7 (%3,72), Memur: 7 (%3,72), Mühendis: 5 (%2,66), Esnaf: 5 (%2,66), Operatör: 3 (%1,60), Şoför: 2 (%1,06), Öğretmen: 2 (%1,06), Aşçı: 1 (%0,53), İnşaat İşçisi: 1 (%0,53), Direksiyon Eğitmeni: 1 (%0,53), Ziraat Mühendisi: 1 (%0,53), Emlakçı: 1 (%0,53), Terzi: 1 (%0,53)
Ana Gelir Kaynağı (Tarım) (%)	Ortalama: 81(%), Standart Sapma: 23,57, Minimum: 30, Maksimum: 100
Tarım Dışı Gelir Varlığı (%)	Ortalama: 60 (%), Standart Sapma: 0,00, Minimum: 60, Maksimum: 60
Tarımsal Gelirin Dağılımı	Bitkisel: Ortalama 84 (%), Standart Sapma: 20,00, Minimum: 50, Maksimum: 100; Hayvansal: Ortalama 16 (%), Standart Sapma: 20,00, Minimum: 0, Maksimum: 50
Yıllık Tahmini Gelir (TL)	Ortalama: 1.800.000 TL, Standart Sapma: 1.200.000, Minimum: 400.000, Maksimum: 5.000.000
İşlere Ayırılan Zaman (%)	Tarım: Ortalama 80 (%), Standart Sapma: 30,00, Minimum: 30, Maksimum: 100; Tarım Dışı: Ortalama 20 (%), Standart Sapma: 30,00, Minimum: 0, Maksimum: 60
Beraber Yaşayan Aile Bireylerinin Yaş ve Cinsiyete Göre Dağılımı	
0-6 yaş	Kadın: 2 (%0,54, Genel: %0,26), Erkek: 6 (%1,52, Genel: %0,79)
7-14 yaş	Kadın: 72 (%19,57, Genel: %9,45), Erkek: 80 (%20,30, Genel: %10,50)
15-49 yaş	Kadın: 148 (%40,22, Genel: %19,42), Erkek: 165 (%41,88, Genel: %21,65)
50+ yaş	Kadın: 146 (%39,67, Genel: %19,16), Erkek: 143 (%36,29, Genel: %18,77)
Toplam (762)	Kadın: 368 (Genel: %48,29), Erkek: 394 (Genel: %51,71)

Bölge üreticilerinin ekonomik ve demografik profili, tarımsal üretimin hâlâ ana geçim kaynağı olduğunu, bitkisel üretimin ve aile işgücünün belirleyici rol oynadığını, eğitim düzeyinin ve genç nüfusun tarıma ilgisinin

arttığını göstermektedir (Tablo 2). Bulgular, önceki çalışmalarla da uyumludur ve bölge tarımının sürdürülebilirliği açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

İşletmelerin Tarımsal Üretim ve Mekanizasyon Profili

Ekilebilir alan ve üretim deseni; Şeker pancarı üreticilerinin toplam ekilebilir alanlarının büyük kısmı (%85'ten fazlası) kendilerine ait ve sulu tarım yapılan arazilerden oluşmaktadır. Kiralık ve kuru tarım yapılan alanların oranı ise oldukça düşüktür (Tablo 3). Bu durum, şeker pancarının verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından çoğunlukla sulu ve mülkiyeti üreticiye ait arazilerde yetiştirildiğini göstermektedir (Demir, 2019; Koç ve Bulut, 2016; Şahin, 2022; Eser ve Bahşi, 2020; Duman, 2024). İşletmelerin kendilerine ait sulu arazileri toplam 35.001 dekar, kuru arazileri ise 4.413 dekar olarak belirlenmiştir. Kiralanan arazilerde sulu alanlar 5.200 dekar, kuru alanlar ise 220 dekar düzeyindedir. Ortak kullanılan sulu alanlar 1.720 dekar olup, ortak kullanılan kuru alan bulunmamaktadır (Tablo 3). Üretim alanlarının dağılımı incelendiğinde, tarla bitkilerinin büyük ölçüde kendine ait sulu alanlarda (26.668 dekar) gerçekleştirildiği, kuru alanlarda ise 3.660 dekar üretim yapıldığı görülmektedir. Kiralık ve ortak alanlarda ise tarla bitkileri üretimi sınırlı düzeydedir.

Üreticiler, arazilerinin yaklaşık %20'sini şeker pancarına ayırmaktadır. Şeker pancarı üretimi esas olarak kendine ait sulu alanlarda (6.663 dekar) yapılmaktadır. Kiralık sulu alanlarda ise 710 dekar şeker pancarı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bahçe bitkileri üretimi ise yalnızca kendine ait sulu alanlarda (30 dekar) yapılmaktadır. Nadas alanı ise toplamda 780 dekar olup, bunun 550 dekarı sulu, 230 dekarı kuru arazilerden oluşmaktadır (Tablo 3). Ortalama şeker pancarı verimi 6.803,19 kg/da olarak tespit edilmiştir. 2024 yılı için şeker pancarının satış fiyatı ise 2,375 TL/kg'dır (Tablo 3). Bu durum, modern tarım teknikleri ve sulama olanaklarının etkin kullanıldığını göstermektedir. 2024 yılı satış fiyatı ve sözleşmeli üretim modeli, üreticilerin risk algısını azaltmakta ve üretimi cazip kılmaktadır.

Hayvan varlığı ve ekonomik değerler; İşletmelerin hayvan varlığı ve bu varlıkların ekonomik değerleri Tablo 3'de detaylı olarak gösterilmiştir. Büyükbaş hayvanlar arasında en yüksek sayıya sahip grup ineklerdir (1.374 adet), toplam ekonomik değerleri 202.950.000 TL ve ortalama değerleri 107.950 TL'dir. Boğa, düve, tosun ve dana gibi diğer büyükbaş hayvan

gruplarında ise sırasıyla 23, 127, 125 ve 202 adet hayvan bulunmaktadır. Bu grupların toplam ekonomik değerleri sırasıyla 3.450.000 TL, 17.560.000 TL, 125.000 TL ve 9.620.000 TL olarak hesaplanmıştır. Küçükbaş hayvan varlığı ise 180 adet koyun-keçi ile sınırlı olup, toplam ekonomik değeri 4.150.000 TL'dir. Kanatlı hayvan varlığı ise 80 adet olup, toplam değeri 11.000 TL'dir. Diğer küçükbaş ve büyükbaş hayvan gruplarında ise hayvan bulunmamaktadır (Tablo 3).

Alet ve ekipman profili; İşletmelerin sahip olduğu alet ve ekipman varlığı ile bunların toplam ekonomik değerleri Tablo 3'de sunulmuştur. Araştırma kapsamındaki işletmelerde toplam 7 biçerdöver (6.500.000 TL), 303 traktör (251.500.000 TL), 294 pulluk (23.255.000 TL), 180 mibzer (27.780.000 TL), 75 şeker pancarı mibzeri (13.440.000 TL) ve 42 şeker pancarı söküm makinesi (9.300.000 TL) bulunmaktadır. Bu veriler, işletmelerin mekanizasyon düzeyinin oldukça yüksek olduğunu ve modern tarımsal üretim tekniklerine erişimlerinin güçlü olduğunu göstermektedir (Tablo 3). Şeker pancarı üreticilerinin arazi mülkiyeti, sulama, hayvancılık ve mekanizasyon açısından güçlü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, sektörde verimlilik, sürdürülebilirlik ve ekonomik planlama açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Tablo 3. İşletmelerin Ekilebilir Alan, Hayvan Varlığı ve Alet-Ekipman Profili

Tanımlama	Değer / Dağılım
Ekilebilir Alan (dekar)	
Kendisine ait (Sulu/Kuru)	Sulu: 35.001, Kuru: 4.413
Kira (Sulu/Kuru)	Sulu: 5.200, Kuru: 220
Ortak (Sulu/Kuru)	Sulu: 1.720, Kuru: 0
Üretim Alanı (dekar)	
Tarla Bitkileri	Kendisine ait: Sulu: 26.668, Kuru: 3.660; Kira: Sulu: 260, Kuru: 0; Ortak: Sulu: 70, Kuru: 0
Şeker Pancarı	Kendisine ait: Sulu: 6.663
Bahçe Bitkileri	Kendisine ait: Sulu: 30
Nadas Alanı	Kendisine ait: Sulu: 550, Kuru: 230; Kira ve Ortak: 0
Ortalama Şeker Pancarı Verimi (kg/da)	6.803,19
2024 Yılı Şeker Pancarı Satış Fiyatı (TL/Kg)	2,375

Tablo 3 (Devam) İşletmelerin Ekilebilir Alan, Hayvan Varlığı ve Alet-Ekipman Profili

Hayvan Varlığı ve Ekonomik Değerleri	
Büyükbaş - Boğa	Adet: 23, Toplam Değer: 3.450.000 TL, Ortalama Değer: 183.510 TL
Büyükbaş - İnek	Adet: 1.374, Toplam Değer: 202.950.000 TL, Ortalama Değer: 107.950 TL
Büyükbaş - Düve	Adet: 127, Toplam Değer: 17.560.000 TL, Ortalama Değer: 93.404 TL
Büyükbaş - Tosun	Adet: 125, Toplam Değer: 125.000 TL, Ortalama Değer: 100.000 TL
Büyükbaş - Dana	Adet: 202, Toplam Değer: 9.620.000 TL, Ortalama Değer: 51.170 TL
Büyükbaş - Buzağı	Adet: 0, Toplam Değer: 0 TL, Ortalama Değer: 0 TL
Küçükbaş - Koç-Teke	Adet: 0, Toplam Değer: 0 TL, Ortalama Değer: 0 TL
Küçükbaş - Koyun-Keçi	Adet: 180, Toplam Değer: 4.150.000 TL, Ortalama Değer: 22.074 TL
Küçükbaş - Toklu	Adet: 0, Toplam Değer: 0 TL, Ortalama Değer: 0 TL
Küçükbaş - Kuzu-Oğlak	Adet: 0, Toplam Değer: 0 TL, Ortalama Değer: 0 TL
Kanatlı Hayvan	Adet: 80, Toplam Değer: 11.000 TL, Ortalama Değer: 58 TL
Alet ve Ekipman Varlığı ile Toplam Değerleri	
Biçerdöver	Adet: 7, Toplam Değer: 6.500.000 TL
Traktör	Adet: 303, Toplam Değer: 251.500.000 TL
Pulluk	Adet: 294, Toplam Değer: 23.255.000 TL
Mibzer	Adet: 180, Toplam Değer: 27.780.000 TL
Şeker Pancarı Mibzeri	Adet: 75, Toplam Değer: 13.440.000 TL
Şeker Pancarı Söküm Makinesi	Adet: 42, Toplam Değer: 9.300.000 TL

Şeker Pancarı Üretiminde Bilgi Kaynakları ve Tercih Sıraları

Üreticilerin bilgiye erişim yöntemleri; Araştırma bulgularına göre, üreticilerin tamamı (%100,0) Amasya Pancar Ekicileri Kooperatifi'ni birincil bilgi kaynağı olarak tercih etmektedir. Bu durum, kooperatifin bölgedeki bilgi akışında merkezi bir rol üstlendiğini göstermektedir. Şeker fabrikası ise üreticilerin %74,1'i tarafından bilgi kaynağı olarak kullanılmakta ve özellikle ikinci sırada tercih edilmektedir (Tablo 4). Bu bulgu, kooperatiflerin bilgi transferi ve teknik destek açısından merkezi bir rol üstlendiğini göstermekte ve literatürde de benzer şekilde vurgulanmaktadır (Koç ve Bulut, 2016; Demir, 2019; Duman, 2024).

Özel sektörde faaliyet gösteren uzmanlar (gübre, ilaç bayileri ve özel tarım danışmanları) da üreticiler için önemli bir bilgi kaynağıdır. Üreticilerin %96,2'si bu gruptan bilgi aldığını belirtmiştir. Bu kaynak, özellikle üçüncü

sırada öne çıkmaktadır. Önder çiftçiler ise %21,1 oranında tercih edilmekte olup, genellikle ikinci ve üçüncü sırada başvuru alan bir bilgi kaynağıdır.

Kendi deneyimine başvuran üreticilerin oranı %7,0 ile sınırlı kalırken, komşu ve akrabalarından bilgi alanların oranı %2,2'dir. Aile bireyleri, TV/radyo/internet gibi kaynaklar ise oldukça düşük oranlarda tercih edilmektedir. İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, TAGEM, Üniversite, Tarım Kredi Kooperatifi gibi kurumsal bilgi kaynaklarının ise üreticiler tarafından hiç tercih edilmediği görülmektedir (Tablo 4). Bu bulgu, kamu yayım hizmetlerinin etkinliğinin sınırlı kaldığını ve üreticilerin daha çok uygulamaya dönük, hızlı ve güvenilir bilgiye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Şeker Pancarı Üretiminde Üreticilerin Başvurduğu Bilgi Kaynakları ve Tercih Sıraları

Bilgi Kaynakları	1. Öncelik	2. Öncelik	3. Öncelik	Toplam	Oran (%)
Bilgi kaynağı yok (Kendi tecrübesi)	0	7	6	13	7,0
Eşi	1	0	0	1	0,5
Komşular-akrabalar	4	0	0	4	2,2
Önder Çiftçiler	1	19	19	39	21,1
Muhtar	0	0	0	0	0,0
TV-Radyo-İnternet	0	1	6	7	3,8
Gazete, dergi vs.	0	0	0	0	0,0
İl Tarım ve Orman İl/İlçe Müdürlüğü	0	0	0	0	0,0
TAGEM ve Diğer Araştırma Enstitüleri	0	0	0	0	0,0
Üniversite	0	0	0	0	0,0
Tarım Kredi Kooperatifi	0	0	0	0	0,0
Amasya Pancar Ekicileri Kooperatifi	144	40	1	185	100,0
Şeker Fabrikası	16	100	21	137	74,1
Özel sektördeki uzmanlar (Gübre, İlaç vb. bayiler ve özel tarım danışmanları)	22	21	135	178	96,2

Üreticilerin Bitkisel Üretim ve Şeker Pancarı Üretimindeki Tutum ve Yeterlilikleri

Bitkisel üretimde yenilikçilik ve bilgi paylaşımı; Katılımcıların büyük çoğunluğu, bitkisel üretim alanında yenilikleri takip ettiklerini belirtmiş olup, bu ifadenin ortalama puanı 4,04'tür. Benzer şekilde, "Sorunlara yeni çözüm

önerileri araştırırım” ifadesine verilen ortalama puan 4,24 ile yüksek bir düzeydedir. “Yeni teknolojiyi kullanırım” ifadesi ise 3,91 ortalama ile katılımcıların teknolojiye açık olduklarını göstermektedir (Tablo 5). Bu bulgu, literatürde de benzer şekilde vurgulanmıştır (Demir, 2019; Şahin, 2022; Duman, 2024). Bununla birlikte, “Yenilikleri ilk ben uygulayım” ifadesine verilen ortalama puan 1,00’dır. Bu durum, katılımcıların yenilikleri uygulamada öncülük etme eğilimlerinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Tablo 5).

Şeker pancarı üretiminde tutum ve yeterlilik; Şeker pancarı üretimi özelinde değerlendirildiğinde, “Şeker pancarı üretimi için yeterli alet-ekipman varlığına sahibim” ve “Şeker pancarı üretiminde yeterli bilgiye ve tecrübeye sahibim” ifadelerine verilen ortalama puanların 1,00’de kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, katılımcıların şeker pancarı üretiminde hem donanım hem de bilgi-tecrübe açısından kendilerini yetersiz hissettiklerini göstermektedir (Tablo 5). Özellikle şeker pancarı üretiminde yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olunduğuna dair düşük oranlar, üreticilerin bu alanda daha fazla teknik desteğe ve bilgiye ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Eser ve Bahşi (2020) ile Duman (2024) çalışmalarında da üreticilerin şeker pancarı özelinde uygulama ve bilgi eksikliği yaşadıkları belirtilmiştir.

Sosyal paylaşım ve katılım; Katılımcıların sosyal paylaşım ve katılım eğilimleri incelendiğinde, “Diğer insanlarla bitkisel üretim konuları tartışmasını severim” ifadesine verilen ortalama puan 5,00 ile en yüksek düzeydedir. Bu durum, üreticilerin bilgi paylaşımına ve sosyal etkileşime açık olduklarını göstermektedir. Ancak, “Bildiğim/uyguladığım bitkisel üretim uygulamalarını çevremle paylaşırım” ve “Bitkisel üretimde risk almayı severim” ifadelerine verilen ortalama puanların 1,00 olması, bu alanlarda katılımcıların oldukça çekingen davrandıklarını ortaya koymaktadır. “Bitkisel üretim konusunda çevremdekiler benden bilgi alırlar” ifadesine verilen ortalama puan 3,16 ile orta düzeydedir. Katılımcıların kurum ve kuruluşlarla iletişim kurma eğilimleri ise oldukça düşük düzeydedir (1,00). Toplantı ve fuarlara katılım düzeyleri ise sırasıyla 3,76 ve 3,74 ortalama puan ile orta seviyededir. “Bitkisel üretimde yeterli bilgiye ve tecrübeye sahibim” ifadesine verilen ortalama puan ise 3,92’dir (Tablo 5). Şeker pancarı üreticileri genel olarak yeniliklere ve teknolojiye açık olmakla birlikte, şeker pancarı üretimi

özelinde bilgi ve uygulama eksikliği yaşamakta, ayrıca kurumsal bilgi kaynaklarına erişimde isteksiz davranmaktadır (Tablo 4). Bu durum, sektörde bilgi transferi ve teknik destek mekanizmalarının güçlendirilmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

Tablo 5. Üreticilerin Bitkisel Üretim ve Şeker Pancarı Üretimindeki Tutum ve Yeterlilikleri (1: Kesinlikle Katılmıyorum – 5: Kesinlikle Katılıyorum)

Alet Ekipman / Tutum	1	2	3	4	5	Ort.
Bitkisel Üretim Alanında Yenilikleri Takip Ederim	1	8	11	129	39	4,04
Yenilikleri İlk Ben Uygularım	188	0	0	0	0	1,00
Sorunlara Yeni Çözüm Önerileri Araştırırım	3	3	5	111	66	4,24
Yeni Teknolojiyi Kullanırım	1	7	31	117	32	3,91
Bitkisel Üretim İçin Yeterli Alet-Ekipman Varlığına Sahibim	1	3	33	93	58	4,08
Şeker pancarı Üretimi İçin Yeterli Alet-Ekipman Varlığına Sahibim	188	0	0	0	0	1,00
Diğer İnsanlarla Bitkisel Üretim Konuları Tartışmasını Severim	0	0	0	0	188	5,00
Bildiğim/Uyguladığım Bitkisel Üretim Uygulamaları Çevremle Paylaşıyorum	188	0	0	0	0	1,00
Bitkisel Üretim Konusunda Çevremdekiler Benden Bilgi Alırlar	15	23	78	60	12	3,16
Bitkisel Üretim Konusunda Kurum ve Kuruluşlarla İletişim Kurmasını Severim	188	0	0	0	0	1,00
Bitkisel Üretim ile İlgili Toplantılara Katılırım	15	5	34	89	45	3,76
Bitkisel Üretim ile İlgili Fuarlara Katılırım	15	9	30	89	45	3,74
Bitkisel Üretimde Risk Almasını Severim	188	0	0	0	0	1,00
Bitkisel Üretimde Yeterli Bilgiye ve Tecrübeye Sahibim	7	10	23	99	49	3,92
Şeker pancarı Üretimde Yeterli Bilgiye ve Tecrübeye Sahibim	188	0	0	0	0	1,00

Şeker Pancarı Üretiminde Tohum, Verim ve Gübreleme Uygulamaları

Tohum kullanımı ve verim düzeyi; Araştırma kapsamında incelenen işletmelerde dekara atılan tohum miktarı ortalama 0,35 kg/da olarak belirlenmiştir. Bu değer, modern şeker pancarı üretiminde önerilen miktarlarla uyumludur. Şeker pancarı verimi ise ortalama 6.803,19 kg/da olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, Türkiye 2023 yılı ortalaması olan 6.936 kg/da verime

yakın olup (TUIK, 2025), dünya ortalaması (62.208,5 kg/ha $\approx$ 6.220,85 kg/da) (FAOSTAT, 2025) ile karşılaştırıldığında rekabetçi bir düzeydedir (Tablo 6).

Gübreleme uygulamaları; Gübreleme uygulamaları incelendiğinde, taban gübresi olarak azot (N) 9,72 kg/da, fosfor (P) 9,94 kg/da ve potasyum (K) 9,57 kg/da miktarlarında uygulanmaktadır. Üst gübrelemede ise ilk uygulamada üre (N) 11,50 kg/da, ikinci uygulamada ise amonyum sülfat (N) 6,50 kg/da olarak kullanılmaktadır. Bu değerler, şeker pancarı üretiminde dengeli bir besin elementi yönetimi sağlandığını göstermektedir (Tablo 6).

Yaprak gübresi kullanımı; Yaprak gübresi uygulamalarına bakıldığında, katılımcıların %98,4'ü bu uygulamayı gerçekleştirmekte olup, yalnızca %1,6'lık bir kesim yaprak gübresi kullanmamaktadır. Uygulayan üreticilerde dekara ortalama 231,35 ml yaprak gübresi uygulanmaktadır. Bu bulgu, bölgede yaprak gübresi kullanımının yaygın bir uygulama haline geldiğini göstermektedir (Tablo 6). Mikro besin elementlerinin, bitkilerde besin maddesi eksikliğini gidermede etkili olduğu literatürde de vurgulanmaktadır (Eser ve Bahşi, 2020; Şahin, 2022).

Şeker pancarı üreticilerinin tohum kullanımı, verimlilik ve gübreleme uygulamalarına ilişkin bulgular, sektörde modern ve dengeli bir yaklaşımın benimsendiğini göstermektedir (Tablo 6). Dekara atılan tohum miktarının 0,35 kg/da olması, modern ve hassas ekim tekniklerinin yaygınlaştığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Şahin (2022), Eser ve Bahşi (2020) ve Arık (2024) çalışmalarında modern tarım tekniklerinin ve doğru girdi kullanımının verimlilik üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır.

Tablo 6. Şeker Pancarı Üretiminde Tohum, Verim ve Gübreleme Uygulamalarına İlişkin Bilgiler

Uygulama / Bilgi	Değer
Dekara Atılan Tohum Miktarı (kg/da)	0,35 kg/da
Şeker Pancarı Verimi (kg/da)	Çalışma: 6.803,19 kg/da Dünya ortalaması: 62.208,5 kg/ha Türkiye 2023 ortalaması: 6.518 kg/da
Gübreleme Uygulamaları	
Taban Gübresi (N)	9,72 kg/da
Taban Gübresi (P)	9,94 kg/da
Taban Gübresi (K)	9,57 kg/da
Üst Gübre 1 (Üre - N)	11,50 kg/da
Üst Gübre 2 (Sülfat - N)	6,50 kg/da
Yaprak Gübresi Kullanımı	Uygulanmıyor: 3 kişi (%1,6) Uyguluyor: 185 kişi (%98,4)
Yaprak Gübresi Miktarı	231,35 ml/da

Şeker Pancarı Üretiminin Tercih Nedenleri

Tercih sıralamalarının analizi; Bulgulara göre, “bölgeye uygun bir ürün olması” ifadesi, üreticiler tarafından en çok birinci tercih olarak gösterilmiş olup, katılımcıların %65,43’ü bu nedeni ilk sırada belirtmiştir. Aynı neden, ikinci tercih olarak %30,85 ve üçüncü tercih olarak %3,19 oranında ifade edilmiştir. Bu bulgu, şeker pancarının bölgenin ekolojik ve tarımsal koşullarına uygunluğunun üretici kararlarında belirleyici bir unsur olduğunu göstermektedir (Tablo 7). Ayrıca, ekonomik getiriden ziyade, bölgesel ekolojik uygunluk ve geleneksel üretim alışkanlıklarının üretici tercihlerinde öne çıktığı anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, Koç ve Bulut (2016), Demir (2019) ve Duman (2024) gibi önceki çalışmalarda da, şeker pancarının özellikle İç Anadolu Bölgesi’nde uzun yıllardır ekilen, bölgeye adapte olmuş bir ürün olarak öne çıktığı vurgulanmıştır.

“Alışkanlık” faktörü ise birinci tercih olarak %30,85 ile ikinci sırada yer almakta, ikinci tercih olarak %36,70 ve üçüncü tercih olarak %12,77 oranında belirtilmektedir. Bu durum, üreticilerin geleneksel üretim alışkanlıklarının şeker pancarı üretiminde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. “Daha fazla destekleme alınabiliyor olması” ise %13,83 ile ikinci tercih sırasında öne çıkarken, “iyi bir münavebe bitkisi olması” %44,15 ile üçüncü tercih sırasında en yüksek orana sahiptir. “Getirisi yüksek” ifadesi ise yalnızca %2,13 oranında birinci tercih olarak belirtilmiş, diğer sıralamalarda dikkate değer bir oran görülmemiştir. Bu durum, Eser ve Bahşi (2020) ve Şahin (2022) tarafından yürütülen çalışmalarda da benzer şekilde rapor edilmiştir; üreticilerin çoğunlukla geleneksel ve bölgesel faktörlere göre hareket ettiği, ekonomik getirinin ise çoğu zaman beklentileri tam olarak karşılamadığı belirtilmiştir (Tablo 7). “Mecburiyet” ve “diğer” nedenler ise oldukça düşük oranlarda ifade edilmiştir. Ayrıca, üçüncü tercih belirtmeyenlerin oranı %38,30’a ulaşmaktadır (Tablo 7).

Elde edilen bulgular, şeker pancarı üretiminde ekonomik getiriden ziyade, bölgesel uygunluk, alışkanlık ve münavebe gibi faktörlerin üretici tercihlerinde daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Özellikle bölgeye uygunluk ve alışkanlık, üreticilerin karar alma süreçlerinde öne çıkan unsurlar olarak dikkat çekmektedir. Destekleme politikalarının ise ikinci planda kaldığı, ancak yine de önemli bir motivasyon kaynağı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 7. Şeker Pancarı Üretiminde Tercih Nedenleri ve Sıralamaları (%)

Neden	1. Tercih		2. Tercih		3. Tercih	
	Kişi	%	Kişi	%	Kişi	%
Getirisi yüksek	4	2,13	0	0	0	0
Daha fazla destekleme alınabiliyor	0	0	26	13,83	0	0
Bölgeye uygun bir ürün	123	65,43	58	30,85	6	3,19
Alışkanlık	58	30,85	69	36,70	24	12,77
İyi bir münavebe bitkisi	3	1,65	7	3,72	83	44,15
Mecburiyet	0	0	0	0	2	1,06
Diğer	0	0	5	2,66	1	0,53
Yok	0	0	23	12,23	72	38,30
Getirisi yüksek	4	2,13	0	0	0	0
Daha fazla destekleme alınabiliyor	0	0	26	13,83	0	0
Bölgeye uygun bir ürün	123	65,43	58	30,85	6	3,19
Alışkanlık	58	30,85	69	36,70	24	12,77

Üreticilerin Şeker Pancarı Üretimi ile İlgili Görüş ve Değerlendirmeleri

Verim, fiyat ve karlılık algısı; Katılımcıların şeker pancarı üretiminden elde ettikleri verime ilişkin ortalama puanları 3,40 olup, bu değer üreticilerin genel olarak verimden memnun olduklarını göstermektedir. Şeker pancarı fiyatına ilişkin değerlendirmede ise ortalama puan 3,27 olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, fiyatların üreticiler açısından kısmen yeterli bulunduğunu göstermektedir. Üretimin karlılığına yönelik ortalama puan ise 3,31’dir; bu da üreticilerin şeker pancarı üretimini genel olarak karlı bulduklarını, ancak yüksek bir karlılık beklentisi içinde olmadıklarını ortaya koymaktadır (Tablo 8). Bu bulgular, Demir (2019), Eser ve Bahşi (2020) ve Şahin (2022) gibi önceki çalışmalarda da benzer şekilde rapor edilmiştir. Üreticilerin şeker pancarı tarımında fiyat ve karlılık beklentilerinin tam olarak karşılanmadığı, ancak üretimin sürdürülebilirliği açısından kabul edilebilir bulunduğu vurgulanmıştır.

Destekleme, masraflar ve pazar olanakları; Şeker pancarı destekleme bedeline ilişkin değerlendirmede ortalama puan 3,90 ile yüksek bir memnuniyet düzeyine işaret etmektedir (Tablo 8). Bu bulgu, Koç ve Bulut (2016) ve Duman (2024)’ün çalışmaları ile desteklenmektedir. Bu çalışmalarda, destekleme ödemelerinin üreticilerin risk algısını azalttığı ve üretim kararlarını olumlu etkilediği belirtilmektedir. Üretim masrafları ise 3,26 ortalama puan ile orta

düzeyde değerlendirilmiştir (Tablo 8). Şahin (2022) ile Eser ve Bahşi (2020) çalışmalarında da üretim maliyetlerinin yüksekliğinin sektörün temel sorunlarından biri olduğu belirtilmektedir.

Pazar bulma konusunda ise üreticilerin memnuniyet düzeyinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir; ortalama puan 4,87 olup, katılımcıların %93,62'si bu konuda “çok iyi” yanıtını vermiştir. Bu bulgu, şeker pancarı üreticilerinin ürünlerini pazarlama konusunda önemli bir sorun yaşamadıklarını göstermektedir (Tablo 8).

Bölgesel önem, hastalık ve zararlılar; Şeker pancarı bitkisinin bölge için önemi konusunda üreticilerin değerlendirmesi oldukça yüksektir; ortalama puan 4,70 olup, katılımcıların %72,87'si bu bitkinin bölge için “çok önemli” olduğunu belirtmiştir. Hastalıklar konusunda ise ortalama puan 2,56 olup, üreticilerin bu konuda sorun yaşadıklarını ortaya koymaktadır. Zararlılar ve yabancı otlar ise sırasıyla 3,21 ve 3,29 ortalama puan ile orta düzeyde bir sorun olarak değerlendirilmiştir (Tablo 8). Bu bulgular, Duman (2024) ve Şahin (2022) gibi çalışmalarda da benzer şekilde rapor edilmiştir. Hastalık yönetiminin üreticiler için hâlâ önemli bir zorluk olduğu, zararlı ve yabancı ot yönetiminde ise kısmen daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Tablo 8. Üreticilerin Şeker Pancarı Üretimi ile İlgili Görüş ve Değerlendirmeleri (%)

Değerlendirme Kriterleri	1	2	3	4	5	Ortalama Puan
Şeker pancarı tarımından elde etmiş olduğunuz verim hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Kötü---5 Çok İyi)	0,00	14,36	33,51	49,47	2,66	3,40
Şeker pancarı fiyatı hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Kötü---5 Çok İyi)	0,00	13,30	45,74	40,43	0,53	3,27
Şeker pancarı Üretiminin Karlılığı Konusundaki Düşünceniz (1 Hiç Karlı Değil---5 Çok Karlı)	0,00	1,60	66,49	30,85	1,06	3,31
Şeker pancarı destekleme bedeli hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Kötü---5 Çok İyi)	0,00	0,00	14,36	81,91	3,72	3,90
Şeker pancarı üretim masrafları hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Fazla --- 5 Çok Az)	0,00	13,83	46,28	39,89	0,00	3,26
Şeker pancarı pazar bulma konusundaki düşünceleriniz (1 Çok Kötü---5 Çok İyi)	0,00	0,00	0,00	6,38	93,62	4,87
Şeker pancarı Bitkisinin Bölge İçin Önemi Hakkındaki	0,00	0,00	1,60	25,53	72,87	4,70

Düşünceniz (1. Hiç Önemli Değil--5. Çok Önemli)						
Şeker pancarın da ki hastalıklar hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Sorun Oluyor ---5. Hiç Sorun Olmuyor)	10,11	59,04	2,13	20,21	8,51	2,56
Şeker pancarında ki zararlılar hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Sorun Oluyor ---5. Hiç Sorun Olmuyor)	0,53	3,72	71,28	24,47	0,00	3,21
Şeker pancarı yetiştiriciliğinde yabancı otlar hakkındaki düşünceleriniz (1 Çok Sorun Oluyor ---5. Hiç Sorun Olmuyor)	0,00	0,00	70,74	29,26	0,00	3,29

Şeker Pancarı Üretimi Uygulama ve Alışkanlıklar

Sulama sistemleri; Katılımcıların %68,6'sı yağmurlama sulama yöntemini tercih ederken, %17,0'ı karık usulü ile sulama, %14,4'ü ise damlama sulama sistemini kullanmaktadır. Yağmurlama sulamanın verim ve su kullanım etkinliği açısından öne çıktığı, literatürde de vurgulanmıştır (Demir, 2019; Şahin, 2022; Duman, 2024). Bu bulgular, bölgede modern sulama tekniklerinin yaygın olduğunu, ancak geleneksel yöntemlerin de belirli bir oranda sürdürüldüğünü göstermektedir (Tablo 9). Eser ve Bahşi (2020) ile Koç ve Bulut (2016) gibi çalışmalarda da, damlama sulamanın özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde giderek daha fazla benimsendiği belirtilmiştir.

Toprak tahlili yaptırma alışkanlıkları; Toprak tahlili yaptırma alışkanlıkları incelendiğinde, katılımcıların %36,17'si ara sıra, %17,02'si nadiren ile %32,45'i ise hiç toprak tahlili yaptırmadığını belirtmiştir. Düzenli olarak toprak tahlili yaptırmanın oranı %10,64, her yıl her tarlaya tahlil yaptırmanın oranı ise yalnızca %3,72'dir. Bu veriler, toprak analizinin üreticiler arasında yaygın bir uygulama olmadığını, çoğunluğun bu konuda düzensiz veya yetersiz bir yaklaşım sergilediğini ortaya koymaktadır (Tablo 9). Benzer şekilde, Demir (2019), Şahin (2022) ve Duman (2024) gibi çalışmalarda da, üreticilerin toprak tahlili konusundaki farkındalığının ve uygulama sıklığının düşük olduğu, bunun da gübreleme ve verimlilik üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği vurgulanmıştır.

Gübreleme programı ve bilinç düzeyi; Gübreleme programı uygulama durumu ve üreticilerin bilgi-bilinç düzeyleri Tablo 9'da ayrıntılı olarak sunulmuştur. Katılımcıların %48,40'ı orta derecede bilgi ve bilinç düzeyi ile

gübreleme yaptığını ifade ederken, %37,77'si teknik destek almasına rağmen kısmen bilinçli ve bilgili bir şekilde gübreleme uygulamaktadır. Teknik destek alarak, gerekli analizleri yaptırarak bilinçli ve bilgi düzeyi yüksek olarak gübreleme yapanların oranı ise %8,51'dir. Teknik destek almadan ve düşük bilgi düzeyiyle gübreleme yapanların oranı %5,32'de olduğu belirlenmiştir. Geleneksel yöntemlerle ve yetersiz bilgiyle bilinçsiz gübreleme yapan üretici ise tespit edilmemiştir (Tablo 9). Benzer şekilde, Demir (2019), Şahin (2022) ve Duman (2024) gibi çalışmalarda da, gübreleme uygulamalarında bilgi eksikliği ve teknik danışmanlık yetersizliğinin verimlilik üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturduğu vurgulanmıştır.

Tablo 9. Şeker Pancarı Üretiminde Uygulama ve Alışkanlıklar

Uygulama / Durum ve Seçenek / Açıklama	Katılımcı Sayısı (Kişi)	Oran (%)
Sulama Sistemi		
Damlama sulama	27	14,4
Yağmurlama sulama	129	68,6
Karık usulü ile sulama	32	17,0
Toprak Tahlili Yaptırma Durumu		
Hiç yaptırmam	61	32,45
Nadiren yaptırım	32	17,02
Ara sıra yaptırım	68	36,17
Düzenli yaptırım	20	10,64
Her yıl her tarlaya yaptırım	7	3,72
Gübreleme Programı Uygulama Durumu		
Geleneksel yöntem ve yetersiz bilgi düzeyi ile bilinçsiz bir gübreleme	0	0,00
Teknik destek almadan bilinç ve bilgi düzeyi düşük gübreleme yapıyor	10	5,32
Orta derecede bilgi ve bilinç düzeyi ile gübreleme yapıyor	91	48,40
Teknik destek almasına rağmen yeterli düzeyde destek almadan kısmen bilinçli, bilgili ve tekniğine uygun bir gübreleme yapıyor	71	37,77
Teknik destek alarak, gerekli analizleri yaptırarak bilinçli ve bilgi düzeyi yüksek olarak gübreleme yapıyor	16	8,51

Kategorik Değişkenler Arasındaki İlişkiler: Ki-kare Testi Sonuçları

Bilgi paylaşımı ve yeterlilik algısı; Araştırmada, üreticilerin bitkisel üretim konusunda çevreleriyle bilgi paylaşımı ve yeterlilik algıları arasındaki

ilişkiler Ki-kare (χ^2) testi ile analiz edilmiştir. “Bitkisel üretim konusunda çevremdekiler benden bilgi alırlar” değişkeni açısından gruplar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir (Ki-kare=17,42; $p<0,01$). Özellikle “bazen” ve “evet” yanıtlarının tüm gruplarda yüksek oranlarda yer aldığı, “kesinlikle evet” yanıtının ise 3. grupta (%12,99) diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgu, bilgi paylaşımının bazı gruplarda daha belirgin olduğunu göstermektedir (Tablo 10). Benzer şekilde, “Bitkisel üretimde yeterli bilgiye ve tecrübeye sahibim” değişkeninde de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur (Ki-kare=13,64; $p<0,05$). “Evet” yanıtı tüm gruplarda öne çıkarken, “kesinlikle evet” yanıtı 2. ve 3. grupta (%30,00 ve %29,87) 1. gruba (%12,20) göre daha yüksektir. Bu sonuç, bazı grupların kendilerini bilgi ve tecrübe açısından daha yeterli gördüklerini ortaya koymaktadır.

Fiyat, karlılık ve bölgesel önem algısı; Şeker pancarı fiyatı hakkındaki düşünceler ve üretimin karlılığına ilişkin değerlendirmelerde ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (sırasıyla Ki-kare=7,76 ve Ki-kare=7,47). Tüm gruplarda “normal” ve “iyi” yanıtları öne çıkmakta, “çok iyi” ve “çok karlı” yanıtları ise oldukça düşük oranlarda kalmaktadır. Bu bulgular, fiyat ve karlılık algısının gruplar arasında benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Tablo 10). Şeker pancarı bitkisinin bölge için önemi konusunda ise gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Ki-kare=2,73). Tüm gruplarda “çok önemli” yanıtı yüksek oranlarda ifade edilmiştir; bu da şeker pancarının bölgesel önemi konusunda üreticiler arasında genel bir uzlaşısı olduğunu göstermektedir.

İstatistiksel değerlendirme; Tablo 10’da sunulan Ki-kare testi sonuçlarına göre, yalnızca bilgi paylaşımı ve yeterlilik algısı değişkenlerinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Diğer değişkenlerde ise gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu bulgular, üreticilerin bilgi paylaşımı ve yeterlilik algılarının, diğer tutum ve değerlendirmelere kıyasla daha fazla farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 10. Kategorik Değişkenler Arasındaki İlişkiler: Ki-kare Testi Sonuçları

Değişken / Soru	Seçenek	1. Grup (%)	2. Grup (%)	3. Grup (%)	Ki-Kare
Bitkisel Üretim Konusunda Çevremdekiler Benden Bilgi Alırlar	Kesinlikle Hayır	7,32	10,00	6,49	17,42**
	Hayır	21,95	11,43	7,79	
	Bazen	39,02	50,00	35,06	
	Evet	29,27	27,14	37,66	
	Kesinlikle Evet	2,44	1,43	12,99	
Bitkisel Üretimde Yeterli Bilgiye ve Tecrübeye Sahibim	Kesinlikle Hayır	2,44	2,86	5,19	13,64*
	Hayır	9,76	2,86	5,19	
	Bazen	21,95	14,29	5,19	
	Evet	53,66	50,00	54,55	
	Kesinlikle Evet	12,20	30,00	29,87	
Şeker pancarı fiyatı hakkındaki düşünceleriniz	Kötü	19,51	8,57	14,29	7,76
	Normal	51,22	51,43	37,66	
	İyi	29,27	40,00	46,75	
	Çok İyi	0,00	0,00	1,30	
Şeker pancarı Üretiminin Karlılığı Konusundaki Düşünceniz	Karlı Değil	2,44	0,00	2,60	7,47
	Normal	68,29	74,29	58,44	
	Karlı	29,27	25,71	36,36	
	Çok Karlı	0,00	0,00	2,60	
Şeker pancarı Bitkisinin Bölge İçin Önemi Hakkındaki Düşünceniz	Normal	0,00	1,43	2,60	2,73
	Önemli	26,83	30,00	20,78	
	Çok Önemli	73,17	68,57	76,62	

*: p<0,05, **: p<0,01, ***: p<0,001 anlamlılık düzeyini gösterir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma bulguları, Amasya Şeker Fabrikası üretim sahasında faaliyet gösteren şeker pancarı üreticilerinin tarımsal üretim süreçlerinde yüksek bir deneyim ve bilgi birikimine sahip olduklarını göstermektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun tarımı ana meslek ve gelir kaynağı olarak sürdürdüğü tespit edilmiştir. Bitkisel üretim ve şeker pancarı üretiminde ise uzun yıllara dayanan bir tecrübeye sahip oldukları belirlenmiştir. Üreticilerin bilgiye erişiminde kooperatifler ve özel sektör uzmanları belirleyici rol oynamaktadır. Geleneksel bilgi kaynaklarının ise görece daha az tercih edildiği görülmektedir.

Ayrıca, üreticilerin büyük bir kısmı şeker pancarı üretiminde bölgeye uygunluk ve alışkanlık gibi faktörleri öncelikli tercih nedeni olarak belirtmiştir.

Üreticilerin şeker pancarı üretimi sonrası elde ettikleri verim ve gelir düzeyine ilişkin memnuniyetleri orta düzeydedir. Destekleme politikaları ve pazar bulma olanakları ise yüksek memnuniyetle karşılanmaktadır. Bununla birlikte, hastalık ve zararlılarla mücadelede bazı sorunların devam ettiği; yeniliklere açıklık ve ekipman yeterliliği konusunda ise üreticiler arasında farklılaşan tutumların olduğu gözlenmiştir.

Üreticilerin bilgiye erişiminde kooperatiflerin ve özel sektör uzmanlarının rolü artırılmalı, kamu kurumlarının (İl/İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri, Üniversiteler, Araştırma Enstitüleri) sahadaki etkinliği yükseltilmelidir. Yenilikçi tarım uygulamaları, hastalık ve zararlılarla mücadele, ekipman kullanımı gibi konularda üreticilere yönelik eğitim programları düzenlenmelidir. Üreticilerin gelir ve verimlilik düzeyini artırmaya yönelik destekleme politikalarının sürdürülebilir ve öngörülebilir şekilde sürdürülmesi gerekmektedir. Üreticilerin modern tarım teknolojilerine ve yeterli ekipmana erişimi teşvik edilmeli, bu alanda finansal destek mekanizmaları geliştirilmelidir. Şeker pancarı üreticilerinin ürünlerini daha avantajlı koşullarda pazarlayabilmeleri için kooperatifler ve özel sektörle iş birliği artırılmalıdır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların farklı bölgelerde ve daha geniş örneklem gruplarıyla tekrarlanması, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artıracaktır. Ayrıca, üreticilerin bilgiye erişim yolları ve yeniliklere uyum süreçleri nitel yöntemlerle daha ayrıntılı incelenebilir. Şeker pancarı üretiminde hastalık ve zararlılarla mücadele, destekleme politikalarının etkisi ve iklim değişikliği gibi güncel konular da yeni araştırmalar için önemli başlıklar olarak önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Arık, M.C. (2024). *Muş ilinde şeker pancarı üretimine etki eden faktörler ve üreticilerin sosyo-ekonomik durumları*. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Iğdır 62 s.
- ATOBIİM. (2025). Üretici ve bitki koruma ürünleri bayi listesi. Amasya Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Amasya. (Erişim tarihi: 01.02.2025).
- Demir, N. (2019). Muş ilinde şeker pancarı yetiştiriciliğinin sosyo-ekonomik yönü ve sorunları üzerine bir araştırma. *4th International Symposium on Innovative Approaches in Social, Human and Administrative Sciences*, November 22-24, 2019, Samsun, Turkey, p. 30.
- Demirkan, H., & Uysal, F. (2011). Menemen (İzmir) pamuk üreticilerine yönelik (bitki koruma açısından) bir anket çalışması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(3), 277-282.
- Duman, Z. (2024). *Konya ili şeker pancarı çiftçilerinin bitki koruma uygulamalarına yaklaşımlarının belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Konya 143 s.
- Ediboğlu, N. (2019). *Sakarya ili ve çevresinde elma üreticilerinin pestisit kullanımları ve pestisitlerin zararlı etkileri üzerinde algıları*. Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Düzce 63 s.
- Eser, H., & Bahşi, N. (2020). Konya ili Ilgın ilçesinde şeker pancarı üretim yapısı ve sorunlar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(1), 204-213.
- FAOSTAT. (2025). Şeker pancarı üretim istatistikleri *FAOSTAT. United Nations Food and Agricultural Organization. Crops and livestock production*. (Erişim tarihi: 15.06.2025) <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- IBM Corp. (2025). *IBM SPSS Statistics software version 29*. Chicago.
- Kesici, T. ve Kocabaş, Z. (2007). Biyoistatistik. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayın No: 94, Ankara.
- Koç, H., & Bulut, İ. (2016). Türkiye şeker pancarı üretiminde Yozgat ilinin yeri ve önemi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (67), 33-40.

- Köklü, N. (1995). Tutumların ölçülmesi ve Likert tipi ölçeklerde kullanılan seçenekler. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 28(2), 81-93
- PŞÜD. (2025). Sektör raporu. Pancar Şekeri Üreticileri Derneği (PŞÜD). (Erişim tarihi: 15.06.2025). <https://pansek.org.tr/wp-content/uploads/2025/02/PANSEK-OCAK-2025.pdf>
- Şahin, K. (2022). Kayseri ilinde şeker pancarı kota uygulamalarının şeker pancarı üretimine etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1801-1807.
- TEPGE. (2025). Tarım ürünleri piyasaları. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). (Erişim tarihi: 15.06.2025). <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarim%20Ürünleri%20Piyasaları/2024-Temmuz%20Tarim%20Ürünleri%20Raporu%20Pancarı%20Tarım%20Ürünleri%20Piyasaları%20Raporu%20Temmuz-2024-v4.pdf>
- TUİK. (2025). Bitkisel üretim istatistikleri, tarım istatistikleri-istatistiksel tablolar. (Erişim tarihi: 01.06.2025). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori?p=tarim-111&dil=1>
- Yamane, T. (2001). *Temel örnekleme yöntemleri* (Alptekin Esin, Celal Aydın, M. Akif Bakır, & Esen Gürbüzsel, Çev.). Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Literatür Yayınları: 53.

BÖLÜM 5
ENDEMİK VE TIBBİ ÖNEME SAHİP ASPARAGACEAE
TÜRLERİNİN KORUNMASINA YÖNELİK MİKROÇOĞALTIM
YAKLAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Rukiye GEZER¹

Dr. Parisa Pourali KAHRİZ²

Prof. Dr. Nalan TÜRKOĞLU³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763760>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-7781-9327 rukiyekeles@siirt.edu.tr

² İstanbul Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, . Orcid id: 0000-0002-6420-7225 parisapouralikahriz@beykent.edu.tr

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0003-2639-360X nalanturkoglu@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Asparagaceae familyası dünyada yaklaşık olarak 130 cins ve 2.250 türe sahip olup, oldukça geniş yayılım gösteren bir familyadır (Mabberley, 2008). Ülkemizde ise 19 cins ile temsil edilmektedir; *Agave*, *Anthericum*, *Asparagus*, *Bellevia*, *Convallaria*, *Danae*, *Drimia*, *Fessia*, *Hyacinthella*, *Hyacinthus*, *Muscari*, *Ornithogalum*, *Polianthes*, *Polygonatum*, *Prospero*, *Puschkinia*, *Ruscus*, *Scilla* ve *Yucca*. *Asparagus* cinsinin yeryüzünde yaklaşık 300 türü vardır ve Türkiye’de 3’ü endemik olmak üzere 12 türü bulunmaktadır. *Asparagus*’un bazı üyeleri hem gıda, hem süs bitkisi hem de eczacılık açısından önemlidir (Güner ve ark., 2012).

Bitki doku ve hücre kültürü; steril koşullarda, yapay besin ortamlarında, hücre (meristematik, kallus, süspansiyon hücreleri), doku (eksplant=bitki parçaları) ya da organlar (apikal meristem, kök)’dan yeni bir doku, bitki ya da bitkisel ürünün ortaya çıkarılmasıdır (Babaoğlu ve ark., 2001). Tohum, gövde, yaprak, embriyo, kök, soğan vb. gibi bitki kısımlarının bir bitkiyi yeniden tam olarak oluşturabilme potansiyeline sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu bitki kısımlarının yapay bir şekilde hazırlanan besin ortamlarında, mikroorganizmalardan arındırılmış şartlar altında, genetik olarak birbirine benzeyen çok sayıda ve hızlı bir şekilde çoğaltılabilmesi amacıyla uygulanan doku kültürü tekniğine mikroçoğaltım denilmektedir. Mikroçoğaltım yöntemi geleneksel klonal çoğaltım yöntemlerine nazaran; yeni genotiplerin büyük ölçeklerde üretimlerinin hızlı yapılıyor olması, hastalık ve zararlılardan arı bitkisel materyallerin elde edilebilmesi, üretilen bitkilerin fenotipik ve genotipik olarak eş olması, kültür süresinin geleneksel yöntemlerden kısa olması, üretimi zor olan bitkilerin üretimini mümkün hale getirmesi, kitlesel üretimde başlangıç materyalinin az miktarda kullanılması, yeni çeşit ve genotiplerin somoklonal varyasyon aracılığıyla elde edilmesi gibi bazı üstün avantajlar sağlamaktadır (Mansuroğlu ve Gürel, 2001).

Bu çalışmada *Asparagaceae* familyasına ait olan türlerde yapılan mikroçoğaltım çalışmaları incelenmiştir. İncelenen türler ile ilgili çalışmalar güncel ve konu kapsamına uygun olacak şekilde aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

1. BELLEVALIA (KIR SÜMBÜLÜ)

Aydın (2021), *Bellevialia edirnensis*'in soğan ve olgunlaşmamış embriyo eksplantlarından mikroçoğaltım amacıyla farklı bitki büyüme düzenleyicileri içeren ortamlarda *in vitro* soğancık üretimi elde etmeyi ve soğancıkların dış ortama aktarılmasını sağlayan bir mikroçoğaltım prosedürü geliştirmeyi amaçlamıştır. Soğan pul yapraklarını K (hormonsuz), L (2 mg/l BAP + 1 mg/l NAA), M (2 mg/l BAP + 2 mg/l NAA) ve N (4 mg/l BAP + 1 mg/l NAA) içeren MS besin ortamlarında kültüre almış ve en fazla kallus oluşumunu %91.1 olarak N grubundan, en fazla soğancık oluşum yüzdesini %97.3 ile M grubundan, eksplant başına oluşan en fazla soğancık sayısını 4.9 adet ile N grubundan sağlamıştır. Embriyo kültürü için bitkinin olgunlaşmış embriyolarını A (1 mg/l NAA), B (2 mg/l NAA), C (4 mg/l NAA), D (1 mg/l 2,4-D), E (2 mg/l 2,4-D) ve F (4 mg/l 2,4-D) içeren MS ortamlarında kültüre alınmıştır. 6 aylık sürenin sonunda yalnızca A ve B gruplarında sırasıyla %40 ve %7 oranında kallus geliştiğini ancak rejenerasyon olmadığı belirtilmiştir.



Bellevialia edirnensis



Bellevialia sarmatica



Bellevialia romana

Maria ve ark. (2011), *Bellevialia sarmatica* soğanlarını öncelikli olarak düşük bitki büyüme düzenleyicileri ve şeker içeren B1 (1.0 mg/l BAP-0.25mg/l NAA-30 g/l süktroz), B2 (0.5 mg/l BAP-0.25 mg/l NAA-30 g/l süktroz) ve B3 (0.5 mg/l kinetin-0.25 mg/l IAA30 g/l süktroz) ortamlarında daha sonra yüksek konsantrasyonlarda bitki büyüme düzenleyicileri ve şeker içeren B6 (1.0 mg/l BAP-1.0 mg/l NAA-60 g/l süktroz) ve B9 (1.0 mg/l BAP-1.0 mg/l NAA-90 g/l süktroz) ortamlarında mikroklonal çoğaltım amaçlı kültüre almışlardır.

Mikroklonlama için en iyi sonucu B1; rizogenez ve hızlı büyüme için en iyi sonucu B6 ortamlarından elde etmişlerdir.

Lupi ve ark. (1985), *Bellevia romana*'nın farklı bitki hormonları içeren besiyerinde kök, kotiledon ve mezokotil kültürlerinde; kallus oluşumu, adventif sürgün ve kök oluşumu ile somatik embriyogenez olanaklarını araştırmışlardır. NAA ve BAP kombinasyonunun mezokotil eksplantlarından kallus büyümesinde ve bitki rejenerasyonunda çok etkili olduğu; aynı kallus tipinde ise 2,4-D'nin sürgün gelişiminin baskılanmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Hem kotiledon hem de kök türevli kallusların düşük bir büyüme oranı gösterdiği, sürgün oluşturmadığı sadece kök oluşturduğunu gözlemlemiş ve somatik embriyolarının 2,4-D'nin olduğu süspansiyon kültürlerinde oluştuğunu bildirilmişlerdir.

Cavallini ve ark. (1986), *Bellevia romana* üzerinde yapılan sitolojik bir çalışmada, kallus hücrelerinin büyük çoğunluğunun diploid olduğu fakat diğer hücrelerin anöloid, tetraploid veya haploid çekirdekler taşıdığını tespit etmişlerdir. Anöloid ve poliploid çekirdek içeren hücrelerin frekansının 2,4-D içeren ortamda elde edilen kalluslarda, NAA ve BAP içeren ortamda elde edilen kalluslardan daha çok olduğu gözlemlemiş ve kültür süresi arttıkça çekirdeklerin arttığını belirtmişlerdir.

2. POLIANTHES (SÜMBÜLTEBER)

Naz ve ark. (2012), *Polianthes tuberosa*'nın hem iç hem de dış yapraklarını BAP, NAA ve TDZ'nin farklı dozlarında MS ortamında kültüre almışlardır. Dış yapraklardaki rejenerasyon oranının iç yapraklara göre zayıf kaldığını tespit etmişlerdir. En iyi sürgün oluşumunu 3.0 mg/L BAP ve 18 µM TDZ dozlarından elde edildiğini belirtmişlerdir.

Surendranath ve ark. (2015), *Polianthes tuberosa*'nın iki kültür çeşidi olan Prajwal ve Suvasini 'nin *in vitro* çoğaltılması için MS ortamında bir protokol oluşturmuşlardır. Bunun için aksiller tomurcukları, rakisin boğumları, kökleri, olgunlaşmamış çiçek tomurcukları ve petal yaprakları eksplant olarak değerlendirmişlerdir. En yüksek rejenerasyon oranını aksiller tomurcuklardan BAP 4 mg/l ve NAA 0.5 mg/l olduğu oranlardan elde etmişlerdir. Sürgün gelişimi için ise MS ortamında BAP (4 mg/l)+NAA (0.5 mg/l)+TDZ (0.5 mg/l) bileşimini kullanmışlardır.



Polianthes tuberosa cv.
Prajwal



Polianthes tuberosa cv.
Suvasini



Polianthes tuberosa cv.
Shringar

Bhatt ve ark. (2015), *Polianthes tuberosa* cv. *Shringar* çeşidinde soğan ve soğan pul yaprakları MS ortamında BAP (4 mg/l ve 6 mg/l), NAA (0.2 mg/l ve 0.5 mg/l) ve IAA (0.2 mg/l ve 0.5 mg/l) hormonlarında çoğaltmayı denemişlerdir. En kısa sürede en uzun sürgün başlangıcı BAP 4 mg/l ve NAA 0.2 mg/l konsantrasyonlarından elde etmişlerdir. En yüksek sürgün uzunluğunu 6 mg/l BAP ve 0.5 mg/l NAA dozlarında, en iyi çoğalma frekansını ise BAP 6 mg/l ve IAA 0.5 mg/l dozlarından sağlamışlardır.

Khan ve ark. (2000), *Polianthes tuberosa*'nın soğan ve yapraklarında mikroçoğaltım olanaklarını araştırmışlardır. Soğanların ikili pul yaprakları, soğanın alt yarısından çıkarılan çip eksplantları ve soğanın üst kısmından çıkarılan tekli pul yaprakları MS ortamında NAA (0.25-4.0 mg/l) ve BAP'ın (2.0-16.0 mg/l) farklı konsantrasyonlarında kültüre alınmıştır. Soğancıkları hem ikili pul yapraklardan hem çip eksplantlardan hem de tekli soğan pullarından geliştiğini belirtmişlerdir.

3. ORNITHOGALUM (TÜKÜRÜK OTU)

Özel ve Khawar (2007), *Ornithogalum oligophyllum* E. D. Clarke çeşidinde soğan ikili pul yapraklarını kullanarak 1-2 mg/l BAP ve 0.5-1.0 mg/l IBA içeren ve içermeyen MS ortamlarında soğancık rejenerasyonuna bakmışlardır. En yüksek soğancık rejenerasyonunu 2 mg/l BAP ve 0.5 mg/l IBA içeren MS ortamından elde etmişlerdir. Rejenere olan soğancıkların %85'inin normal bitkiciklere dönüştüğü sonucunu elde etmişlerdir.



O. oligophyllum E. D. Clarke



O. ulophyllum



O. longibracteatum

Özel ve ark. (2008), *Ornithogalum ulophyllum*'un ikili pul yapraklarını ve bu pul yapraklardan elde ettikleri *in vitro* rejenere soğancıkları MS ortamında NAA (0.5, 1, 2 mg/l) ve BAP (1,2,4 mg/l)'ın farklı konsantrasyonlarında rejenerasyon oranlarını incelemişlerdir. İkili pul yapraklardan en iyi rejenerasyon 2 mg/l BAP-0.5 mg/l NAA'dan elde ederken *in vitro* soğancıklardan en iyi rejenerasyonu 2 mg/l BAP-1 mg/l NAA içeren MS ortamlarından elde etmişlerdir. Aynı zamanda soğancıkların büyük bir kısmının köklendiğini, köklenmeyenlerin 1 mg/l NAA içeren ortamda köklendirildiğini ve rejenere olan soğancıkların morfolojik olarak normal bitkilere döndüğünü tespit etmişlerdir.

J. López-Marín ve ark. (2009), *Ornithogalum* (*O. longibracteatum*, *O. thyrsoides*, *O. dubium* ve *O. saundersiae*) türlerinde *in vitro* çoğaltma teknikleri kullanmışlardır. Eksplant olarak soğan ve yaprak ile bunlara alternatif olarak çiçeklenme öncesi hasat edilen çiçek saplarını seçmişlerdir. Eksplantları BAP'ın 1.5, 2 ve 2.5 mg/l oranlarında denemiş ve 35 gün sonra; kontaminasyon oranlarını, soğancık sayısı ve soğancık büyüklüğünü değerlendirmişlerdir. Çalışmada kontaminasyon oranının düşük olduğu, çiçek saplarının soğan ve yapraklardan daha iyi sonuç verdiği, en iyi BAP konsantrasyonunun ise 1.5 mg/l olduğu sonucunu bulmuşlardır.

4. ASPARAGUS (KUŞKONMAZ)

Maung ve ark. (2019), Myanmar'da Ka-nyut olarak bilinen ve ticari olarak yetiştirilen kuşkonmaz bitkilerinde apikal tomurcukları, lateral tomurcukları ve gövdede bulunan mızrak şeklindeki sürgünleri MS ortamında

kültüre alıp, BAP'ın sürgün çoğaltımına etkisini değerlendirmişlerdir. Başlangıç kültüründe her üç materyalden de sürgün oluşumu elde etmişlerdir. Apikal ve lateral tomurcuklardan elde edilen sürgün uçlarını sürgün çoğalması için 0.5 mg/l NAA ve 0, 2, 3 veya 4 mg/l BAP içeren MS ortamına alt kültüre almış, en iyi sonuçları 2 mg/l BAP konsantrasyonundan elde etmişlerdir.



Asparagus macrorrhizus

HaiPing ve ark. (2016), *Asparagus* A001 çeşidinin *in vitro* sterilizasyonu, çoğaltılması ve köklendirilmesi üzerine etki eden temel faktörleri incelemişlerdir. En iyi sterilizasyon sonuçlarını sürgün ucu eksplantlarında 2% NaClO çözeltisinde 8 dakikada elde ederken gövde eksplantlarında önce 75% ethanol'da 30 saniye daha sonra 2% NaClO çözeltisinde 12 dakika uygulamasından elde etmişlerdir. En iyi rejenerasyonu MS ortamında NAA 0.3 mg/l+BA 0.2 mg/l+KT 0.2 mg/l den elde etmişlerdir. 1/2 MS ortamında NAA 0.3 mg/l+KT 0.4 mg/l+ancymidol 1.0 mg/l oranlarından da en iyi köklenmenin oluştuğunu bulmuşlardır.

Regalado ve ark. (2018), *Asparagus macrorrhizus* türünün tehlike altında olması nedeniyle mikro çoğaltma protokolünün geliştirilmek, onun korunmasını ve ıslah programlarında kullanılmasını sağlamak istemişlerdir. Bunun için rizom tomurcuklarını MS ortamında 0.3 mg/l NAA, 0.1 mg/l KIN, 2 mg/l ancymidol içeren ortamda kültüre almışlardır. Rizom tomurcuklarında 69.7 ± 8.0 'lik sürgün gelişimi gözlemiş fakat sadece 17.4 ± 7.9 'da köklenme elde ettiklerinin bildirmişlerdir.

Bopana ve Saxena (2008), Hindistan'ın tıbbi bitkisi olarak bilinen *Asparagus racemosus* Willd. türünde *in vitro* sürgün eldesini MS ortamında, tekli nod segmentlerinden ve 3.69 μ M 2- isopentyl adenine içeren kültür ortamından elde etmişlerdir. Kök gelişimi için *in vitro*'da gelişen sürgünleri 1/2 MS ortamında 1.61 μ M NAA, 0.46 μ M kinetin, 98.91 μ M adenin sülfat, 500 mg/l malt özü ve 198.25 μ M floroglusinol içeren ortamdan sağlamışlardır.

Stajner ve ark. (2002), *Asparagus maritimus* L. Miller türünde *in vitro* çoğaltma protokolü oluşturmak için mızrak şeklindeki sürgünleri MS ortamında farklı bitki büyüme düzenleyicileriyle birlikte kültüre almışlardır. Sürgün başlangıcı (eksplant başına 3-4) oluşumundaki en iyi sonuçları 0.88 M N6-benzyladenine (BA), 0.93 M kinetin, 1.07 M - naphthaleneacetic acid (NAA) ve 3.90 M ancymidol'den elde ettiklerini belirtmişlerdir.

QiaoYing ve ark. (2012), geniş yapraklı kuşkonmazın gövde uçları ve segmentlerini kullanarak *in vitro* tomurcuk indüksiyonu, çoğaltılması ve köklenmesini araştırmışlardır. Tomurcuk indüksiyonu için MS ortamında 0.5 mg/l BA ile 0.1 mg/l KT; tomurcuk çoğaltımı için MS ortamında 0.3 mg/l BA ile 0.1 mg/l KT ve köklenme için ise en uygun ortamın 1/2 MS içerisinde 1.0 mg/l IBA ile 0.2 mg/l NAA bileşiminden elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Patel ve ark. (2015), *Asparagus racemosus* Willd türünün *in vitro* da boğumlarını kullanarak kallus oluşumu ve rejenerasyon için protokol geliştirmişlerdir. En yüksek kallus başlangıcını 0.1 mg/l NAA içeren MS ortamından; en iyi sürgün indüksiyonunu 1.0 mg/l IBA ve 1.0 mg/l BAP ile MS ortamından; en iyi köklenmeyi ise 1/2 MS ortamında 1.5 mg/l IBA'dan elde etmişlerdir.

5. POLYGONATUM (MÜHRÜSÜLEYMAN)

Junwei ve ark. (2017), *Polygonatum cyrtonema* Hua'nın rizomlarının adventif tomurcuklarından optimum indüksiyon, çoğaltma ve köklenme protokolü geliştirmek istemişlerdir. Adventif tomurcukların indüksiyonunda etkili hormonun sitokinin olduğunu; en yüksek ve en düşük indüksiyonu sırasıyla ZT ve KT hormonlarından elde ettiklerini; optimum adventif tomurcuk indüksiyonu %87.9 oranıyla 1/2 MS'de 1.0 mg/l ZT ve 0.2 mg/l NAA bileşiminden; adventif tomurcukların çoğaltılması için en uygun ortamın 1/2 MS içerisinde 4.0 mg/l 6-BA+1.0 mg/L NAA ortamından; optimum köklenme oranını ise %88.75 ile 1/4 MS ortamında 0.5 mg/l NAA'dan elde etmişlerdir.

Hui ve PeiJun (2009), *Polygonatum odoratum*'un rizom, yaprak ve köklerinden aldıkları eksplantları MS ortamında kültüre almışlardır. Optimum kallus oluşumunu rizomların MS ortamında 1.0 mg/l 6-BA ve 0.5 mg/l NAA uygulamasına tabi tutarak elde etmişlerdir. Kallus indüksiyonu ve adventif tomurcukların farklılaşmasında hem 2.0 mg/l 6-BA+0.5 mg/l IBA hem de 3.0 mg/l 6-BA+0.1 mg/l NAA karışımları en uygun sonuçları vermiştir. ½ MS içerisinde 3.0-5.0 mg/l NAA'nın kök indüksiyonu için ideal ortam olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Bisht ve ark. (2012), *Polygonatum verticillatum*'un gövde disklerini kullanarak optimum mikroçoğaltım metodu geliştirmek istemişlerdir. Bunun için gövde disklerini sitokinin farklı konsantrasyonları (0.25-10.0 mg/l) ve kombinasyonları (BAP, Kn ve TDZ) ile oksinin farklı konsantrasyonları ve (0.5-1.0 mg/l) ve kombinasyonları (NAA, IBA, IAA)'nda MS ortamında kültüre almışlardır. 0.5 mg/l NAA ile 1.0 mg/l BAP, maksimum sürgün sayısında en etkili kombinasyon olarak bulunmuştur. Gelişen sürgünleri tek tek kesip ½ MS ortamında 1mg/l içerisinde köklendirmişlerdir.

Sivanesan ve Jeong (2012), alacalı Mührüsüleyman'nın (*Polygonatum odoratum* Druce var. *pluriflorum* Ohwi f. *variegatum* Y. N. Lee) mikroçoğaltılması için bir protokol geliştirmişlerdir. Rizomları Anderson besin ortamında (AM) farklı bitki büyüme düzenleyicilerini farklı konsantrasyonlarında kültüre almış; en yüksek sürgün indüksiyonunu 1.0 mg/l 2.4-D+2.0 mg/l 2iP ve 0.5 mg/l TDZ bileşiminden elde etmişlerdir. En iyi köklenmeyi ise ½ AM ortamında 1.0 mg/l NAA 'dan elde etmişlerdir.

6. HYACINTHUS (SÜMBÜL)

Kızıl ve ark. (2017), *Hyacinthus orientalis* L. türünün daha önceden MS ortamından 0.05 mg/l TDZ ve 0.10 mg/l NAA veya 0.10 mg/l TDZ ve 0.10 mg/l NAA bileşiminden elde edilmiş *in vitro* soğancıkları farklı şeker konsantrasyonlarında (0, 30, 60, 90 g/l) *in vitro*'da kültüre almışlardır. Sükroz uygulamasını soğan çapı, soğan başına sürgün sayısı, sürgün uzunluğu ve soğan ağırlığının artmasında olumlu etkiler gösterdiğini bulmuşlardır.



Hyacinthus orientalis subsp. chionophyllus Wendelbo

Doğan ve ark. (2020), Türkiye’de endemik olan *Hyacinthus orientalis subsp. chionophyllus Wendelbo* türünü *in vitro*’da farklı şeker konsantrasyonlarının, jasmonik asit ile oksin ve sitokinin kombinasyonlarının nasıl etkiler oluşturduğunu araştırmışlardır. Bunun için olgunlaşmamış embriyoları dört farklı sakkaroz konsantrasyonunda (30, 45, 60 ve 90 g/l) kültüre almış en yüksek soğancık sayısını %9 ve %3 şeker konsantrasyonlarından elde etmişlerdir. JA-2İP uygulamasında en yüksek soğancık eldesini JA 1.0 mg/l + 2iP 0.25 mg/l kombinasyonlarından elde ederken; JA- oksin uygulamasında köklenme için en iyi sonuçları IAA 1.0 mg/l + JA 2.0 mg/l kombinasyonlarından oluştuğunu belirtmişlerdir.

XiaoMei ve ark. (2010), *Hyacinthus orientalis L. cv. Gipsy Queen* türünün soğan pul segmentlerinden ve hassas yapraklarından adventif sürgünler elde etmeyi hedeflemişlerdir. Tekli ve ikili pul yapraklarından en iyi sürgün eldesi MS içerisinde 5.0 mg/l 6-BA+0.1 mg/l NAA’dan elde etmiş ve ikili pul segmentlerinin tekli pullardan daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Yapraklar için ise en uygun ortamı MS’de 3.0 mg/l 6-BA+0.2 mg/l NAA bileşiminden elde etmiş ve yaprakların soğan pullarından daha iyi geliştiğini belirtmişlerdir.

Santos ve ark. (2006), kesme çiçek ticaretinde önemli bir tür olan *Hyacinthus orientalis cv. Jan Boss*’un ikili pul yapraklarından soğancık eldesi için en uygun ortamın 1 mg/l IBA+0.1 mg/l BA or 1 mg/l IBA+1 mg/l BA

karışımından elde etmişlerdir. Her iki ortamında soğancık gelişimi için uygun olduğu fakat IBA ve BA'nın eşit olduğu karışımın en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir.



Hyacinthus orientalis L.

Kızıl ve ark. (2016), *Hyacinthus orientalis L.* türünün olgunlaşmamış embriyolarını 20 ve 40 g/l süktroz içeren MS ortamında kültüre almışlardır. Farklı süktroz ortamlarına NAA (0-0.2 mg/l) ve TDZ (0.05-0.10-0.15-0.20-0.25-0.30)'nin farklı dozları uygulanarak soğancık rejenerasyon oranını, eksplant başına oluşan soğancık sayısını ve soğancık büyüklüğünü gözlemlemişlerdir. Çalışmada ayrıca 30 g süktroz içeren 0.1 mg NAA ve farklı konsantrasyonlarda BAP içeren MS ortamında hassas yaprak kılıfları kültüre alınarak yürütülmüştür. Olgunlaşmamış embriyolardan eksplant başına en yüksek soğancık eldesini 40 g/l Süktroz + 0.15 mg/l TDZ içeren ortamdan elde ederken; yapraklardan ise 1.5 mg/l BAP + 0.1 mg/l NAA'dan elde etmişlerdir.

7. MUSCARI (MÜŞKÜRÜM)

Uzun ve ark. (2014), endemik ve nesli tükenmekte olan *Muscari muscarimi Medik.*'in olgunlaşmamış zigotik embriyolarından *in vitro* soğancıklar elde etmek istemiş; bu amaçla ilk olarak olgunlaşmamış tohumlardan zigotik embriyoları çıkarmış ve NAA, picloram, dicamba, BAP, ve TDZ'nin farklı konsantrasyonlarında kültüre almışlardır. Eksplant başına 59

soğancık ile en iyi rejenerasyonu kültüre aldıktan bir yıl sonra 4 mg/l BAP ve 0.5 mg/l NAA içeren MS ortamından sağlamışlardır. Rejenere olmuş soğancıkları bitki büyüme düzenleyicileri içermeyen MS ortamına aktarmış ve köklenme oluştuğunu gözlemlemişlerdir.



Muscari azureum



Muscari aucheri

Uranbey (2010a), endemik ve nesli tükenmekte olan süs bitkisi *Muscari azureum*'un olgunlaşmamış embriyolarını kullanılarak yüksek oranda soğancık rejenerasyonu elde etmişlerdir. Olgunlaşmamış embriyoları N6 mineral tuzları ve vitaminlerini, 400 mg/l casein, 40 g/l sükröz, 2 g/l L-proline, 2 mg/l 2,4-D and 2 g/l gelrite içeren kallus indüksiyon ortamında kültüre etmişlerdir. Daha sonra embriyojenik kallus kümelerini BAP, KIN, TDZ, zeatin, IAA, NAA'nın farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarını içeren MS soğancık indüksiyon ortamına aktarmış, kültür başlangıcından 5-6 ay sonra olgunlaşmamış embriyolardan soğancık elde etmişlerdir. İyi gelişmiş soğancıklar çıkarmış ve 1 mg/l IBA, 0.5 g/l aktif kömür, 20 g/l sakaroz ve 6 g/l agar ile takviye edilmiş 1/2 MS ortamında ayrı ayrı köklendirmiştir.

Uranbey ve ark. (2010), *Muscari azureum*'un ikili ve dördlü pul yapraklarını MS, N6 ve Orchimax mineral tuz ve vitaminlerinde 2 mg/l 2,4-D-20 g/l mannitol- 20 g/l sukroz- 0.5 mg/l NAA ve farklı konsantrasyonlarda BAP, kinetin, 2iP, TDZ içeren ortamlarda mikroçoğaltım amaçlı kültüre almışlardır. İkili ve dördlü pul yapraklarında en iyi rejenerasyon 2.0 mg/l BAP, 2 mg/l 2,4-D, 20 g/l mannitol, 20 g/l sukroz ve 0.5 mg/l NAA içeren ikili pul yapraklardan elde etmişlerdir. Olgun soğancıkları eksize etmiş ve 1 mg/l IBA, 0.5 g/l aktif

kömür, 20 g/l sakkaroz ve 6 g/l agar ile takviye edilmiş ½ MS ortamında tek tek köklendirmiş ve üç hafta sonra rejenere bitkilerin %14'nün hayatta kaldığını belirtmişlerdir.

Uranbey (2010b), *Muscari aucheri*'nin ikili ve dörtlü pul yapraklarını 2 mg/l 2,4- D, 20 mg/l mannitol, 20 mg/l sükroz, 0.5 mg/l NAA ile BAP, KIN, 2iP ve farklı konsantrasyonlarda TDZ içeren Nitsch ve Orchimax ortamlarında kültüre almıştır. *Muscari aucheri*'nin ikili ve dörtlü pul yapraklarındaki indüksiyon için en uygun bitki büyüme düzenleyicilerinin BAP, KIN ve 2-iP olduğunu belirtmişlerdir. İkili ve dörtlü pul yapraklardan eksplant başına en yüksek soğancık sayısını Orchimax ortamından sırasıyla 1 mg/l ve 2 mg/l kinetinden; Nitsch ortamından ise en yüksek soğancık sayısı dörtlü pul yapraklardan 2 mg/l BAP'dan; ikili pul yapraklardan da 10 mg/l 2-İP'den elde etmiştir.

Faruq ve ark. (2018), *Muscari armeniacum*'u MS ortamında, soğanların yeşil yapraklarını, soğan pul yapraklarını ve soğanların meristem bazal bölgelerini bitki büyüme düzenleyicilerinin farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarında soğancık rejenerasyon oranını araştırmışlardır. Hem aksiller hem de adventif soğancık rejenerasyonu için sitokin ile oksin kombinasyonunun gerekli olduğu sonucuna varmışlardır. NAA ile BA kombinasyonunun diğer büyüme düzenleyici kombinasyonlarına kıyasla önemli etkiler oluşturduğunu bulmuşlardır. Soğan pul yaprakları ve yeşil yapraklardan en iyi adventif soğancık rejenerasyonunu 4.0 µM BA + 10 µM NAA kombinasyonundan elde ederken; soğanların meristem bölgelerinden en iyi aksiller soğancık rejenerasyonunu ise 4.0 µM BA + 2.0 µM NAA bileşiminden oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Özel ve Ünal (2021), endemik *Muscari racemosum* Mill'in farklı eksplant tiplerinden (ikili soğan pul yaprakları, yaprak tabanı, primary soğancıklar) MS ortamında ticari olarak soğancık üretim protokolü geliştirmeyi amaçlamışlardır. İkili pul yapraklardan en iyi rejenerasyonu 10 haftalık kültürün sonunda 4.65 µM kinetin ve 5.37 µM NAA bileşiminden elde etmiş; primary soğancıkları 18.60 µM kinetin+5.37 µM NAA içerisinde kültüre almışlardır. Yaprak tabanlarından rejenerasyonu ise birkaç doz BAP+NAA içeren ortamlardan elde etmişlerdir.

Azad ve Amin (2012), *Muscari armeniacum* Leichtil. ex Bak. türünün soğanın tamamı, soğanın dörtte biri, ex vitro soğan pulları ve *in vitro* elde edilen

soğancıkların yaprak kılıflarını oksin ve sitokinin kullanarak *in vitro* çoğaltma sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Maksimum adventif soğancık rejenerasyonu MS ortamında hem soğan pul yapraklarından hem de yaprak kılıflarından 4.0 μ M BAP-2.0 μ M NAA, IBA, veya 2,4- D'den elde ettiklerini belirtmişlerdir. En yüksek indirekt adventif soğancık 4.0 μ M BAP ve 1.0 μ M 2,4- D içeren MS ortamında yetiştirilen yaprak kılıfından üretilen kallustan elde ederken; en çok sayı ve uzunlukta soğancığı 4.0 μ M BAP ve 1.0 μ M NAA bileşiminin oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Özel ve ark. (2007), *Muscari macrocarpum Sweet*'in ikili pul yapraklarından MS ortamında BAP-NAA farklı konsantrasyonlarında çoklu aksiller soğancık rejenerasyonu gerçekleştirmiş; en yüksek aksiller soğancık rejenerasyonu 2 mg/l BAP ve 2 mg/l NAA bileşiminden elde etmişlerdir.

Özel ve ark. (2009), *Muscari macrocarpum Sweet*'de adventif ve aksiller soğancık rejenerasyonu için ikili pul yaprakları MS ortamında kinetin (1-2- 4 mg/l) ve NAA'nın (0.5-1-2 mg/l) farklı kombinasyonlarında kültüre almışlardır. Eksplant başına en yüksek sayıda aksiller ve adventif soğan sayısını sırasıyla 2 mg/l kinetin-0.5 mg/l NAA ve 1 mg/l kinetin ve 2 mg/l NAA içeren MS ortamından elde etmişlerdir. Soğan çapındaki maksimum artış 4 mg/l kinetin ve 2 mg/l NAA içeren MS ortamında oluşmuş olduğunu; kinetin ve NAA'nın herhangi bir varyantında başarıyla rejenere olmuş soğancıkları MS ortamında köklendirdiklerini belirtmişlerdir.

Özel ve Ünal (2016), *Muscari neglectum* Guss. Ex Ten'de güvenilir bir mikroklonal çoğaltma protokolü oluşturmak amacıyla soğanlarını TDZ ve NAA bileşiminde MS ortamında kültüre almışlardır. Eksplant başına maksimum soğancık sayısını 0.0454 μ M TDZ-5.37 μ M NAA içeren ortamlardan elde etmişlerdir.

Vaziri ve ark. (2014), *Muscari aucheri* (Boiss.) Baker'in doğada yok olma tehlikesine karşın soğanlarının dörtlü pul yapraklarını 0.5-1.0-2.0 mg/l BAP; 0.5-1.0-2.0 mg/l GA4 ve 0.1-0.2 mg/l IAA hormonlarını içeren MS besin ortamında *in vitro* soğancık rejenerasyon olanaklarını araştırmışlardır. Eksplant başına maksimum soğancık sayısı 0.5 mg/l BAP ve 0.2 mg/l IAA bileşiminden elde etmiş; BAP-IAA ve GA4-IAA'nın herhangi bir varyatında rejenere olan soğancıkları MS ortamında başarıyla köklendirdiklerini belirtmişlerdir.

Nasırcılar ve ark. (2011), nesli tehlike altındaki *Muscari mirum Speta* için *in vitro* çoğaltım protokolü geliştirmişlerdir. Bunun için soğan pul

yapraklarını, bitki sapı, yaprak ve olgunlaşmamış embriyoları eksplant olarak kullanmış, farklı besin ortamlarında BAP, NAA, TDZ, Picloram ve 2,4-D'nin farklı konsantrasyonlarında kültüre almışlardır. Sadece yaprak sapı eksplantlarından kallus elde etmiş; soğan pul yapraklarından olgunlaşmamış embriyolara nazaran daha fazla soğancık elde etmişlerdir. Bitki başına en yüksek soğancık eldesi beş aylık kültür sonucunda dörtlü soğan pul yapraklarından 4 mg/l BAP ve 0.25 mg/l NAA içeren MS ortamında oluşmuştur.

Ko ve ark. (2006), *Muscari comosum* var. *Plumosum* türünün soğan pul yapraklarının üst, orta ve alt kısımlarını kullanarak hızlı ve kitlesel çoklu sürgün eldesi ve bitki rejenerasyonu geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Farklı soğan pul yapraklarını kallus ve sürgün oluşumu için çeşitli bitki büyüme düzenleyecileri içeren 11 farklı MS ortamında kültüre almış, en uygun kombinasyonu ve en yüksek sürgün oluşumunu 2.0 mg/l 6-BA ve 2.0 mg/l IBA'dan elde etmişlerdir. Ayrıca %64.4 oranı ile en yüksek rejenerasyonu soğan pul yapraklarının orta kısmından elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Yücesan ve ark. (2014), *Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker bitkisinin soğanlarını BA'nın 0.5-1.0-2.0 mg/l dozlarını tek başına ve 0.5 mg/l NAA ile kombinasyonlar halinde kullanarak etkili bir *in vitro* rejenerasyon geliştirmişlerdir. En yüksek somatik embriyo oluşumu eksplant başına ortalama 7.9 somatik embriyo ile 2.0 mg/l BA ve 0.5 mg/l NAA içeren LS ortamından elde edilmiştir. Kallusları 0.5 mg/l GA3'in olduğu ve olmadığı LS ortamına aktararak 23.3 olgunlaşmamış soğancık elde etmişlerdir. *In vitro* üretilen olgunlaşmamış soğancıkları ya kapsülleme işlemi için bir sodyum aljinat matrisine gömmüş ya da doğrudan 0.5 veya 1.0 mg/l GA3 içeren ve içermeyen LS ortamına aktarmışlardır.

Fida (2020), *Muscari neglectum* Guss'un ikili, üçlü, dörtlü ve beşli soğan pul yapraklarını ve soğancık eksplantlarını farklı hormon konsantrasyonlarında kültüre almışlardır. 1 mg/l BAP + 0.8-1.0 ve 1.20 mg/l NAA içeren MS ortamında ikili pul yaprağı eksplantlarında % 100 kallus oluşumu; 1 mg/l BAP + 0.4 mg/l NAA içeren MS ortamında 0.97 cm ile en büyük soğancık çapı ve 1.93 adet soğancık oluşumu elde ettiğini bildirmiştir. İkili pul yaprak eksplantlarından gelişen en iri soğanların köklendirilmesi için 0.5 mg/l NAA içeren ½ MS ortamını kullanılmıştır.

8. SCILLA (SÜMBÜLCÜK)

Chaudhuri ve Sen (2002), Siberian Squill olarak bilinen *Scilla siberica* Haw. in Andr.'ın yaprak, periant ve soğan pullarını yaklaşık 1 cm² keserek oksin ve sitokinin farklı konsantrasyonlarını içeren MS ortamında kültüre almışlardır. *Scilla siberica*'nın *in vitro* çoğaltılmasının hem farklı eksplant tiplerine hem de farklı bitki büyüme düzenleyicilerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Soğan pul yapraklarının eksplant olarak kullanıldığında optimum kallus oluşumu 2,4-D ve kinetin içeren MS ortamından sağlamışlardır. Yaprak eksplantlarında kallus oluşmadığını, BAP içeren ortamlarda ise doğrudan sürgün rejenerasyonu için optimum sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir.



Scilla siberica subsp. armena

Özdemir ve Yıldırım (2016), *Scilla siberica subsp. armena*'nın petiollerini kullanarak MS içerisinde 0.25-0.50-1-2 mg/l TDZ ve 0.1-0.2 mg/l NAA kombinasyonlarında çoklu sürgün eldesi amaçlamışlardır. Maksimum sürgün rejenerasyon yüzdesi 2 mg/l TDZ + 0.1 mg/l NAA'dan; eksplant başına maksimum sürgün sayısı 2 mg/l TDZ + 0.2 mg/l NAA'dan ve maksimum sürgün uzunluğu sayısını ise 0.25 mg/l TDZ + 0.2 mg/l NAA'dan elde etmişlerdir. Mikro sürgünleri ½ MS ortamında 1 mg/l IBA içerisinde köklendirmişlerdir.

Zhiming ve ark. (2014), *Scilla scilloides*'de *in vitro* çoğaltım sistemi oluşturmak amacıyla öncelikle tohumlarını çimlendirmişlerdir. Daha sonra

çimlenen tohumlardan elde ettikleri fidelerden aldıkları farklı eksplant kısımlarını, farklı bitki büyüme düzenleyicilerinin *in vitro* bitki rejenerasyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hipokotiller eksplant olarak en iyi sonucu vermiştir. Adventif tomurcuk indüksiyonu üzerinde TDZ ve 6-BA arasında sinerjik bir etki olduğu; TDZ'nin 6-BA'dan daha iyi bir etkiye sahip olduğu; adventif tomurcuk indüksiyonu için en iyi ortamın $\frac{1}{2}$ MS+TDZ 0.3 mg/l+6-BA 3.0 mg/l'den elde ettiklerini belirtmişlerdir. IAA ve 6-BA adventif tomurcuk çoğalması üzerinde sinerjistik bir etkiye sahip olmalarına rağmen; 6-BA'nın özellikle çoğalma oranında IAA'nın özellikle büyüme kalitesinde etki gösterdiğini böylece en iyi adventif tomurcuk çoğaltılmasının $\frac{1}{2}$ MS+2.0 mg/l 6-BA+1.0 mg/l IAA ortamından elde edildiğini bildirmişlerdir. En iyi köklendirme ortamının ise $\frac{1}{4}$ MS+0.1 mg/l NAA + 0.5 mg/l IAA ortamı olduğu sonucuna varmışlardır.

Kamaleswari ve ark. (2016), *Scilla hyacinthina*'nın yaprak ve soğan pul yapraklarından bitki rejenerasyon protokolü geliştirmişlerdir. 1,5 mg/l TDZ içeren ortamdan 13.2 ile maksimum sürgün sayısı ve 6.5 cm ile ortalama sürgün uzunluğu elde etmişlerdir. Sürgün köklenmesini ise 1.5 mg/l IAA içeren $\frac{1}{2}$ MS ortamında oluştuğunu bildirmişlerdir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Asparagaceae familyasına ait farklı türlerin mikroçoğaltım potansiyelleri değerlendirilmiş ve doku kültürü tekniklerinin bu türlerde uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Analiz edilen çalışmalarda, başarıya ulaşan protokollerde kullanılan bitki büyüme düzenleyicilerinin (PGRs) türden türe farklılık gösterdiği ve uygun kombinasyonların seçiminin rejenerasyon başarısında kritik olduğu belirlenmiştir.

Sitokinin grubunda en yaygın olarak kullanılan 6-Benzylaminopurine (BAP), pek çok türde sürgün indüksiyonu ve çoklu sürgün oluşumunu teşvik etmiştir. Özellikle *Bellevalia edirnensis*, *Polianthes tuberosa*, *Ornithogalum oligophyllum* ve *Asparagus macrorrhizus* türlerinde 2–4 mg/L BAP, uygun oksin kombinasyonları ile kallus oluşumu ve yüksek soğancık/sürgün rejenerasyonu sağlamıştır.

Oksin grubundan α -Naphthaleneacetic Acid (NAA), kallus indüksiyonu ve köklenme sürecinde etkin bir şekilde kullanılmış; BAP ile 1:1 veya 2:1 oranlarında kombinasyonları, özellikle soğan pul yaprakları ve rizom eksplantlarında yüksek verimle sonuçlanmıştır. Örneğin, *Ornithogalum*

ulophyllum çalışmasında 2 mg/L BAP + 0.5 mg/L NAA kombinasyonu, morfolojik olarak sağlıklı bitki gelişimi sağlamıştır.

Kallus oluşumunu kuvvetli şekilde indükleyen 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) ise bazı türlerde özellikle embriyo kültürü ve somatik embriyogenez hedefli uygulamalarda öne çıkmıştır. Ancak bu ajanın yüksek dozda veya uzun süreli kullanımında genetik stabiliteyi tehdit eden anöploidi ve poliploidi riskleri rapor edilmiştir (Bellevalia romana örneğinde olduğu gibi). Bu nedenle 2,4-D'nin dikkatli doz ve süre optimizasyonu kritik önemdedir.

Sitokinin benzeri güçlü bir bileşik olan Thidiazuron (TDZ), özellikle Hyacinthus ve Muscari türlerinde düşük dozlarda dahi etkili olmuş; NAA ile sinerjik etkisi sayesinde hem sürgün, hem de soğancık oluşumuna katkı sağlamıştır. TDZ'nin fenilüre türevi yapısı ve yüksek biyolojik aktivitesi, alternatif sitokinin arayışında önemli bir yer tutmaktadır.

Kök gelişimi amacıyla sıklıkla tercih edilen Indole-3-butyric Acid (IBA) ise rejenere edilen sürgünlerin dış ortama başarıyla aktarılmasında önemli rol oynamıştır. Ornithogalum oligophyllum çalışmasında, IBA içeren ortamda %85 oranında bitki gelişimi sağlandığı rapor edilmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda mikroçoğaltım uygulamaları:

- ✚ Tür koruma (özellikle endemik ve tehdit altındaki bitkiler),
- ✚ Farmasötik hammadde üretimi (Asparagus racemosus gibi),
- ✚ Bitki ıslahı ve genetik varyasyon oluşturulması gibi alanlarda somut katkılar sunmaktadır.

Gelecek araştırmalarda, bitki büyüme düzenleyicilerinin spesifik etkilerinin doku düzeyinde incelenmesi; genetik stabilite analizlerinin moleküler yöntemlerle desteklenmesi ve kültür ortamındaki karbon kaynaklarının fizyolojik etkilerinin araştırılması, protokollerin verimliliğini artırabilir. Ayrıca sitokinin–oksin dengesinin tür bazında sistematik olarak optimize edilmesi, mikroçoğaltım süreçlerinde daha tutarlı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Tüm çalışmada kaynaklarda verilen bulgular özet niteliğinde Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2: Asparagaceae familyası türlerinde mikroçoğaltım protokolleri

Tür / Çeşit	Eksplant Tipi	Hormon Kombinasyonu (mg/L)	Besin Ortamı	Başarı Kriteri	En İyi Sonuç / Gözlem (Kaynak)
<i>Bellevia edirnensis</i>	Soğan & embriyo	BAP (2–4) + NAA (1–2) / NAA (1–2)	MS	Soğancık, kallus	%97.3 soğancık oluşumu (Aydın, 2021)
<i>Bellevia sarmatica</i>	Soğan	BAP/NAA/IAA/Kinetin (0.5–1.0) + Sükroz (30–90 g/L)	MS	Mikroklonal çoğaltım	B1 ve B6 ortamları en başarılı (Maria vd., 2011)
<i>Bellevia romana</i>	Mezokotil, kök, kotiledon	BAP + NAA / 2,4-D	MS	Kallus, somatik embriyo	Rejenerasyon + 2,4-D ile embriyogenez (Lupi vd., 1985; Cavallini vd., 1986)
<i>Polianthes tuberosa</i> cv. Prajwal	Aksiller tomurcuk	BAP (4) + NAA (0.5) + TDZ (0.5)	MS	Sürgün gelişimi	En yüksek çoğaltım aksiller tomurcuktan (Surendranath vd., 2015)
<i>Polianthes tuberosa</i> cv. Shringar	Soğan, pul yaprak	BAP (4–6) + NAA/IAA (0.2–0.5)	MS	Sürgün uzunluğu	BAP 6 + IAA 0.5 ile çoğalma (Bhatt vd., 2015)
<i>Ornithogalum oligophyllum</i>	İkili pul yaprak	BAP (1–2) + IBA (0.5–1.0)	MS	Soğancık oluşumu	%85'i normal bitkiciklere dönüştü (Özel vd., 2007a)
<i>Ornithogalum ulophyllum</i>	Pul yaprak / in vitro soğancık	BAP (1–4) + NAA (0.5–2)	MS	Rejenerasyon, köklenme	En yüksek soğancık: BAP 2 + NAA 1 (Özel vd., 2008)

Çizelge 2: Asparagaceae familyası türlerinde mikroçoğaltım protokolleri (devamı)

Tür / Çeşit	Eksplant Tipi	Hormon Kombinasyonu (mg/L)	Besin Ortamı	Başarı Kriteri	En İyi Sonuç / Gözlem (Kaynak)
<i>Ornithogalum longibracteatum</i>	Soğan, yaprak, çiçek sapı	BAP (1.5–2.5)	MS	Soğancık, kontaminasyon	Çiçek sapı en verimli eksplant (López-Marín vd., 2009)
<i>Asparagus macrorrhizus</i>	Rizom tomurcuğu	NAA (0.3) + KIN (0.1) + ancymidol (2.0)	MS	Sürgün, köklenme	%69.7 sürgün, %17.4 kök (Regalado vd., 2018)
<i>Asparagus racemosus</i>	Nodal segment	2-iP (3.69)	MS / ½ MS	Sürgün, kök	½ MS + floriglucinol ile kök (Bopana & Saxena, 2008)
<i>Asparagus maritimus</i>	Mızrak sürgün	BA, KIN, NAA, ancymidol	MS	Sürgün başlangıcı	BA (0.88) ve NAA kombinasyonu etkili (Stajner vd., 2002)
<i>Hyacinthus orientalis</i> (genel)	İkili pul yaprak / yaprak	BA (3–6) + NAA (0.1–0.2)	MS	Sürgün indüksiyonu	BA 5 + NAA 0.1 ile yapraklar daha başarılı (Xiaomei vd., 2010)
<i>Hyacinthus orientalis</i> subsp. <i>chionophyllus</i>	Olgunlaşmamış embriyo	JA (1–2) + IAA / 2iP	MS	Soğancık, kök	JA + 2iP / JA + IAA etkili kombinasyonlar (Doğan vd., 2020)
<i>Muscari neglectum</i>	Pul yaprak	BAP (0.5–1) + NAA (0.8–1.2)	MS	Kallus, soğancık	%100 kallus, 1.93 soğancık/eksplant (Fida, 2020)
<i>Muscari racemosum</i>	Pul yaprak / yaprak tabanı	Kinetin (18.60) + NAA (5.37) / BAP+NAA	MS	Soğancık üretimi	10 haftada en iyi çoğaltım (Özel & Ünal, 2021)
<i>Muscari armeniacum</i>	Pul yaprak / yaprak kılıfı	BAP (4) + NAA (1)	MS	Adventif soğancık	BAP 4 + NAA 1 en yüksek oran (Faruq vd., 2018)
<i>Muscari macrocarpum</i>	İkili pul yaprak	BAP/NAA veya Kinetin/NAA (1–4)	MS	Aksiller & adventif	En fazla büyüme 4 KIN + 2 NAA (Özel vd., 2009)
<i>Polygonatum cyrtonema</i>	Rizom (adventif tomurcuk)	ZT (1.0) + NAA (0.2)	½ MS	Tomurcuk, kök	%87.9 tomurcuk; ¼ MS'de %88 kök (Junwei vd., 2017)
<i>Polygonatum odoratum</i>	Rizom, yaprak, kök	BA (1–3) + NAA/IBA	MS / ½ MS	Kallus, sürgün, kök	Rizom + BA/NAA → optimum sürgün ve kök (Hui & PeiJun, 2009)

Çizelge 2: Asparagaceae familyası türlerinde mikroçoğaltım protokolleri (devamı)

Tür / Çeşit	Eksplant Tipi	Hormon Kombinasyonu (mg/L)	Besin Ortamı	Başarı Kriteri	En İyi Sonuç / Gözlem (Kaynak)
<i>Polygonatum verticillatum</i>	Gövde diski	BAP (1.0) + NAA (0.5)	MS	Mikroçoğaltım	En etkili sürgün çoğaltımı (Bisht vd., 2012)
<i>Scilla scilloides</i>	Hipokotil, çimlenmiş fidan	TDZ (0.3) + 6-BA (3.0)	½ MS	Sürgün, kök	IAA ile ¼ MS köklendirme ideal (Zhiming vd., 2014)
<i>Scilla siberica</i>	Soğan pul yaprağı / yaprak	2,4-D + kinetin / BAP	MS	Kallus, doğrudan sürgün	Pulda kallus, yaprakta doğrudan sürgün (Chaudhuri & Sen, 2002)
<i>Scilla siberica subsp. armena</i>	Petiyol	TDZ (0.25–2) + NAA (0.1–0.2)	MS	Çoklu sürgün	Maks. sürgün: TDZ 2 + NAA 0.2 (Özdemir & Yıldırım, 2016)

Çizelge 3: Asparagaceae türlerinde kullanılan hormonlar ve etkileri

Hormon Adı	Grup	Kullanım Amaçları	Etkili Olduğu Türler	Notlar / Kombinasyonlar
BAP (6-Benzylaminopurine)	Sitokinin	Sürgün indüksiyonu, soğancık oluşumu	<i>Bellevia, Polianthes, Asparagus, Ornithogalum</i>	NAA ile kombine kullanıldığında sinerjik etki sağlar. Yüksek dozda fizyolojik stres oluşturabilir.
NAA (α-Naphthaleneacetic acid)	Oksin	Kallus oluşumu, köklenme, farklılaşma	<i>Ornithogalum, Muscari, Polygonatum, Scilla</i>	BAP, TDZ, kinetin ile kombinasyonlarda sıklıkla yer alır. Doz dengesi önemlidir.
2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	Oksin	Somatik embriyogenez, kallus indüksiyonu	<i>Bellevia romana, Hyacinthus, Muscari</i>	Yüksek genetik varyasyon riski (anöploidi/poliploidi); geçici kullanım önerilir.
TDZ (Thidiazuron)	Fenilüre (sitokinin-benzeri)	Sürgün çoğaltımı, embriyogenez	<i>Hyacinthus, Muscari, Polygonatum, Scilla</i>	Düşük dozda yüksek etki; sürgün oluşumunda son derece etkilidir.
IBA (Indole-3-butyric acid)	Oksin	Kök indüksiyonu, köklendirme	<i>Ornithogalum, Hyacinthus, Asparagus</i>	BAP ile birlikte %85'e varan sağlıklı bitki gelişimi sağlamıştır.
KIN (Kinetin)	Sitokinin	Hücre bölünmesi, sürgün büyümesi	<i>Muscari, Asparagus, Polygonatum</i>	Özellikle NAA ve IAA ile kök-sürgün dengelemesinde kullanılır.
2iP (Isopentenyl adenine)	Sitokinin	Tomurcuk indüksiyonu, sürgün gelişimi	<i>Asparagus racemosus, Polygonatum</i>	Daha çok nadir türlerde sitokinin alternatifi olarak kullanılmıştır.
ZT (Zeatin)	Doğal Sitokinin	Adventif tomurcuk indüksiyonu	<i>Polygonatum cyrtonema</i>	ZT + NAA kombinasyonu %87.9 tomurcuk indüksiyonu sağlamıştır.
JA (Jasmonic acid)	Stteroid benzeri bitki hormonu	Soğancık oluşumu ve köklenme	<i>Hyacinthus orientalis subsp. chionophyllus</i>	2iP ve IAA ile kombinasyonlarda sinerjik etki göstermiştir.
Ancymidol	Gelişim düzenleyici (GA inhibitörü)	Kısa internod, sürgün yoğunluğu	<i>Asparagus macrorrhizus, Asparagus A001</i>	BAP/NAA ile birlikte sürgün kontrolü ve kök büyümesinde denge sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Aydın, E. (2021). *Tehlike Altındaki Bellevalia edirnensis Özhatay & Mathew'in Doku Kültürü Üzerine Araştırmalar* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Azad, M. A. K., & Amin, M. N. (2012). Effects of Hormonal and Bazal Nutrient Medium on In Vitro Regeneration of an Ornamental Plant- *Muscari armeniacum* Leichtlin. Ex Baker. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 22(2), 113-126.
- Babaoğlu, M., Yorgancılar, M., & Akbudak, M. A. (2001). Bitki Biyoteknolojisi, Doku Kültürü ve Uygulamaları. İçinde *Bitki Biyoteknolojisi, Doku Kültürü ve Uygulamaları* (s. 1-35). Konya.
- Bhatt, B., Chand, S., & Srivastava, R. (2015). In vitro multiplication of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cv. Shringar. *International Journal of Basic and Applied Agricultural Research*, 13(1), 22-26.
- Bisht, S., Bisht, N. S., & Bhandari, S. (2012). In vitro micropropagation in *Polygonatum verticillatum* (L.) All. an important threatened medicinal herb of Northern India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18(1), 89-93.
- Bopana, S., & Saxena, S. (2008). In vitro propagation of a high value medicinal plant: *Asparagus racemosus* Willd. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 44, 525-532.
- Cavallini, A., Cremonini, R., Lupi, C., & Bennici, A. (1986). In vitro culture of *Bellevalia romana* (L.) Rchb. II. Cytological study of somatic embryos. *Protoplasma*, 132, 58-63.
- Chaudhuri, D., & Sen, S. (2002). In vitro response of *Scilla siberica*. *Scientia Horticulturae*, 95, 51-62.
- Doğan, S., Çağlar, G., & Bulunuz, E. (2020). The effect of different applications on in vitro bulb development of an endemic Hyacinth plant (*Hyacinthus orientalis* L. subsp. *chionophyllus* Wendelbo) grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(8), 1713-1719.
- Faruq, M. O., Shahinozzaman, M., Azad, M. A. K., & Amin, M. N. (2018). In vitro propagation of a cut flower variety *Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker through direct bulblet proliferation pathways. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 5(1), 067-075.

- Fida, A. (2020). *Van yöresinde yaygın olarak bulunan Muscari neglectum Guss'un in vitro koşullarda çoğaltımı* (Yüksek lisans tezi, yayımlanmamış). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., & Babaç, M. T. (2012). *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, Flora Dizisi 1, İstanbul.
- Haiping, Y., ZiChao, M., ShiQiang, S., JingZhi, W., & HongZhi, W. (2016). The key factors effecting on rapid propagation of *Asparagus officinalis*. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 31(4), 664-669.
- Hui, N., & PeiJun, Y. (2009). Tissue culture and rapid propagation of *Polygonatum odoratum* (Mil.) Druce. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 29(11), 2339-2344.
- López-Marín, J., González, A., & Cos, J. (2009). In vitro multiplication of four species of the genus *Ornithogalum*. *International Society for Horticultural Science*, 812(17), 161-164.
- Junwei, S., Jin, Z., & RongXin, Z. (2017). Effect of plant growth regulators on tissue culture of *Polygonatum cyrtonema* Hua. *Guizhou Agricultural Science*, 45(3), 97-100.
- Kamaleswari, K., Nandagopalan, V., & Lakshmi Prabha, A. (2016). Effects of plant growth regulators on in-vitro regeneration of a potential medicinal plant -*Scilla hyacinthina* (Roth.) J. F. Macbr. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 4(01), 043-046.
- Khan, N. H., Zaidif, N., Jabeen, S., & Iqbal, J. (2000). Micropropagation potential of *Polianthes tuberosa* L. bulbs, scales and leaves. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 43(2), 118-122.
- Kızıl, S., Sesiz, U., & Khawar, K. M. (2016). Improved in vitro propagation of *Hyacinthus orientalis* L. using fruits containing immature zygotic embryos and tender leaf sheaths as explants. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 15, 15-30.
- Kızıl, S., Sesiz, U., Khawar, K. M., Söğüt, T., & Acay, Ü., Sarihan, B. (2017). Agriculture for Life, Life for Agriculture. Haziran 2017, Buchrest – Romania.

- Ko, J. A., Choi, J. R., Xudong, H., & Kim, H. S. (2006). Effective in vitro Propagation by Bulb Scale Segments Culture of *Muscari comosum* var. Plumosum. *Korean Journal of Plant Resources*, 19(3), 432-435.
- Lupi, C., Bennici, A., & Gennai, D. (1985). In vitro culture of *Bellevallia romana* (L.) Rchb I. Cytological study of somatic embryos. *Protoplasma*, 125, 185-189.
- Mabberley, D. (2008). *Mabberley's plant-book: A Portable Dictionary of Plants, Their Classification and Uses*. Cambridge University Press.
- Mansuroğlu, S., & Gürel, E. (2001). Mikroçoğaltım. İçinde *Bitki Biyoteknolojisi I. Doku Kültürü ve Uygulamaları* (s. 262-281).
- Maria, S., Nina, C., Doina, C., & Alexandru, F. (2011). The conservation of species *Bellevallia sarmatica* (Georgi) Woronov by the vitroculture method. *J. Plant Develop*, 18, 11-15.
- Maung, M., Myint, K. T., & Thu, M. K. (2019). Effects of different explant types, plant-growth regulators and shoot density on in vitro regeneration of *Asparagus* (*Asparagus officinalis* L.). *Journal of Agricultural Research*, 6, 109-115.
- Nasırcılar, A. G., Mirici, S., Karagüzel, Ö., Eren, Ö., & Baktır, İ. (2011). In vitro propagation of endemic and endangered *Muscari mirum* from different explant types. *Turkish Journal of Botany*, 35, 37-43.
- Naz, S., Aslam, F., Ilyas, S., & Shahzadi, K., Tariq, A. (2012). In vitro propagation of tuberosa (*Polianthes tuberosa*). *Journal of Medicinal Plant Research*, 6, 4107-4112.
- Özdemir, F. A., & Yıldırım, M. U. (2016). *Scilla siberica* subsp. *armena* yaprak sapından in vitro çoklu sürgün rejenerasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 215-220.
- Özel, Ç. A., Khawar, K. M., Arslan, O., & Ünal, F. (2009). In vitro propagation of the golden grape hyacinth (*Muscari Macrocarpum* Sweet) from twin scale explants. *Propagation of Ornamental Plants*, 9(4), 169-175.
- Özel, Ç. A., Khawar, K. M., Karaman, S., Ateş, M. A., & Arslan, O. (2008). Efficient in vitro multiplication in *Ornithogalum ulophyllum* Hand.-Mazz. From twin scale explants. *Scientia Horticulturae*, 116(1), 109-112.

- Özel, Ç. A., Khawar, K. M., & Özcan, Sancak. (2007a). In vitro bulblet regeneration of *Ornithogalum oligophyllum* E. D. Clarke using twin scale bulb explants. *Propagation of Ornamental Plants*, 7(2), 82-88.
- Özel, Ç. A., & Ünal, F. (2016). Efficient in vitro clonal propagation of *Muscari neglectum* Guss Ex Ten using thidiazuron naphthalene acetic acid. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(12), 1173-1178.
- Özel, Ç. A., & Ünal, F. (2021). In vitro regeneration of *Muscari racemosum* Mil. using twin bulb scales, primary bulbs, and leaf bases. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(3), 714-727.
- Özel, Ç. A., Ünal, F., & Khawar, K. M. (2007). In vitro axillary bulblet regeneration of turkish yellow grape hyacinth *Muscari macrocarpum* Sweet from twin scale explants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 924-929.
- Patel, L. S., & Patel, R. S. (2015). Rapid in vitro micropropagation of *Asparagus racemosus* Willd. from nodal explants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences (IJCMAS)*, 4(5), 607-617.
- QiaoYing, G., Sing, D., & Fanglun, S. (2012). Tissue culture and rapid propagation of broadleaf Asparagus. *Acta Agriculturae Shanghai*, 28(2), 45-47.
- Regalado, J. J., Carmona-Martin, E., López-Granero, M., Jiménez-Araujo, A., Castro, P., & Encina, C. L. (2018). Micropropagation of *Asparagus macrorrhizus*, a Spanish endemic species in extreme extinction risk. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 132, 573-578.
- Santos, A., Fidalgo, F., & Santos, I. (2006). In vitro propagation of *Hyacinthus orientalis* cv. Jan Boss from bulb twin-scale explants. İçinde J. A. Teixeira da Silva (Ed.), *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues* (Chapter: 72). Porto, Portugal.
- Sivanesan, I., & Jeong, B. R. (2012). In vitro propagation of *Polygonatum odoratum* Druce var. *Pluriflorum* Ohwi F. *Variegatum* Y. N. LEE. *Propagation of Ornamental Plants*, 12(4), 215-219.
- Stajner, N., Bohanec, B., & Jakse, M. (2002). In vitro propagation of *Asparagus maritimus* a rare Mediterranean salt-resistant species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 70, 269-274.

- Surendranath, R., Ganga, M., SharathKumar, M., & Jawaharlal, M. (2015). In vitro propagation of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *Current Biotica*, 9(3), 269-277.
- Uranbey, S., İpek, A., Çalışkan, M., Dündar, E., Cocu, S., Basalma, D., & Güneylioglu, H. (2010). In vitro bulblet induction from bulb scales of endangered ornamental plant *Muscari azureum*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 24(2), 1843-1848.
- Uranbey, S. (2010a). In vitro bulblet regeneration from immature embryos of *Muscari azureum*. *African Journal of Biotechnology*, 9(32), 5121-5125.
- Uranbey, S. (2010b). Stimulating effects of different basal media and cytokinine types on regeneration of endemic and endangered *Muscari aucheri*. *Archives of Biological Sciences*, 62(3), 663-667.
- Uzun, S., Parmaksız, İ., Uranbey, S., Mirici, S., Sarihan, E. O., İpek, A., Kaya, M. D., Gürbüz, B., Arslan, N., Sancak, C., Khawar, K. M., & Özcan, S. (2014). In vitro micropropagation from immature embryos of the endemic and endangered *Muscari muscarimi* Medik. *Turkish Journal of Biology*, 38, 83-88.
- Vaziri, P. A., Uranbey, S., & Sancak, C. (2014). Efficient in vitro micropropagation for the conservation of endemic and endangered aucher-eloy grape hyacinth (*Muscari Aucheri* (boiss.) Baker). *Journal of Applied Biological Sciences*, 8(1), 80-83.
- Xiaomei, S., Yan, L., HongGuang, Y., Wen Shan, C., & Yabin, W. (2010). Rapid micropropagation system via in vitro culture in *Hyacinthus orientalis* L. *Journal of Shenyong Agricultural University*, 41(1), 33-36.
- Yücesan, B. B., Çiçek, F., & Gürel, E. (2014). Somatic embryogenesis and encapsulation of immature bulblets of an ornamental species, grape hyacinths (*Muscari armeniacum* Leichtlin ex Baker). *Turk Journal Agricultural For*, 38, 716-722.
- Zhiming, Z., Junwei, S., & Zhen, C. (2014). Effects of plant growth regulators on in vitro plant regeneration of *Scilla scilloides*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 42, 27-30.

BÖLÜM 6

SÜT SIĞIRI İŞLETMELERİNDE YAĞMUR SUYU HASADININ KULLANIM OLANAKLARININ BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Sedat BOYACI¹

Meryem Sümeyye EKİZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763791>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye. sedat.boyaci@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9356-1736

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırşehir, Türkiye. meryemsumeyyeekiz@gmail.com, Orcid ID: 0009-0007-0739-7038

GİRİŞ

İklim, uzun bir zaman periyodu içinde her gün gerçekleşen hava olaylarının toplamını temsil etmekte olup oldukça geniş bir bölge üzerinde ve uzun yıllar boyunca değişmeyen ortalama hava koşullarıdır (Özgürel ve Pamuk Mengü, 2009). İklimi etkileyen dışsal doğal faktörlerin yanı sıra insan faaliyetleri ve fosil yakıtların kullanımı neticesinde atmosferin bileşimi değişmeye başlamıştır (EPA, 2020). Buna bağlı olarak ortaya çıkan değişim kaynaklı yağış dalgalanmaları, artan sıcaklıklar ve su kıtlığı, dünyanın karşılaşacağı en büyük sorunlar olarak gösterilmektedir (World Economic Form, 2020). Hayati faaliyetlerin sürdürülmesi için en temel gerekliliklerden biri olan suyun önemi ve etkin kullanımı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Artan nüfus ve plansız sanayileşme, mevcut su kaynaklarının tüketimini hızlandırmaktadır. Ancak iklim değişikliğinin bir sonucu olan kuraklık, su kaynakları için bir tehdit oluşturmaktadır. Su kaynaklarının tükenebilirliği, hızlı nüfus artışı, plansız sanayileşme ve kuraklık gibi faktörler alternatif su kaynaklarına yönelimi artırmaktadır (Ertop ve ark., 2023). Su kaynaklarının verimli yönetimi, alternatif su kaynaklarının kullanılmasını içermelidir (Hristov ve ark., 2021). Alternatif kaynaklardan biri de su kıtlığı üzerinde olumlu etkisi olan yağmur suyu hasadı yöntemidir (Ertop ve ark., 2023). Su hasadı, akarsu veya kuyular gibi yaygın olarak kullanılan su kaynaklarının kısıtlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yüzey akışa geçen yağmur sularının toplanması ve depolanması anlamına gelmektedir. Su hasadı sistemleri, insan, hayvan ve vahşi yaşam için içme suyu teminine katkı sağlaması yanında, bitkisel ürünleri yetiştirmek içinde ek su sağlayabilir (Fraiser, 1980). Çok eski zamanlardan beri bilinen bir su toplama yöntemi olan su hasadı, günümüzde artan kuraklık problemlerine alternatif bir çözüm olarak yeniden önem kazanmıştır. Bölgenin yağın yağışların yoğunluğuna bağlı olarak potansiyel bir kaynak olan yağmur suyu, ihtiyaç duyulan su ve gıda krizini azaltmak için iyi bir alternatif olabilir (Helmreich ve Horn, 2009). Yağmur suyu hasadı, su kıtlığından etkilenen bölgelerde etkili alternatif bir su sağlama çözümü olabilir. Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölgelerde su temininde sağladığı katkılar ve ekonomik olarak maliyetlerinin uygunlu dikkate alındığında su hasadı yeniden önemli bir alternatif haline gelmiştir (Liuzzo ve ark., 2016). Hoss ve ark., (2022) yağmur suyu hasad sistemleri sadece kurak dönemlerinin olumsuz etkilerini azaltmak için değil aynı zamanda kırsal

bölgelerde yer alan hayvancılık işletmelerinin gereksinim duyduğu suyu karşılamak, su güvenliğini sağlamak ve mevcut su kaynaklarına katkı sağlaması gibi özellikleri nedeniyle yüksek bir potansiyel ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Akdeniz iklimine sahip bölgelerde sıcaklıkların 2050 yılına kadar 3°C artış gösterebileceği ve yağışların ise yaklaşık %30 oranında azalma gösterebileceği, bu durumda mevcut su kaynaklarında %40'a varan bir azalmanın ortaya çıkmasına neden olabileceği tahmin edilmektedir (EEA, 2021). Küresel olarak tarım ve hayvancılık üretimi tüketilen tüm suyun %72'sini kullanmaktadır, tarımsal üretimin yoğunlaşması nedeniyle bu miktar gelişmekte olan ülkelerde daha da yüksek olabilir ve su rekabeti artar. Bu nedenle, su stresini azaltmanın yolu sürdürülebilir gıda sistemlerinden geçer (Carra ve ark., 2023). Su zengini olmayan ülkemizde ileriki yıllarda kendisini daha fazla hissettirmesi muhtemel iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan düzensiz yağış rejimleri ihtiyaç duyulan içme ve kullanma sularının temininde olumsuzlukların yaşanmasına neden olacaktır. Bu durum insanoğlunun yaşamını olumsuz etkilemesi yanında su tüketiminin yoğun olduğu hayvancılık sektörünü de olumsuz etkileyecektir. Gıdaya erişim ve sürdürülebilir hayvancılık için olası su kısıtlarından dolayı yaşanacak verim kayıpları ve hayvan sağlığı problemlerinin en aza indirilmesi amacıyla hayvancılık işletmelerinde alternatif su temin yöntemlerine ihtiyaç duyulacaktır.

Bu çalışmada, (i) mevcut hayvan sayısına göre süt sığırları için örnek bir işletme tasarlanması, (ii) işletme içerisinde gereksinim duyulan bina alanlarına göre çatı yüzey alanlarının belirlenmesi, (iii) çatı yüzey alanlarına bağlı olarak yağmur suyu hasadı ile toplanabilecek su miktarının hesaplanması ve (iv) yağmur suyu hasadının süt sığırlarının su tüketimini karşılama potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarının hayvancılık işletmelerinde yapılacak yağmur suyu hasadı çalışmalarında yol gösterici olması beklenmektedir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanının Konumu ve Meteorolojik Özellikleri

Çalışmada, süt sığırları işletmelerinde yağmur suyu hasadının kullanım olanaklarının belirlenebilmesi amacıyla Kırşehir ilinin coğrafi konumu (39°08'02"K, 34°07'08"D ve rakımı 1082 m) dikkate kullanılmıştır. Kırşehir ilinin uzun yıllara ait (1930-2024) bazı iklim değerleri Tablo1'de verilmiştir (MGM, 2024).

Tablo 1. Kırşehir iline ait uzun yıllık iklim verileri

Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Ortalama yağışlı gün sayısı	Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm)
Ocak	-0,2	11,95	48,0
Şubat	1,4	10,2	34,9
Mart	5,2	10,7	40,4
Nisan	10,8	10,4	40,8
Mayıs	15,5	11,3	44,2
Haziran	19,7	7,3	34,9
Temmuz	23,1	1,9	8,1
Ağustos	23,1	1,4	7,6
Eylül	18,6	3,0	13,1
Ekim	12,8	6,2	26,0
Kasım	6,6	8,0	36,3
Aralık	2,2	11,7	48,3

Çalışma alanı olan Kırşehir ilinde Aralık ayı (48,3 mm) yağış miktarının en yüksek olduğu ay iken Ağustos ayı (7,6 mm) yağışın en düşük ölçüldüğü aydır. İlin uzun yıllık ortalama yağış miktarı 382,6 mm'dir (Tablo 1).

Tasarlanan İşletmede Çatı Yüzey Alanlarının Belirlenmesi

Çalışmada tasarlanan büyükbaş hayvancılık işletmesi içerisinde yer alan ahır, yem deposu, süt sağım merkezi, malzeme depo binası ve makine garajına ait binaların çatı alanları, yağmur suyu hasadının toplanacağı alanlar olarak belirlenmiştir. Tasarlanan işletmede bina boyutları araştırmacıların önerileri doğrultusunda belirlenmiştir (Olgun, 2009; Büyüктаş ve ark, 2016). Tasarlanan işletmede yer alan binaların çatı yüzey alanları toplamı 1734 m² olarak hesaplanmıştır. İşletme içerisindeki, çatı alanına sahip binaların çatı alanları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İşletme içerisindeki, çatı alanına sahip binaların çatı alanları

Birimler	Çatı alanı, m ²
Ahır	1310
Kaba ve Kesif yem deposu	202
Süt sağım merkezi	105
Malzeme depo binası	74
Makina garajı	43
Toplam alan	1734

Hasad Edilecek Yağmur Suyu Miktarının Belirlenmesi

İşletmelerin çatılarına kurulacak yağmur suyu toplama sistemi ile elde edilebilecek hasad miktarı ve işletmenin ihtiyacı olan su miktarı karşılaştırılmıştır. Kırşehir ilinin aylık yağış miktarları (P) için uzun yıllık (1930-2023) ortalama yağış miktarları hesaplamalarda dikkate alınmıştır (MGM, 2024). Çalışmada, büyükbaş hayvancılık işletmesinde hasad edilebilecek yağmur su miktarı Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018; Kılıç ve ark., 2023).

$$YSH = A \times P \times RC \times FEC \quad (1)$$

Eşitlikte: YSH= Toplanabilecek yağmur suyu hasadı miktarı (m³), A= Hasad yapılacak binaların çatı yüzey alanları (m²) P= Yağış miktarı (L/m²), RC= Çatıya ulaşan yağışın kullanılacağı çatı katsayısı (0,8), FEC: Filtre edilecek yağmur suyunda filtrenin verim katsayısı (0,9)

Yağmur Suyu Depolama Sistem Tasarımı

Günlük yağış potansiyeli belirlenirken bölgede maksimum yağışa denk gelen aydaki günlük yağmur suyu potansiyeli hesaplanmaktadır. Günlük ihtiyaç duyulan su miktarı ve yağmur suyu potansiyeli karşılaştırılarak minimum olan değer en az 3 gün depolanabilecek şekilde depo seçimi yapılmaktadır (Anonim, 2022). Kurulacak olan sistemin ortalama ömrü 25 yıldır (Kılıç ve ark., 2024).

Çalışmada yağmur suyunu depolama sisteminin tesisatı için kullanılacak malzeme ve miktarı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yağmur suyunu depolama sisteminde kullanılacak malzeme ve miktarları

Malzemeler	Maliyetler, TL
20 Ton Galvanizli Modüler Su Deposu (216 cm x 432 cm x 216 cm)	50400
Nakliye ve Kurulum masrafları	20000
Vorteks Filtre	20000
Elektrikli su motoru	5000
Boru + Dirsek + T boru +Vana	15000
Toplam	110.400

İşletmede Mevcut Hayvan Sayısına Bağlı Su Tüketim Miktarları

İşletmede mevcut hayvan sayısına bağlı su tüketim miktarları Tablo 4'te verilmiştir (Chapagain ve Hoekstra, 2003).

Tablo 4. Büyükbaş hayvanlar için gerekli günlük içme suyu ihtiyaçları

Yaşlara göre sığır grupları	İhtiyaç duyulan su, L/gün/sığır
Sağmal inek	92
0-6 ay buzağı	11
6-12 ay genç sığır	20
12-18 ay genç sığır	40
>18 sığır	50

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kırşehir İline Ait Büyükbaş Hayvan Sayıları

Kırşehir ilinin ilçelere göre sığır sayıları ile oransal dağılımları Tablo 5'te verilmiştir (TÜİK, 2024).

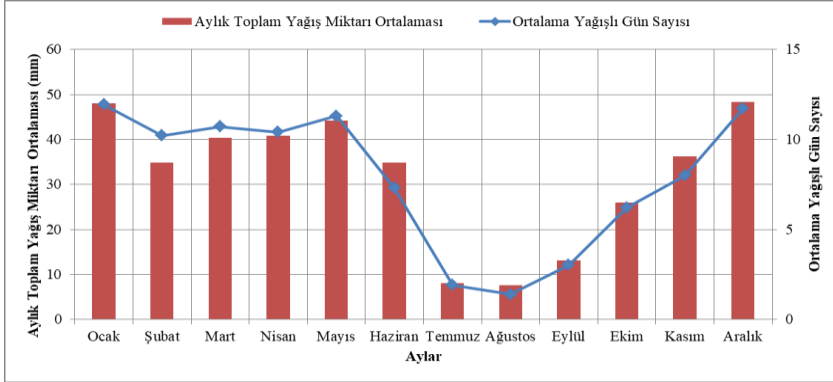
Tablo 5. Sığır sayıları ve oransal dağılımları

İlçeler	Sığır sayısı, baş	Yüzde, %
Akpınar	8960	3,2
Akçakent	7947	2,9
Boztepe	50207	18,0
Kaman	27304	9,8
Merkez	134864	48,5
Mucur	31407	11,3
Çiçekdağı	17521	6,3
Kırşehir	278.210	100,0
Türkiye	16.583.005	1,7

Tablo 5'e göre Kırşehir ilinin sığır sayısı Türkiye'de yetiştirilen sığır sayısının %1,7'sinin oluşturmaktadır. Hayvan sayısının ilçelere göre dağılımına bakıldığında ise toplam sığır sayısı bakımından Merkez ilçe %48,5 ile en yoğun ve Akçakent ilçesi %2,9 ile en az sığır sayısına sahip ilçe olduğu görülmektedir. Tablo 5'e göre Merkez ilçe sığır yetiştiriciliğinin en yoğun olduğu ilçedir. Bu nedenle yağmur suyu hasadı hesaplamalarında Kırşehir ili merkez ilçesinin yağış miktarları dikkate alınmıştır.

Kırşehir İlinde Yağmur Suyu Hasadı Gereksiniminin Meteorolojik Olarak İncelenmesi

Kırşehir iline ait uzun yıllık (1930-2023) aylık toplam yağış miktarı ortalaması ve ortalama yağışlı gün sayısı değerleri Şekil 1’de verilmiştir.



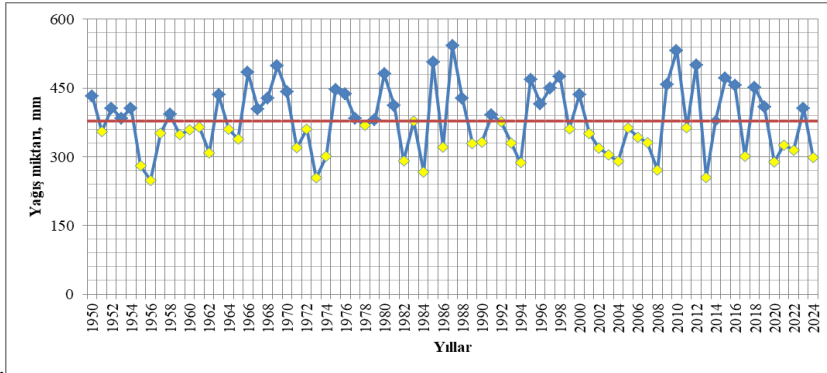
Şekil 1. Ortalama Aylık toplam yağış miktarı ve yağışlı gün sayısı değerleri

Şekil 1’den görüldüğü üzere Kırşehir ilinde yağışlı gün sayısı yıllık ortalama 94,2 iken aylık toplam yağış miktarı ortalaması 382,6 mm’dir. Buna göre ilde aylık yağış miktarı en yüksek Aralık ayı 48,3 mm iken Ağustos ayı 7,6 mm’lik yağış ile en düşük yağışın olduğu aydır. Yağışlı gün sayısı ise en yüksek 12 gün ile Ocak ayı iken Ağustos ayında ise yağış sayısı ortalaması 1,4 gündür. Buna göre Kırşehir ilinde yıl içerisinde yağış sayısı ve miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, Kırşehir ili, Thorntwait iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak-az nemli iklim özelliği, Köppen-Trewartha iklim sınıflandırmasına göre yazları sıcak, kışları soğuk, ılıman karasal, Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre kurak, Erinç iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak, De Martonne kuraklık indeksine göre yarı kurak-nemli arası olarak belirlenmiştir (MGM, 2024). Araştırmacıların iklim sınıflandırmalarına göre de karasal iklim özelliği gösteren Kırşehir ilinin genel olarak yarı kurak ve kurak bir iklime sahip olduğu görülmektedir.

Araştırmacıların Kırşehir ilinin uzun yıllık sıcaklık değişimleri inceledikleri çalışmalarında, Boyacı ve ark. (2016) 1960-2015 yılları ve son 10 yıllık (2006-2015) değerleri karşılaştırdıkları çalışmalarında son 10 yıllık periyotta ortalama sıcaklık değerinin uzun yıllara göre ortalama 0,68°C daha yüksek olduğunu ve Mayıs-Ekim ayları arasındaki sıcaklık artışının sırasıyla

0,61-0,96-0,97-1,67-1,20-0,60°C olduğunu bildirmişlerdir. Boyacı ve Küçükönder (2021) ise Kırşehir ili için kuraklık sürecinin bütünsel çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirdikleri çalışmalarında, uzun yıllık (1950-2019) ve son 10 yıllık (2010-2019) sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında uzun yıllık ortalamalara göre son 10 yılda 1°C'lik sıcaklık artışı olduğu ve Mayıs-Ekim ayları arasındaki sıcaklık artışının sırasıyla 0,8-0,9-1,3-1,6-1,7-0,6°C olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer olarak, WMO, (2024) Haziran 2023'ten Eylül 2024'e kadar olan 16 aylık süreçte bugüne kadar kaydedilen en sıcak yıllar olarak kayıtlara geçtiğini ve 2015'ten 2024'e kadar olan son 10 yıllık süreçte, 175 yıllık gözlemsel kayıtlardaki en sıcak on yıl olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 2024 yılı Ocak-Eylül dönemi, sanayi öncesi ortalamanın $1,54 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ üzerinde gerçekleşti bildirilmiştir. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalara bakıldığında yıllar itibariyle Kırşehir ilinin de dünyada yaşanan sıcaklık artışlarına paralel bir sıcaklık artışı yaşandığı görülmektedir.

Kırşehir ilinde 1950-2024 yılları arasında ölçülen uzun yıllık ortalama yağış miktarlarının değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kırşehir iline ait uzun yıllık ortalama yağış miktarlarının değişimi

Uzun yıllık ortalama yağış miktarının 382,6 mm olduğu Kırşehir ilinde ölçüm yapılan 75 yılın 35 yılında yıllık ortalama yağış miktarının üzerinde bir yağış ölçülürken 40 yılında ise ortalama yağış miktarının altında yağış olmuştur. Bu durumda Kırşehir ilinde ortalama olarak iki yılda bir yağışların ortalamasının altında kaldığı görülmektedir (Şekil 2).

Dünya ve Türkiye genelinde olduğu gibi Kırşehir ilinde de artan sıcaklıkların etkisi ile yerüstü sularının buharlaşması ve yaklaşık olarak iki yılda bir yağışların ilin ortalama yağış miktarının altında kalması nedeniyle

yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının yağışlar ile beslenmesinde sorunlar çıkaracağı açıktır. Su kaynaklarında yaşanacak bu sorunlar tarım sektöründe olduğu gibi hayvancılık işletmelerinin su temininde de sorunlar ortaya çıkarak yapılacak üretimde verim kayıpları ve hayvan sağlığı ile ilgili sağlık sorunlarının yaşanması muhtemel olacaktır.

Bu durum dikkate alındığında Kırşehir ilinde özellikle kurak geçen yıllarda tarım ve hayvancılık sektörünün su kısıtı nedeniyle yaşayabileceği sorunların azaltılabilmesi amacıyla çatı yüzey alanına sahip binalarda yağmur sularının hasad edilerek yetiştiricilikte kullanılması işletmeler açısından su kaynağına erişim bakımından alternatiflerin oluşturulması ve verim kayıplarının azaltılması bakımından oldukça önemli olacaktır.

Süt Sığırlarının Su Tüketim Miktarlarının Belirlenmesi

Çalışmada ele alınan işletmede hayvanlarının yaş gruplarına göre sayısı ve günlük içme suyu ihtiyaçları dikkate alınarak hesap edilen günlük toplam su tüketim miktarları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. İşletmede ihtiyaç duyulan su miktarı

Yaşlara göre sığır grupları	Hayvan sayısı, baş	İhtiyaç duyulan su, L/gün/sığır	Toplam gereksinmesi (L/gün)	Yıllık su ihtiyacı (L/yıl)
Sağmal inek	50	92	4600	1679000
0-6 ay buzağı	17	11	187	68255
6-12 ay genç sığır	22	20	440	160600
12-18 ay genç sığır	12	40	480	175200
>18 sığır	10	50	500	182500
Toplam			6207	2265555

Tablo 6’ya bakıldığında işletmelerde hayvanlar için gerek duyulan su tüketim miktarları toplam 111 baş sığır için toplam 6.207 litre/gün olarak belirlenmiştir. Buna göre işletmenin yıllık su ihtiyacı 2.265.555 litre/yıl olacaktır. Araştırmacıların yapmış oldukları benzer çalışmalarda, Parker ve ark., (2000) Amerika’nın Teksas eyaletinin bazı bölgelerinde tükenmeye başlayan yeraltı su kaynakları nedeniyle su tasarrufunun, çok daha önemli bir hale geldiği bildirilmiştir. Çalışmada, besi sığırı tesisinde iki yıl süresince su kullanım çalışması yapılmış ve iki yıllık dönemde ortalama günlük su kullanımını 40,9 L/baş/gün olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, kış aylarında toplam kullanımın %66’sı, yaz aylarında ise %89’unun içme amaçlı olarak

kullanıldığını bildirmişlerdir. Meehan (2021) süt sığırlarında sütün %87'sini su oluşturur ve süt sığırlarının tükettiği suyun yaklaşık %30'u süt yoluyla kaybedilir. Bu nedenle süt sığırlarının su gereksinimleri, üretim aşaması ve süt üretim seviyesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Süt sığırlarının tükettiği suyun büyük bir kısmı (yaklaşık %83) içme yoluyla tüketilmekte, geri kalan su ise yemlerden sağlanmaktadır. Su gereksinimleri hayvanın beslenmesinden etkilenir ve kuru madde, tuz ve proteindeki artışlarla birlikte artar. Yetersiz su süt üretimini sınırlayabileceğinden su, süt sığırları için en önemli besin bileşenidir. Laktasyondaki süt inekleri üretilen her kg süt için yaklaşık 4 L suya ihtiyaç duyar. Yapılan çalışmalarda, süt sığırı yetiştiriciliğinde hayvanların refahı ve veriminin sağlanması açısından günlük tüketilen günlük su miktarlarının oldukça önemli olduğu görülmektedir. Ancak ortaya çıkan yüksek miktarda su tüketimi yıllık yağış miktarının düşük olduğu Kırşehir ilinde, iklim değişikliği kaynaklı ortaya çıkan düzensiz yağış rejimleri de dikkate alındığında suyun temin edilmesi ilerleyen yıllarda işletmeler için bir sorun oluşturacaktır. Bu nedenle işletmelerin yağmur suyu gibi alternatif su kaynaklarına yönelmesi aynı zamanda yer üstü ve yeraltı suları üzerindeki baskıyı da azaltacaktır.

İşletmede Toplanabilecek Yağmur Suyu Hasadı Miktarının Belirlenmesi

Süt sığırı yetiştirilen işletmede yağmur suyu hasadı ile toplanacak su miktarları ve tüketimi karşılama oranları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Süt sığırı işletmelerinde toplanacak su miktarları ve karşılama oranları

Aylar	Yağış	Çatıdan toplanan yağmur suyu miktarı, m ³	Toplam Su Tüketimi, m ³	Karşılama Oranı, %
Ocak	48,0	59,9	192,4	31,1
Şubat	34,9	43,6	173,8	25,1
Mart	40,4	50,4	192,4	26,2
Nisan	40,8	50,9	186,2	27,4
Mayıs	44,2	55,2	192,4	28,7
Haziran	34,9	43,6	186,2	23,4
Temmuz	8,1	10,1	192,4	5,3
Ağustos	7,6	9,5	192,4	4,9
Eylül	13,1	16,4	186,2	8,8
Ekim	26,0	32,5	192,4	16,9
Kasım	36,3	45,3	186,2	24,3
Aralık	48,3	60,3	192,4	31,3
Toplam	382,60	477,7	2265,6	21,1

Tablo 7’de işletmede hayvanların aylık ortalama su tüketiminin 188.8 m^3 olduğu görülmektedir. İşletme içerisinde kapalı alana sahip binaların çatı alanlarından toplanacak yağmur suyu hasadı ile yağışın en fazla olduğu Aralık ayında toplanabilecek yağmur suyu miktarı ile tüketilen su miktarının %31,3’ü karşılanabilirken, az miktarda suyun toplandığı Ağustos ayında tüketilen miktarın %4,9’u karşılanabilecektir. Toplamda yıl boyu tüketilen su miktarının karşılanma oranı %21,1 olacaktır. Kılıç ve ark., (2023) yapmış oldukları çalışmalarında işletmedeki yapıların fazla olması ve Bursa ilinde kış aylarında yağış ortalamasının yüksek olması nedeniyle yapıların çatısı aracılığıyla önemli miktarda yağmur suyunun toplanabileceğini bildirmişlerdir. Buna göre çalışmada en fazla su $195,4 \text{ m}^3$ ile Aralık ayında toplanırken, en az su $30,4 \text{ m}^3$ ile yaz aylarında toplanmaktadır. Bu durumda hayvanların kış aylarında ihtiyaç duyduğu suyun %100’ü karşılanırken yaz aylarında ise %30’unun karşılanabileceği ve yıllık ise tüketilen suyun yaklaşık %74’ünün yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada da benzer olarak tüketilen su miktarının %21,1’inin yağmur suyu hasadı ile karşılanabileceği belirlenirken araştırmacıların yapmış oldukları çalışmaya bakıldığında ise bölgeye düşen yıllık yağışlar ve çatı alanına bağlı olarak su toplama yüzey alanının artışı ile birlikte tüketilen suyun karşılanma oranının artacağı belirlenmiştir. Çaylı, (2021) tarafından yapılan çalışmada, suyun kıt olduğu bölgelerde ihtiyaç duyulan suyun temini için yapılan yağmur suyu hasadının mevcut su kaynaklarına destek olarak tercih edilmesi gerektiğini bildirmiştir. Hoss ve ark., (2022) hayvansal üretimde sürdürülebilirliğin doğrudan su yönetimiyle alakalı olduğunu, yetersiz su kaynakları ve artan kuraklıkların kırsal kesimde hayvancılık faaliyetlerini olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Bu nedenle akılcı su kullanımının ve alternatif su temin yöntemleri konusunda çalışmaların yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, Brezilya’nın güneyinde yer alan Santa Catarina eyaletinin orta batı bölgesinde, hayvancılık işletmelerinin çatılarından hasad edilen yağmur sularını depolamak amacıyla sarnıçların tesis edilmesinin su kısıtı sorununu azaltabilmek için amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olan ve teşvik edilen alternatif bir su temin yöntemi olduğunu bildirmişlerdir. Eratarlar ve Kaveci, (2021) etlik piliç yetiştiriciliğinde yağmur sularının performans, temel karkas ve et kalite parametreleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada Ross 308 etlik piliçlere hasat edilmiş yağmur suyu ve kuyu suyu verilmiştir. Çalışmada,

performans kriterlerinden yem tüketimi, su tüketimi, canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı ve yem dönüşüm oranı bakımından istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Benzer olarak karkas özellikleri, yenilebilir iç organlar ve et pH'sı bakımından da istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. Çalışma sonucunda, performans ve karkas özellikleri bakımından istatistiki farklılıklar olmaması nedeniyle hasad edilen yağmur sularının kuyu suyuna alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sonuçlarının ekonomiklik ve hayvan sağlığını içine alan detaylı çalışmalar ile değerlendirilmesinin önemli olacağını belirtmişlerdir. Carra ve ark., (2023)'ün bildirdiğine göre Brezilya'da hayvancılık üretimi için su talebi, yem üretmek için kullanılan su dikkate alınmaksızın, son 20 yılda %26,5 oranında artmıştır. Brezilya Su Ajansı, 2040 yılına kadar hayvancılık üretimi için su talebinde %26 oranında bir artış olacağını ve 204 m³/s tüketime ulaşacağını öngörmüştür (ANA, 2021). Aynı ajans, 2017 yılında şiddetli su krizleri nedeniyle 48,36 milyar BRL hayvancılık ve tarım kaybı ekonomik riski tahmininde bulundu ve 2035 yılında potansiyel kayıplar 1,7 kat daha yüksek olacağını tahmin etmiştir (ANA, 2019).

Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalara bakıldığında yağmur suyu hasadının bölgenin yağış durumu, toplama yüzey alanı gibi parametrelere bağlı olduğu, aynı zamanda yağmur sularının kullanımının yetiştiricilik açısından bir sorun oluşturmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca ilerleyen yıllarda artan su tüketiminin hayvancılık ve tarım üzerinde ekonomik kayıplara neden olacağı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada da araştırmacıların önerilerine benzer olarak büyükbaş hayvancılık faaliyetlerinin yoğun fakat aylık yağış miktarının düşük olduğu Kırşehir ilinde büyükbaş hayvanlar için ihtiyaç duyulan suyun tamamı olmasa da aylara bağlı olarak belli oranda su ihtiyacı sağlanabilecektir. Bu miktar bir yandan işletmelere su tasarrufu sağlayarak hayvancılığa ekonomik olarak katkı sağlarken diğer yandan da özellikle yer üstü ve yer altı suları üzerindeki baskının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Yağmur Suyu Hasad Sistemi İle Elde Edilebilecek Tasarruf Oranının İncelenmesi

Yağmur suyu hasadının depolanabilmesi için seçilecek deponun maliyeti ve su miktarları birlikte dikkate alınarak optimum depo hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda toplama alanı olan çatı yüzey alanlarından depoya iletilecek günlük yağış potansiyeli ve yağmur suyunun kullanılacağı alanda

günlük gereksinim duyulan suyun miktarı hesaplanarak karşılaştırılmalıdır (Anonim, 2022). Çalışmada, işletmedeki binaların çatılarından yağmur sularının depolanması için kurulacak deponun kapasitesi 20 ton kapasiteli galvanizli çelik su deposu olarak belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak depo, filtre, boru ve bağlantı parçaları olmak üzere sistemin maliyeti 110.400 TL olarak hesaplanmıştır. Toplanacak su miktarıyla ekonomik olarak tasarruf edilebilecek miktar yaklaşık 8.120,4 TL'dir. Bu durumda yağmur suyu hasad sisteminin geri ödeme süresi 13,6 yıl olacaktır. Kılıç ve ark., (2024) yapmış oldukları çalışmada, yağmur suyunu depolayacak sistem tasarımının ömrünün 25 yıl olduğu ve 12,5 yılda kendini amorti edebildiği, sistem kalan ömründe ise işletmeye kar elde ettireceği belirtilmiştir. Buna göre yapılan çalışmada da benzer olarak sistemin kendini 13,6 yılda amorti edeceği ve kalan 11,4 yılda ise işletmeye kar ettirecektir. Kılıç ve ark. (2023) tarafından Bursa Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Hayvan Sağlığı ve Hayvansal Üretim Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yer alan çiftliklerde yağmur suyu hasadının yapılmasıyla yıllık ortalama 94.962,5 TL tasarruf yapılabileceği ve kurulacak depolama sistemin geri ödeme süresinin yaklaşık 7 yıl olarak hesaplamışlardır. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalara benzer olarak ildeki yağış miktarı, çatı yüzey alanları, hayvan sayısı, içme ve temizlikte kullanılan su miktarı gibi birçok parametre işletmelerde toplanabilecek, depolanacak ve tüketilecek su miktarını etkilediğinden sistemin geri ödeme süresi değişecektir. Yapılan çalışmada belirlenen geri ödeme süresi araştırmacılar tarafından belirlenen değerler ile farklılık göstermiştir. Bunun nedeni araştırmanın farklı iklim bölgelerinde yapılması, toplama alanlarının farklı olması ve hayvan sayıları gibi faktörlerin geri dönüşüm süresini etkilemesidir. Ancak çalışma yağmur suyu hasadı için dikkate alınması gerekli parametreler bakımından uyumluluk göstermiştir.

SONUÇ

Süt sığırı işletmelerinde yağmur suyu hasadının kullanım olanaklarının belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada, işletmelerde hayvanlar için gerek duyulan su tüketim miktarları toplam 111 baş sığır için günlük 6.207 L, yıllık su ihtiyacı ise 2.265.555 L olarak hesaplanmıştır. İşletmede kapalı alanlı binaların çatı alanlarından toplanacak yağmur suyu hasadı ile yağışın en fazla olduğu Aralık ayında toplanan yağmur suyu miktarı ile tüketilen su miktarının

%31,3'ü karşılanabilirken, az miktarda suyun toplandığı Ağustos ayında tüketilen miktarın %4,9'u karşılanabilecektir. Toplamda yıl boyu tüketilen su miktarının karşılanma oranı %21,1' olacaktır. İşletme içerisine kurulacak 20 ton kapasiteli su deposunun sistem maliyeti 110.400 TL olarak hesaplanmıştır. Çatı yüzeylerinden toplanacak su miktarı ile yıllık tasarruf edilebilecek miktar 8.120,4 TL olacaktır. Buna göre sistemin geri ödeme süresi 13,6 yıl olacaktır.

Süt sığırı işletmelerinde yağmur suyu hasadının kullanım olanaklarının belirlendiği çalışma sonucunda, Kırşehir ilinde yağmur suyu hasadı ile hayvanların ihtiyaç duyduğu suyun bir kısmının karşılanabilmesi işletme ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca ilin sahip olduğu yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının yoğun kullanımının azaltılması bakımından da önemli olacaktır. Aynı zamanda Birleşmiş Milletler (BM)'in sürdürülebilir kalkınma amaçları arasında yer alan, "Temiz Su ve Sanitasyon" başlığı altında 2030'a kadar herkesin güvenilir ve erişilebilir içme suyuna evrensel ve eşit biçimde erişiminin güvence altına alınması, bütün sektörlerde su kullanım etkinliğinin büyük ölçüde artırılması, dağları, ormanları, sulak alanları, nehirleri, akiferleri ve gölleri kapsayan su ekosistemlerinin korunması ve eski haline getirilmesi hedeflerine katkı sağlayacaktır. Bu amaçlara katkı sunması amacıyla ülkemizde yağmur suyu hasadı yatırımlarının özendirilmesi ve devlet teşviklerinin artırılması, ülkemizde sürdürülebilir hayvancılık ve BM'nin sürdürülebilir kalkınma amaçlarına katkıda bulunmaya yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Agência Nacional de Águas (ANA), (2019). National Water Security Plan; ANA: Brasília, Brazil, 2019.
- Agência Nacional de Águas (ANA), (2021). Conjuntura Dos Recursos Hídricos No Brasil 2021—Relatório Pleno; ANA: Brasília, Brazil, 2021.
- Anonim, (2022). Yağmur Suyu Hasadı Rehber Dökümanı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim Linki: <https://www.suverimlilik.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/YAGMUR-SUYU-HASADI.pdf>. Erişim Tarihi: 01.11.2024.
- Boyacı, S., & Küçükönder, H. (2021). Assessment of drought process with integrated multi-criteria decision-making methods. *Mugla Journal of Science and Technology*, 7(1), 65-72.
- Boyacı, S., Akyüz, A., Baytorun, A.N., & Çaylı, A. (2016). Kırşehir ilinin örtüaltı tarım potansiyelinin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 142-157.
- Büyüктаş, K., Atılğan, A., & Tezcan, A. (2016). Tarımsal Üretim Yapıları. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın no: 101.
- Carra, S.H.Z., Drastig, K., Palhares, J.C.P., Bortolin, T.A., Koch, H., & Schneider, V.E. (2023). Impact assessment of livestock production on water scarcity in a watershed in Southern Brazil. *Water* 2023, 15, 3955. <https://doi.org/10.3390/w15223955>
- Çaylı, A. (2021). KÜmeslerin su gereksiniminin yağmur suyu hasadından karşılanması üzerine bir araştırma: Kahramanmaraş örneği. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg.*, 24(5), 1048-1058.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE. Erişim Linki: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report13.pdf>, Erişim Tarihi: 01.11.2024.
- EEA (2021). Water and Agriculture: Towards Sustainable Solutions. Publications Office of the European Union, Copenhagen, Denmark, pp 123. Erişim Linki: <https://doi.org/10.2800/73735> Erişim Tarihi: 01.11.2023.

- EPA (2020). The Effect of climate change on water resources and programs. Erişim Linki: https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/climate_change_module.pdf, Erişim Tarihi: 10.10.2023.
- Eratalar, SA., & Kaveci, BC., (2021). The effects of harvested rainwater on the performance and some slaughter parameters of broilers. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(2), 436–443. <https://doi.org/10.30910/turkjans.882051>
- Ertop, H., Kocięcka, J., Atilgan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., & Rolbiecki, R. (2023). The importance of rainwater harvesting and its usage possibilities: Antalya example (Turkey). *Water*, 15(12), 2194.
- Frasier, G.W. (1980). Harvesting water for agricultural, Wildlife, and domestic uses. *J. Soil Water Cons.*, 35, 125-128.
- Helmreich, B., Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248(1), 118-124. doi: 10.1016/j.desal.2008.05.046.
- Hoss, C.G., Tavares, J.M.R., Moreira, A.J.G., Belli Filho, P., & Matthiensen, A. (2022). Assessing the potential for rainwater harvesting use in a concentrated animal feeding operation region in the South of Brazil. *Sustainability*, 14, 12523.
- Hristov, J., Barreiro-Hurle, J., Salputra, G., Blanco, M., & Witzke, P. (2021). Reuse of treated water in European agriculture: Potential to address water scarcity under climate change. *Agricultural Water Management*, 251, 106872.
- Kılıç, U., Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2024). Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi bünyesinde bulunan seralarda yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomik analizi. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 38(2), 313- 324.
- Kılıç, U., Yaylı, B., Kılıç, İ. (2023). Rainwater harvesting and system design in livestock farms. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 9(2), 218-228.
- Liuzzo, L., Notaro, V., Freni, G. (2016). A Reliability analysis of a rainfall harvesting system in Southern Italy. *Water*, 8, 1-20.
- Meehan, M.A., Stokka, G., & Mostrom, M. (2021). Livestock Water Requirements. NDSU Extension, Erişim Linki:

- <https://www.ag.ndsu.edu/publications/livestock/livestock-water-requirements>. Erişim Tarihi: 10.10.2023)
- MGM, (2024). Resmi istatistikler. Erişim Linki: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KIRSEHIR>. Erişim Tarihi: 01.11.2024.
- Olgun, M., 2009. Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1577, Ders Kitabı: 529.
- Özgürel, M., Pamuk Mengü, G., 2009. Tarımsal Meteoroloji. Ege Üniversitesi yayınları, Ziraat Fakültesi Yayın no:567, s10.
- Parker, D.B., Perino, L.J., Auvermann, B.W., & Sweeten, J.M. (2000). Water use and conservation at Texas high plains beef cattle feedyards. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(1), 77-82.
- TÜİK, 2024. Hayvancılık istatistikleri. Erişim Linki: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> Erişim tarihi: 15.12.2024.
- WMO, 2024. State of the Climate 2024 Update for COP29. Erişim Linki: https://library.wmo.int/viewer/69075/download?file=State-Climate-2024-Update-COP29_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Erişim Tarihi: 24.11.2024
- World Economic Forum (2020). The Global Risks Report 2020. Erişim Linki: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. Erişim tarihi: 10.10.2023.
- Yalılı Kılıç, M., & Abuş, M.N. (2018). Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 209-215.

BÖLÜM 7

TOPRAKSIZ TARIM YÖNTEMLERİ VE İNCİR YETİŞTİRCİLİĞİNDE KULLANIM DURUMLARI

Dr. Mehmet Ali KARGICAK¹
Prof. Dr. Engin ERTAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763812>

¹ İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Aydın, Türkiye. mehmetali.kargicaktarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-5112-6872

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Aydın, Türkiye. eertan@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9573-1153

1.GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve tarımsal üretim alanlarının giderek azalması, birim alandan elde edilen verimin artırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Ancak, birim alandaki üretimin artması çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler doğurmaya başlamıştır. Özellikle üretimde yaygın olarak kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, tarımsal verimliliği artırmalarına karşın çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu durum karşısında, artan gıda talebini karşılamak amacıyla, bitkisel üretimi artırmaya yönelik yeni yöntem ve tekniklerin yanı sıra bilimsel temelli alternatif yaklaşımlar geliştirme gerekliliği ortaya çıkmıştır (Karaca & Kaya, 2009).

İşte bu noktada topraksız tarım, kaynakların etkin kullanımı, çevrenin korunması ve toprağa bağımlı olmayan üretim biçimi ile önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Savvas vd., 2013). Topraksız tarım, bitkisel üretimde topraktan kaynaklanan hastalık ve zararlıların ortadan kaldırılması, toprak dezenfeksiyonuna duyulan gereksinimin azaltılması, toprak yapısının uygun olmadığı alanlarda üretim yapılabilmesi, bitki gelişimi ve ürün kalitesinin daha etkin şekilde kontrol edilebilmesi ile su kullanım verimliliğinin artırılması gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Sevgican, 2003).

Topraksız tarımın sahip olduğu çeşitli avantajlar nedeniyle bu üretim yöntemi dünya genelinde giderek daha fazla benimsenmektedir. Günümüzde Hollanda, İngiltere, Japonya, Yeni Zelanda ve Kanada gibi birçok ülkede topraksız tarım sistemleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemin ilk olarak 1930'lu yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde ticari sera üretiminde kullanılmaya başlandığı bildirilmektedir (Resh, 1991). Ancak yaygınlaşması, 1970'li yıllarda yaşanan enerji kriziyle hız kazanmıştır. Bu dönemde, buharla gerçekleştirilen toprak dezenfeksiyonunun yüksek maliyetli hale gelmesi, alternatif yöntem arayışlarını gündeme getirmiş ve bu durum topraksız tarımın ticari seracılıkta yaygın olarak tercih edilmesine zemin hazırlamıştır (Gül, 2008). Nitekim bu üretim sistemine olan ilginin belirgin biçimde arttığı da gözlemlenmektedir (Gül, 2012; Resh, 2013).

2. TOPRAKSIZ TARIM ve TİPLERİ

Topraksız tarım, tarımsal üretimin durgun ya da akan besin eriyiklerinde veya besin çözeltileri ile zenginleştirilmiş katı ortamlarda gerçekleştirilmesidir. Üretimin doğrudan besin eriyiklerinde yapılması “su kültürü” (hidroponik), besin çözeltileri ile sulama koşuluyla perlit, kum, çakıl, kaya yünü, talaş gibi katı materyaller üzerinde gerçekleştirilmesi ise “katı ortam kültürü” olarak tanımlanmaktadır (Gül vd., 1998; Sevgican, 2003). Bir başka ifadeyle, katı ortam kültürü; bitkilerin, besin maddeleri ile zenginleştirilmiş katı ortamlarda yetiştirilmesidir ve bu yöntem birçok ülkede ticari amaçlı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Katı ortam (substrat veya agregat), bitkisel üretimde toprak yerine kullanılabilen, bitkilere fiziksel destek sağlayan ve kök ortamında su ile besin maddelerinin tutunmasını ve dengeli hava-su ilişkisini mümkün kılan maddelerdir. Bu özellikleri sayesinde katı ortamlar, su ve besin maddesi stresine karşı tampon işlevi görerek sistemin kullanım alanlarını genişletmektedir (Sevgican, 2003).

Substrat kültüründe bitkilerin su ve besin ihtiyaçları, genellikle damla sulama sistemiyle verilen besin çözeltileri aracılığıyla karşılanmaktadır. Besin çözeltisinin uygulama sıklığı, kullanılan ortamın fiziksel özelliklerine ve hacmine bağlı olarak değişmekte olup, genellikle günde bir ya da birden fazla kez uygulanmakta ve uygulanan çözeltinin yaklaşık %20’si drenaj yoluyla ortamdan uzaklaştırılmaktadır (Gül, 2008).

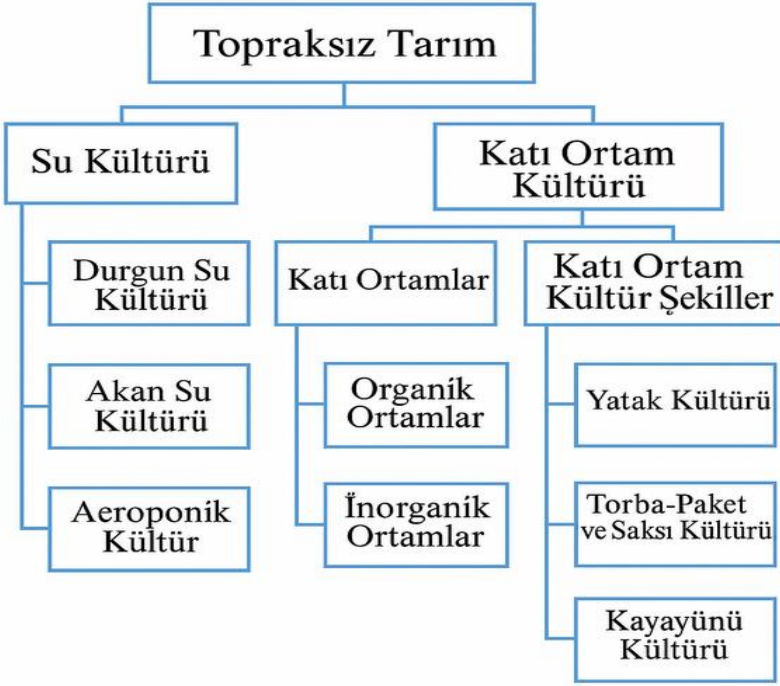
Geleneksel tarımda gübre etkinliği birçok çevresel ve kimyasal faktöre bağlıdır (Akgül, 2010). Bu nedenle, toprakta yapılan üretimde genellikle bitki ihtiyacının %50–80 fazlası kadar gübre uygulaması gerekebilmektedir (Resh, 2013). Buna karşılık, topraksız tarımda tüm besin elementleri bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarda ve optimum koşullarda solüsyon halinde verilmekte; bu sayede hem gübre etkinliği artmakta hem de toplam gübre kullanımı önemli ölçüde azalmaktadır (Savvas vd., 2013).

Ayrıca, topraksız tarım sistemlerinde su kullanımı da önemli ölçüde azalmaktadır. Nitekim, aynı miktarda ürün elde etmek için topraksız tarımda kullanılan su miktarı, geleneksel topraklı üretime kıyasla 1/20 oranına kadar düşebilmektedir. Bu durum, özellikle su kaynaklarının hızla azaldığı günümüzde, mevcut suyun daha verimli kullanımını mümkün kılmakta ve sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli bir avantaj sunmaktadır (Lakkiredy vd., 2012).

Topraksız tarımda üretim sürecine ait tüm parametrelerin kontrol altında tutulabilmesi sayesinde yetiştiricilik koşulları optimize edilmekte ve buna bağlı olarak ürün verimi artmaktadır. Yapılan araştırmalar, sera koşullarında topraklı üretime kıyasla topraksız üretimde verimin %20–25 oranında, açık tarla koşullarına göre ise 4 ila 10 kat daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Resh, 2013).

Topraksız yetiştiricilik geleneksel toprakta yetiştiricilik ile karşılaştırıldığında, birçok avantaj ve dezavantaja sahiptir. Avantajlarından başlıcaları; fakir topraklarda yetiştiriciliğe olanak sağlaması, toprak kaynaklı patojenler ve hastalıklar olmadığı için toprak sterilizasyonuna gereksinimi ortadan kaldırması, hızlı rotasyon olanağı sağlaması, daha etkin su ve gübre kullanımı, daha iyi üniformite ve ürün kalitesi ile birim alandaki verim artışına olanak sağlamasıdır. Başlıca dezavantajları ise; yüksek yatırım ve enerji maliyetleri, çevre problemleri (kullanılmış kaya yünü gibi substratların bertarafı, besin çözeltileri drenajının toprağa bırakılması, plastiklerin büyük miktarlarda kullanımı), besin çözeltileri uygulama zorluğu, profesyonel becerilere sahip teknik eleman gerekliliği ile elektrik ve diğer ekonomik sektörlerle bağımlılık olarak sıralanabilir (Resh, 2012; Di Lorenzo vd., 2013).

Su kültürü (hidroponik sistemler) ve katı ortam kültürü (substrat sistemleri) olmak üzere iki ana gruba ayrılan topraksız tarım sistemlerinde; su kültürü durgun su kültürü, akan su kültürü ve aeroponik kültür; katı ortam kültürü ise kendi içerisinde yatak kültürü, torba/paket ve saksı kültürü ile kayayünü kültürü olmak üzere üç alt grupta sınıflandırılmaktadır (Şekil 1). Katı ortam kültürlerinde; organik, inorganik ve sentetik yetiştirme ortamları kullanılabilmektedir (Şekil 2). Organik kökenli yetiştirme ortamlarına örnek olarak torf, talaş ve ağaç kabuğu gibi materyaller verilebilir. İnorganik yetiştirme ortamları; kum, çakıl, volkan tüfü, zeolit, perlit, vermikülit, işlenmiş kil, kaya yünü gibi inorganik ortamları ve poliüretan köpüğü gibi sentetik yetiştirme ortamlarına örnektir (Leonardi, 2004; Gül, 2008).



Şekil 1. Topraksız tarım tipleri (Sevgican, 2003).

2.1. Su (Solüsyon-Hidroponik) Kültürü

Hidroponik, bazı araştırmacılar tarafından tüm topraksız tarım sistemlerini kapsayan genel bir terim olarak tanımlanırken (Harris, 1970; Jensen & Collins, 1985), bazıları tarafından ise yalnızca bitkilerin doğrudan besin çözeltisi içerisinde yetiştirildiği sistemleri ifade eden daha dar kapsamlı bir tanım olarak kullanılmaktadır. Durgun veya akan su kültürlerinde, bitki kökleri tamamen ya da kısmen besin çözeltisi içerisinde gelişmekte olup, bu sistemler substrat kültürlerine kıyasla daha karmaşık ve detaylı bir teknik donanım gerektirmektedir.

2.1.1. Aeroponik Kültür

Aeroponik kültür, bitkilerin çıplak köklerine sis formundaki besin çözeltisinin belirli aralıklarla (genellikle her 2–3 dakikada bir, birkaç saniye süreyle) püskürtülmesi esasına dayanan ve genellikle otomasyon sistemleri ile donatılmış modern seralarda uygulanan bir topraksız tarım yöntemidir. Bu sistem, 1960–1970 yılları arasında İtalya'da hem deneysel hem de ticari amaçlarla geliştirilmiştir. Aeroponik sistemde; domates, marul, hıyar, patlıcan,

ıspanak, şeker pancarı, biber, fasulye, lahana ve karnabahar gibi sebze türlerinin yanı sıra, karanfil, krizantem ve difenbahya gibi bazı süs bitkileri de başarıyla yetiştirilebilmektedir (Sevgican, 2003).

2.1.2. Akan Su (NFT) Kültürü

Akan su kültürü ya da diğer adıyla besin filmi tekniğinde (NFT: Nutrient Film Technique), bitkilerin su, besin elementi ve oksijen ihtiyaçları, birkaç milimetre derinliğinde ince bir tabaka halinde sürekli ya da aralıklı olarak dolaştırılan besin çözeltisi aracılığıyla karşılanmaktadır. Bu sistemde, bitki köklerinin geliştiği oluklar (kanallar), besin eriyiklerinin iletimi için borular, çözeltinin depolanması ve geri dönüşümü için tanklar gereklidir. Besin çözeltisinin akışı genellikle yüzeysel ve düşük hacimli olup doğrudan kök uçlarına uygulanır. Sistem etkinliğinin sürdürülebilirliği açısından, çözeltinin bileşiminin ve akışının sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmekte olup, bu da otomasyon sistemleriyle sağlanmaktadır (Seymour, 1993).

NFT (Nutrient Film Tecnique) olarak da adlandırılan besin filmi tekniği, 1973 yılında Besin filmi tekniği, İngiltere’de A.J. Cooper tarafından geliştirilmiş olup, ticari yetiştiricilik açısından sahip olduğu avantajlar sayesinde hızlı bir gelişim göstermiştir (Papadopoulos, 1994; Sevgican, 2003).

2.1.3. Durgun Su Kültürü

Bu sistem, bitkilerin belirli bir derinliğe sahip teknelere yerleştirilerek besin eriyiklerini yalnızca kökleri aracılığıyla almasını esas almakta ve besin çözeltisinin belirli aralıklarla yenilenmesine dayanmaktadır (Özkan, 2014).

2.2.Katı Ortam (Substrat-Agregat) Kültürü

Substrat, bir diğer ifadeyle katı ortam kültüründe; torf, talaş ve ağaç kabuğu gibi organik kökenli materyallerin yanı sıra, kum, çakıl, kil, perlit, vermikülit, volkan tüfü, kayayünü ve plastik köpükler gibi inorganik materyaller de yetiştirme ortamı olarak kullanılabilir (Karakır, 1994). Substrat kültüründe besin çözeltisi uygulamaları iki temel sistemle gerçekleştirilir. Açık sistemde, besin çözeltisi kök bölgesine tek yönlü olarak uygulanır ve drenaj sıvısı sistem dışına atılır. Kapalı sistemde ise, kök bölgesinden drene olan çözeltinin toplanarak yeniden kullanılması esas alınır (Jones, 1983; Winsor & Schwarz, 1990; Resh, 1991; Gül, 2008). Özellikle çevre kirliliğini azaltmaya yönelik önlemler kapsamında, Avrupa ülkelerinde

kapalı sistem topraksız yetiştiricilik uygulamaları teşvik edilmektedir (Day, 1991; Van Weel vd., 1992; Gül vd., 1998).

2.2.1. İnorganik Materyeller

İnorganik ortamlar doğal ve yapay materyeller olarak 2' ye ayrılır.

2.2.1.1. Doğal Materyeller

2.2.1.1.1. Kum

Kum, gevşek bir toprağa sahip kuru bir ortam gerektiren bitkiler için bir yetiştirme ortamı olarak faydalıdır. Aşırı su akışı meydana gelir, kilde olduğu gibi toprak nemi korunmaz. Hafif, köklerin yayılması kolaydır ve fazla nemi tutmaz (Hussain vd., 2014).

2.2.1.1.2. Çakıl

İriliği 2–20 mm arasında değişen ve kumdan daha büyük yapılı kayalar olarak tanımlanan bu materyallerin, genellikle küçük, yuvarlak ve homojen büyüklükte olmaları tercih edilmektedir. Kullanım öncesinde kum benzeri şekilde yıkanarak sterilize edilmeleri gerekmektedir (Anonim, 2025a).

2.2.1.1.3. Perlit

Perlit; %2–5 oranında su içeren, doğada gri, beyaz ve siyah renklerde bulunan, volkanik kökenli, camsı ve asidik karakterde bir kayadır. Kırılarak milimetrik boyutlara getirilen perlit, 800–1000 °C arasında ısıtılma tabi tutulduğunda, mısır tanesi gibi genişleyerek hacminin yaklaşık 20 katına kadar büyümektedir (Balay, 1992). Dünya perlit rezervlerinin önemli bir bölümü, özellikle de yarısından fazlası Türkiye'de bulunmaktadır.

Perlitin hafif ve steril yapıda olması, yüksek havalandırma kapasitesine sahip olması, su ve besin maddelerini bitkilerin alabileceği şekilde tutabilmesi, nötr pH düzeyinde olması ve yeniden kullanım öncesi sterilize edilebilme özelliği (Munsuz vd., 1982; Szmidt vd., 1988) onu, topraksız tarımda yetiştirme ortamı olarak tercih edilen önemli materyallerden biri haline getirmiştir (Varış, 1991).

2.2.1.1.4. Vermikülit

Bu bileşik hem potasyum hem de magnezyum içerir. Çok fazla su tutar ve toprağın drenajına ve havalandırmasına yardımcı olur, ancak kum ve perlit gibi diğer bazı ortamlardan daha az dayanıklıdır (Hussain vd., 2014).

2.2.1.1.5. Pomza

Pomza taşı, volkanik kraterlerden çıkan köpük formundaki mağmanın soğuyarak poroziteli (gözenekli) bir yapıda katılaşmasıyla oluşan doğal bir materyaldir. Asidik karakterde olan pomza beyaz veya kirli beyaz renkte, bazik karakterde olanlar ise kahverengi ya da siyah renkte bulunmaktadır. Doğal olarak steril bir yapıya sahip olan pomza, topraksız tarımda substrat materyali olarak değerlendirilebilecek önemli bir mineral kaynağıdır. Dünya pomza rezervlerinin yaklaşık yedide biri Türkiye’de bulunmakta olup, önemli rezerv alanları Orta Anadolu’da Nevşehir ve Kayseri; Akdeniz Bölgesi’nde Isparta; Ege Bölgesi’nde Söke; Doğu Anadolu Bölgesi’nde ise Bitlis, Van, Ağrı ve Kars illerinde yer almaktadır (Yıldız, 2018).

2.2.1.1.6. İşlenmiş kil

Silis kumunun yüksek sıcaklıklarda eritilerek elyaf formuna dönüştürülmesiyle elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Yüksek su tutma kapasitesi ve iyi havalanma özellikleri sayesinde, topraksız tarımda yetiştirme ortamı olarak kullanılmaya uygundur (Anonim, 2025a).

2.2.1.1.7. Zeolit (Klinoptilolit)

Zeolit, hidratlı alüminyum silikat bileşiminden oluşan doğal bir mineraldir. Başlıca özellikleri arasında yüksek kation değişim kapasitesine sahip olması, suyu dengeli şekilde alıp salabilmesi, iyon değişimi gerçekleştirebilmesi, bitkilerin besin maddelerini alıp verebilmesi ile asidite ve hava gözenekliliğini düzenleyebilme yeteneği yer almaktadır. Ayrıca, zeolit yavaş salınımlı bir gübre görevi görerek bitkisel üretimde verimliliği artırmaktadır (Ayan, 2001).

2.2.1.1.8. Volkanif tüf

Özellikle Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak bulunan, volkanik faaliyetler sonucu oluşan ve kolayca dağılılabilen koyu kırmızı, beyaz ve siyah gibi farklı renklerdeki hafif bir yetiştirme ortamıdır. Yüksek su tutma kapasitesine sahip olan bu materyal, tek başına kullanılabilirdiği gibi, diğer yetiştirme ortamlarıyla çeşitli oranlarda karıştırılarak da değerlendirilebilir. Karıştırıldığı ortamların havalanma özelliğini artırması, kullanım alanlarını genişleten önemli bir avantajdır (Pınar, 2015).

2.2.1.1.9. Sepiolit

Magnezyum silikat mineral grubu içerisinde yer alan sepiolit, doğada tabakalı ve masif formda bulunmaktadır. İçerisinde bulunan hava boşlukları sayesinde yüksek nem tutma kapasitesine sahip olup, bitki köklerinin etkin havalanması için uygun bir yetiştirme ortamı sağlamaktadır (Anonim, 2025a).

2.2.1.2. Yapay Mataryeller

2.2.1.2.1. Poliüretan

Düşük özkütleyle sahip olan bu materyalin pH değeri nötr seviyelerde bulunmakta olup, yaklaşık %70 oranında su tutma kapasitesine sahiptir. Mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanmamakta ve besin maddesi içermemektedir. Genellikle taneler halinde yetiştirme ortamına ilave edilerek kullanılmakta; ayrıca blok veya küp formunda çimlendirme ve köklendirme amaçlarıyla da tercih edilmektedir (Anonim, 2025b).

2.2.1.2.2. Polistiren

4–12 mm çap aralığında taneciklere sahip olan polistiren, başlangıçta ağır yapılı toprakların fiziksel özelliklerini iyileştirmek ve drenajını artırmak amacıyla kullanılmıştır. Parçalanmayan, kimyasal olarak nötr bir madde olan polistiren, normal koşullarda fazla sıkışma göstermemektedir. Toplam porozitesi %95'e ulaşabilen bu tanecikler suyu absorbe edemediğinden, substratın su tutma kapasitesini düşürürken havalanmayı önemli ölçüde artırmaktadır. Genellikle torf ile 1:3 oranında karıştırılarak kullanılır. İçerisindeki yüksek hava boşlukları sayesinde bitki köklerinin havalanmasını destekler ancak su tutma kapasitesi düşüktür (Anonim, 2025b).

2.2.1.2.3. Kaya Yünü

Kaya yünü, %60 diabaz ve %20 kireç taşı karışımına %20 kömür tozu eklenerek, 1500–2000 °C arasında ergitilmesiyle elde edilen, %96 gözenekliliğe sahip, poroz bir materyaldir. Gözeneklerinin homojen büyüklükte olması su tutma kapasitesi açısından kritik bir avantaj sağlar. Steril bir ortam olan kaya yünü; %47 SiO₂, %8 Fe₂O₃, % MnO, %14 Al₂O₃, %16 CaO, %12 Na₂O, %10 MgO ve %1 K₂O gibi çeşitli mineraller içermektedir. Yeni kullanıma hazır kaya yününün pH değeri genellikle 7'nin üzerindedir; bu nedenle kullanım öncesi yıkama ve asit uygulamasıyla pH'ın 5.0–5.5 aralığına getirilmesi gerekmektedir (Pınar, 2015).

2.2.1.2.4. Cam Yünü

Yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1250°C) eritilmiş cam ve silis kumundan elde edilen inorganik elyafların birleşiminden oluşan bir yalıtım malzemesidir. Sarı lifli görünümüne sahip olan bu malzemenin su tutma kapasitesi ve havalanma özellikleri yüksektir, bu da topraksız tarımda yetiştirme ortamı olarak kullanımını desteklemektedir (Akıncı & Akıncı, 2013).

2.2.1.2.5. Styrofoam (Polistiren Köpük)

Styrofoam olarak da bilinen plastik köpükler, besin içermeyen ve yetiştirme ortamının kimyasal yapısını etkilemeyen endüstriyel malzemelerdir. Kolay temin edilebilen ve ekonomik olan bu materyalin yüksek oranda hava boşlukları bulunması, köklerin havalanmasını desteklerken, su tutma kapasitesi düşüktür (Özkan, 2014).

2.2.2. Organik Mataryeller

2.2.2.1. Kompost

Çeltik ve yer fıstığı kavuzu ile buğday, arpa, mantar gibi tahılların samanları ve mısır gibi bitkilerin kurutulmuş, işlenmiş ve dezenfekte edilmiş artıklarının kompost yapımında kullanılması mümkündür. Bitki artıklarının kompost haline gelmeden önce fermentasyon sürecinden geçirilerek çürütülmesi gerekmektedir. Bu materyaller hafif yapılı olup, su tutma kapasiteleri bitki türüne göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca yerleşim alanlarından elde edilen organik ve hayvansal atıklar da kompost üretiminde değerlendirilebilir; ancak bu tür materyallerin kullanımı sırasında hijyen ve zararlı kontrolü açısından titizlik gösterilmelidir (Anonim, 2025a).

2.2.2.2. Ağaç Kabuğu

Çam, kayın, meşe gibi ağaç türlerinin kabuklarından elde edilen materyaller organik yetiştirme ortamlarında tercih edilmektedir. Özellikle işlenmiş formda kullanıldığında hastalık ve zararlıların önlenmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Sahip olduğu hava boşlukları sayesinde iyi su tutma kapasitesine sahiptir (Özkan, 2014).

2.2.2.3. Talaş

Nem tutma kapasitesi yüksek olan talaş, kullanım süresine bağlı olarak belirli periyotlarda yenilenmesi gereken bir materyaldir. Farklı ağaç türlerinden elde edilen talaş, ince veya kaba taneli yapıda olabilir (Anonim, 2025a).

2.2.2.4. Torf

Bataklık ortamlarında yetişen bitkilerin artıklarının havasız koşullarda yığınlar halinde birikmesiyle oluşan torf, genellikle turba yataklarında meydana gelmektedir. Torf, su altında ve bataklıklarda hızla gelişen turba bitkilerinin atıklarının, havasız ve havalı koşullarda ayrışarak yığınlar halinde birikmesi sonucu oluşur. Torfun kalitesi, iklim koşulları, bitki türü ve ayrışma derecesi gibi faktörlere bağlıdır; renk koyulaştıkça ayrışma derecesi artmaktadır. Topraksız yetiştiricilik ortamları arasında en yaygın kullanılan materyallerden biri olan torf, farklı boyutlarda paketlenerek ticari olarak da satışa sunulmaktadır. Su tutma kapasitesi oldukça yüksek olup, içerdiği besin maddeleri bakımından da önem taşımaktadır (Özkan, 2014).

2.2.2.5. Kokopit

Hindistan cevizi liflerinden üretilen kokopit, Hindistan cevizi kabuklarının doğrudan kullanımının yanı sıra işlenip sıkıştırılarak farklı boyutlarda bloklar halinde de kullanılmaktadır. Torf benzeri yüksek su tutma kapasitesi sayesinde bitki köklerinin beslenmesi ve havalanmasında önemli katkı sağlamaktadır. İthal ürün olması nedeniyle maliyeti yüksektir (Anonim, 2025a).

3. TOPRAKSIZ TARIMDA İNCİR YETİŞTİRİCİLİĞİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

Topraksız tarım, genellikle seralarda uygulanmakla birlikte, ekonomik koşulların uygun olması halinde açık alanda da bitki yetiştiriciliğinde başarıyla kullanılmaktadır (Gül, 2012). Günümüzde topraksız yetiştiricilik uygulamaları daha çok sebze ve süs bitkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Çok yıllık bitkiler, özellikle meyve ağaçlarının topraksız tarım ortamında yetiştirilmesi ise sınırlı düzeydedir (Correa vd., 2012), son yıllarda Dünyada yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı meyve türleriyle birlikte incirinde topraksız tarım ortamında yetiştiriciliğinin yapılabileceği ve avantajları ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Örneğin; çoğaltma amacıyla köklendirme çalışmalarında,

yetiştiricilik amacıyla saksı denemelerinde, fidan üretiminde ve incir üretiminde farklı topraksız tarım şekilleri kullanılmaktadır.

3.1. Köklendirme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

İlk köklendirme çalışması olarak, Sampaio (1983), *Ficus carica* L. cv. Roxo de Valinhos çeşidine ait 10–15 cm uzunluğunda ve 3–4 yapraklı çelikleri, NAA + NAA_d + IBA içeren bir çözeltiye daldırarak vermikülit dolu plastik torbalara dikmiştir. Her iki uygulamada (hormonlu ve hormonsuz) tüm çeliklerde köklenme gerçekleşmiştir.

Karakır vd. (1994) ise, köklendirme ortamı olarak perlit ve perlit+kumu kullanarak sarılop uç çeliklerinin bahçe koşulları ve sisleme ünitesinde köklenme performansını incelemiştir. Araştırmada, çeliklerin köklenme oranları, kök sayıları, uzunlukları, çapları ile yaş ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, kök özellikleri açısından kum ve perlit karışımının en yüksek verimi sağladığı belirlenmiştir.

Japonya'da 1998 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı çaplardaki incir çelikleri su kültürü sisteminde Hoagland & Arnon (1950) besin çözeltisi kullanılarak kültüre alınmıştır. Solüsyon EC değeri 1,2; 1,8 ve 2,4 dS/m ve bitkiler 10 ve 14 saat ışığa maruz kalacak şekilde yetiştiricilik yapılmıştır. Mayıs ortasında yapılan uygulamalarda EC değeri 1,2 iken 1,8 den daha fazla besin solüsyonu absorbe edildiği ortaya konmuştur. Teragishi vd. (1998a), düşük sıcaklık koşullarında su kültürünün, çeliklerin depolanma süresi, çelik çapı ve besin solüsyonu konsantrasyonunun incir ağaçlarının gelişimi ile meyve tutumu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

1 yıllık Masui-Dauphine çeşidi incir çelikleri 1 Aralıkta Japonya'da su kültürüne dikilip köklenmesi sağlanmış, 5 gün boyunca farklı ışık uygulamaları yapılmış ve ardından 5 Haziran tarihinde serada sirkülasyonun olmadığı kapalı bir sisteme aktarılmıştır. Çalışma sonunda, tüm ışık uygulamalarında hasadın 22 Mayıs ile 10 Haziran tarihleri arasında başladığı belirlenmiştir. Işık uygulamalarının fidanlar üzerindeki sonraki dönem etkileri meyve verimi ve kalitesi açısından incelenmiş; ışık uygulamasının yaprakların klorofil içeriğini artırdığı ve meyvelerdeki suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) değerinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. (Teragishi vd., 1998b).

Er (1999) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, sarılop çeşidine ait odun uç çeliklerinin farklı ortam ve uygulamalarda köklenme oranları ile sürgün gelişimleri iki dönem boyunca (Nisan-Aralık 1997 ve Mart-Aralık 1998) incelenmiştir. İlk yılda ortam olarak arazi koşulları ile farklı boyutlardaki torbalar (40x20 cm ve 30x15 cm) kullanılmış; ikinci yılda ise kum, kum+perlite ve perlite ortamlarında 1500 ppm IBA uygulaması yapılmıştır. 1997 yılı sonuçlarına göre, küçük ve büyük boy torbalardaki köklenme oranları istatistiksel açıdan farklı bulunmamış (%42 ve %40), ancak arazi koşullarındaki köklenme oranı düşük kalmıştır (%27). Sürgün ve kök gelişimi açısından en iyi sonuçlar arazi koşullarında elde edilmiştir. 1998 yılı deneylerinde ise en yüksek köklenme oranı kum+perlite ortamında (%43) gerçekleşmiş, diğer ortamlar arasında istatistiksel fark gözlemlenmemiştir. En uzun sürgün (17,5 cm) ve en yüksek yaş kök ağırlığı (42,3 g) perlite ortamında, hormon uygulanmayan (kontrol) çeliklerde elde edilmiştir. Hormon uygulamasının kontrol grubuna kıyasla belirgin bir etkisi olmadığı raporlanmıştır.

3.2. Fidan Üretimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Katı ortam kültürü şekillerinden biri olan saksı kültüründe içleri perlite ile doldurulmuş 13 L' lik ve 30x30x30 cm boyutlarında saksılar 30x30 cm mesafeler ile yerleştirilmiştir. Yetiştiriciliği yapılan incir fidanlarının, açıkta 25m uzunluk ve 4m genişlikte alanlarda; örtüaltında ise 4 m genişliği, 25 m uzunluğu ve yüksekliği 2m olan yüksel tünel koşullarında, farklı besin çözeltilerinin etkileri araştırılmıştır. Bölünmüş parseller deneme desenine göre, her tekerrürde 15 adet fidan olmak üzere 3 tekerrürlü ve toplam 540 fidan ile damla sulama sistemi kullanılarak bir deneme kurulmuştur. Çalışmada elde edilen fidanlar üzerinde sürgün uzunluğu, sürgün çapı, boğum sayısı, boğum arası uzunluğu, kök uzunluğu, kök sayısı, kök ve gövde yaş ve kuru ağırlıkları gibi morfolojik gelişim özelliklerinin yanı sıra şeker, nişasta ve toplam karbonhidrat düzeyleri gibi biyokimyasal parametreler de ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre, örtüaltı koşullarında yetiştirilen fidanlarda Hewitt (1966) besin çözeltisi, açıkta yetiştirilenlerde ise Hoagland & Arnon (1950) besin çözeltisi kullanıldığında en iyi gelişme özelliklerinin elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca örtüaltında yetiştirilen fidanların toplam karbonhidrat birikimlerinin, açıkta yetiştirilen fidanlara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, topraksız tarım koşullarında katı ortam kültürü

kullanılarak başarılı bir fidan yetiştiriciliğinin yapılabileceğini ortaya koymuştur (Kılınç, 2005).

Topraksız tarım yöntemlerinden olan katı ortam kültüründe, farklı agregatların incir fidanının gelişmesi ve kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada; 120 cm genişliğinde, 35 cm derinliğe sahip yatak kültüründe; katlama ortamından çıkarılan Sarılop incir çeşidine ait çelikler 25*25 sıra arası ve sıra üzeri mesafede dikilmiştir. 2005 ve 2006 yılında olmak üzere 2 üretim döneminde gerekli ölçüm ve incelemeler yapılmıştır. Fidanlar herhangi bir şaşırtma işlemi yapılmaksızın yapraklar dökülünceye kadar; kontrol olarak toprakta olmak üzere; perlit, perlit+zeolit, zeolit, orman toprağı, pomza, pomza+orman toprağından oluşan toplam 7 farklı yetiştirme ortamında büyütülmüşlerdir. Tesadüf blokları deneme desenine göre, 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 adet çelik olmak üzere toplam 210 adet incir çeliğı kullanılmış ve bu çelikler üretim periyodu boyunca Hoagland & Arnon (1950)' ye besin formülasyonu ile beslenmişlerdir. Elde edilen veriler ışığında, en uzun sürgün uzunluğu 82,083 cm ile pomza+orman toprağından elde edilirken, bunu 79,767 cm ile orman toprağı izlemiştir. En kısa sürgün uzunluğuna sahip fidanlar ise kontrol uygulaması olan toprakta yetiştirilen fidanlarda orta çıkmıştır. İncir fidanının gelişimi ve kalitesi üzerine en iyi sonuçların pomza+orman toprağından oluşan ortamdan elde edildiğı belirlenmiştir (Ertan vd., 2007).

Şirin vd. (2010), topraksız tarım koşullarında incir fidanı yetiştiriciliğı için en uygun yetiştirme ortamını belirlemek amacıyla substrat kültürlerinin morfolojik ve biyokimyasal özelliklere olan etkilerini belirledikleri çalışmada kütle yoğunluğu 65 kg m⁻³ ve parçacık çapı 2-5 mm olan perlit, torf+perlit (1:1) ve 0,01-1,0 mm çapında ince talaş ortamlarını, her 10 incir fidanı için 125 L kapasiteli 25x50x100 cm boyutlarında yatak kültüründe denemişlerdir. Araştırmacılar Aydın koşullarında polietilen malzeme ile örtülü yüksek tünel içinde Sarılop çeşidine ait bitkiler tesadüf bloklarına göre 3 tekerrürlü olarak dizayn edilmiş, besin ihtiyaçları (Hoagland & Arnon, 1950)' ye göre hesaplanarak damla sulama ile sistemi ile birlikte verilmiştir. En yüksek veriler ortalama sürgün uzunluğu 82,9 cm; ortalama boğum sayısı 22,9; ortalama boğum arası uzunluk 3,6 ile torf+perlit ortamından; en uzun kök uzunluğu 96,8 cm ile perlit ortamından elde edilmiştir. 8 ay boyunca gözlemlenen bitkiler torf+perlit ve perlit ortamlarında yetiştirilen fidanların en yüksek kalite özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir.

3.3. İncir Üretimi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Golombek ve Lüdders (1993), Faro ve Bardacık incir çeşitlerinde kısa süreli tuzluluk stresinin yapraktaki gaz alışverişine olan etkilerini inceledikleri çalışmalarını; 50 litrelik saksılarda ve her saksıda 8 bitki ve 6 tekerrürlü olmak üzere tesadüf blokları deneme desenine göre oluşturmuşlardır. İklim odalarında, besin solüsyonu ile birlikte, ilk 2 gün $50 \text{ mol m}^{-3} \text{ NaCl}$; 3. ve 7. Gün $100 \text{ mol m}^{-3} \text{ NaCl}$ uygulamış, yapılan gaz ölçümlerinde herhangi bir toksik etkiye rastlanılmamıştır. Klorofil içeriği tuz uygulamaları ile değişmemiştir. Su kullanım etkinliği tuz uygulamasının yapıldığı ilk birkaç gün boyunca artış göstermiştir. Stoma geçirgenliğinin azalması, su koşullarının iyileştirilmesine yardımcı olarak tuzluluğa yanıt vermiştir. Tuz stresi, CO_2 alımını çok az etkilenmiş olup, fotosentetik oran değişmemiştir. Tuz konsantrasyonunun artmasıyla, CO_2 asilimilasyon oranının artması durumu bitkinin tuzluluğa tolerans yeteneği olduğunu ortaya koymuştur.

Golombek vd. (1994), Faro ve Bardacık incir çeşitleriyle topraksız kültürde yaptığı çalışmalarda, besin solüsyonunda bitkiler 10 gün boyunca 100 mM NaCl ile muamele edilmiş ve uygulanan bitkilerin kök endodermisinde yapısal, heterojen dağılımlı tüberler oluştuğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitki köklerindeki endodermal hücrelerinde ortalama 25 nm çapında boru şeklinde tüberler meydana gelirken kontrol bitkilerinin köklerinde sadece kılıflar meydana gelmiştir. Meydana gelen tüberlerin dağılımı, bazen çok sayıda meydana gelmeleri ile uniform olmayan bir hal almıştır. Tüberlerin besin solüsyonundaki Na ve Cl den kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir.

Masui Dauphine incir çeşidine ait çeliklere yapraktan chlormequat uygulaması yapılmış ve çelikler, 30 Mayıs tarihinde EC değeri $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ olan Hoagland besin çözeltisi ile beslenen kayayünü bloklarına yerleştirilerek köklendirilmiştir. Köklenen çelikler, 13 Haziran'da seradaki durgun su kültür sistemine aktarılmıştır. Bu uygulama sonucunda fidanların ilk meyvelerini 11. boğumdan itibaren 11 Ağustos tarihinde verdikleri ve her bitkiden ortalama 16 adet meyve elde edildiği bildirilmiştir. Ayrıca, 9 Ekim, 6 Kasım ve 27 Kasım tarihlerinde bitkilere 1500 ppm dozunda üç kez chlormequat uygulanmış; kontrol grubuna ise yalnızca su verilmiştir. 27 Ekim ile 27 Aralık tarihleri arasında hasat edilen meyveler incelendiğinde, chlormequat uygulanan bitkilerde elde edilen meyvelerin kontrol grubuna göre daha yüksek ağırlığa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Toplam meyve verimi uygulama grubunda 910

g olarak belirlenirken, kontrol grubunda bu değer 710 g olarak tespit edilmiştir. 9 Ekim ve 6 Kasım'daki chlormequat uygulamaları fotosentez oranını geçici olarak etkilemiştir (Teragishi vd., 2000).

Sıcaklığın 15°C' nin üzerinde tutulduğu serada, hidroponik kültürde yetiştirilen *Ficus carica* L. Masui Dauphine çeşidine ait 4 yaşlı ağaçlardan çift ürün elde etmek amacıyla yapılan çalışmada, ilk ürün için 10 Haziranda ağaçlara tepe kesimi yapılmıştır. 7 Haziran ve 30 Eylül tarihleri arasındaki ilk sürgünlerden toplanan meyvelerin verimi, sürgün başına yaklaşık 1,5 kg veya 15 meyve, ortalama meyve ağırlığı 104 g ve Brix değeri 14 olarak belirlenmiştir. 2. ürün için 14 Haziranda bütün sürgünler 30. boğumdan, 26 Temmuzda ise sürgünlerin yarısı 3. boğumdan tekrar budanmıştır. 24 Kasım - 14 Şubat tarihleri arasında toplanan sekonder sürgünlerin verimi, 1,3 kg veya sürgün başına 15,8 meyve olarak tespit edilmiş olup, ortalama meyve 80 g ve Brix değeri 16 olarak bulunmuştur. 12-20 boğumdaki meyvelerin yüzdesi, budanan ağacın sekonder sürgünlerinde diğer boğumlarda olduğundan daha küçük olduğu ve 24 Aralık-14 Şubat tarihleri arasında hasat edilen ağaçların sekonder sürgünlerindeki meyveler, sürgün başına 1,0 kg ya da 12,5 adet meyve; ortalama meyve 72 g ve Brix değeri 16 olarak tespit edilmiştir. Hidroponik ortamda incirde çift ürünün elde edilebilirliğinin araştırdığı çalışmada çifte mahsul vermesi için zorlanabileceği ortaya çıkmıştır (Kawamata vd., 2002).

İtalya'da sera koşullarında gerçekleştirilen topraksız tarım uygulamalarıyla, geleneksel incir yetiştiriciliğinde karşılaşılan düşük karlılığın giderilmesi amacıyla incir yetiştiriciliği üzerine yapılan çalışmada 960 m² polikarbon örtülü yanlardan ve üstten otomatik kontrol edilen havalandırılmalı serada 'Ambitrol' ve 'Agronic C' bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. Tesadüf bloklarına göre dizayn edilmiş, hektara 26.666 ve 34.293 bitki olacak şekilde iki farklı sıklıkta 40 ve 60'ar litrelik perlit torbalarına dikim yapmışlardır. Solar radyasyon stresinden kaçınmak için polikarbon duvarlar kalsiyum hidroksit sprey ile beyaza boyanmıştır. Sulama ve gübreleme damla sulama sistemi ile verilmiş, kalsiyum nitrat, monopotasyum fosfat, potasyum ve magnezyum nitratlar, mikro besin maddeleri karışımı, demir şelat ve nitrik asit gübre olarak verilmiştir. Partenokarpik bir çeşit olan 'Süper Fig 1' kullanılarak yürütülen çalışmada, incir fidanları domates bitkisine benzer şekilde tek gövdeli sistemde yetiştirilmiştir. Bitkilerde apikal meristem, 1,95 m yükseklikte baskılanmış;

yan sürgünlerin uzaklaştırılması yoluyla ana gövdeye minimal müdahalede bulunularak meyve oluşumlarının doğrudan ana gövde üzerinde gerçekleşmesi hedeflenmiştir. Böceklerle karşı farklı renkli yapışkan tuzaklar kullanılmış, akar ve fungusa karşı birkaç pestisit uygulaması yapılmıştır. Geleneksel topraklı tarım koşullarında dekara ortalama 450 kg ürün verilirken, topraksız kültür yöntemiyle gerçekleştirilen incir üretiminde verim yaklaşık 18 kat artırılarak dekardan 8.100 kg ürün elde edilmiştir. Tüm parametreler optimize edildiğinden, gübre ve pestisit miktarının azalması ile bitki yetiştirme maliyetinin düştüğünü bildirmişlerdir. Su tasarrufunu % 90 kadara kadar arttırırken, yüksek olan incir pazar talebi yıl boyunca kaliteli meyve sağlamak için programlı üretimle sağlanabileceğini tespit etmişlerdir (Melgarejo vd.,2007).

Meksika’da 2240 m. rakımda, Netzahualcoyotl isimli siyah dış ve mor iç renge sahip yerel parkenokarp incir çeşidi kullanılarak, hidroponik besin ortamında ve sera koşullarında, 6 entansif üretim sisteminin değerlendirilmesi amacıyla sıra arası 1,6 m sıra üzeri 0,5 m olan 1,25 bitki/m² yoğunlukta ve her bitkide 3 ile 8 sürgü sayısı ile yapılan çalışma; yetiştirme periyodu esnasında radyasyonun nüfusundan ve rakabetten kaçınmak için “V” şeklinde gövde ile yürütülmüştür. Tesadüf parselleri deneme deseni ile 5 tekerrürlü ve 1 saksıda 1 bitki olacak şekilde dizayn edilmiştir. Saksılar 40 lt’lik olup, substrat kültüründeki yetiştirme ortamı % 45 pomza, % 45 cruf ve % 10 solucan gübresinde oluşmuştur. Damla sulama sistemiyle saat 09:00 dan 18:00 e kadar, her saat 3 dakika sulama yapılarak 4 lt/ha sulama yapılmıştır. Bitkiler farklı sürgün sayısı ile üretken gövdede 20 meyve esasına göre ele alınmıştır. Tüm uygulamalarda apikal ve lateral tomurcuklar budanmış ve gelişme sezonu boyunca pH 5,6 ve EC 2,61 dS m⁻¹; Fe 3; Mn 0,5; Cu 0,1; Zn 0,1; B 0,6 mg L⁻¹ olarak uygulanmıştır. Hasat periyodu haziran ayında başlayıp ekim ayında sona ermiştir. Sonuç olarak, en yüksek verim 8 sürgün bırakılan bitkilerden elde edilmiş olup, bu uygulamada hektar başına 109,5 ton verim sağlanmıştır. Bunu sırasıyla 7 sürgün bırakılan bitkilerde 94,8 ton/ha ve 6 sürgün bırakılan bitkilerde 78,6 ton/ha verim ile diğer uygulamalar takip etmiştir. Bu sonuçlara göre sera koşullarında ve hidroponik besin ortamında yapılan çalışmanın bitkinin biyokütlesi ile ilgili olarak ürün miktarı ve hasat indeksi, yaprak alan indeksini arttırmasına olanak tanıdığı için mükemmel bir alternatif üretim olduğu belirtilmiştir. Pestisit ve hastalık kontrolü problemi, meyve çürümesi,

soğuk zararı azalmıştır. Ayrıca, topraksız tarım uygulamalarının açıkta yapılan geleneksel yetiştiriciliğe kıyasla verimi 20 kata kadar artırdığı ifade edilmiştir (Mendoza-Castillo vd., 2016).

İncirin (*Ficus carica* L.) hidroponik ve sera koşullarında beslenmesinin incelendiği bir çalışmada serada ve topraksız kültürde yetiştirilen incirler 1,25 bitki m⁻² sık dikim mesefesi ile dikilmiştir. Analiz edilen organlardan en fazla kuru madde biriken gövde, ardından yapraklar ve son olarak da meyveler olmuştur. Besin çıkarma dinamikleri, tüm besin maddelerinde benzer yukarı doğru davranış sergilemiştir. Makro besin maddeleri N > K > P > Ca > Mg ve mikro besin maddeleri için Cu > Fe > Mn > Zn olarak bulunmuştur (Mendoza-Castillo et al., 2019).

Aydında İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Merkez İşletmesinde yürütülen bir çalışmada; Bursa Siyahı, Beyaz Orak incir çeşitleri ile 3 farklı ilek çeşidine ait 1 yaşlı fidanlar bitkisel materyal olarak kullanılmıştır. Proje 560 m² lik polietilen örtü ile kaplanmış serada 65 lt' lik saksıda ½ torf ve ½ perlit karışımı yetiştirme ortamı olarak kullanılarak, 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 2 bitki olacak şekilde yürütülmüştür. Goble budama şekline göre taç oluşturulan bitkilerde proje süresince fenolojik gözlemler, morfolojik ölçümler, pomolojik analizler yapılmış ve çeşitlerin örtü altında saksıda topraksız ortamda; bitki gelişimi, erkencilik ve verimlilik durumları değerlendirilmiştir. Çalışmada, örtüaltı incir yetiştiriciliğinde meyve olgunlaşmasının açık alana göre Beyaz Orak çeşidinde yıllara bağlı olarak 3-10 gün erkencilik sağladığı belirlenmiştir. Tüm yıllar itibariyle Beyaz Orak ve Bursa Siyahı çeşitleri arasında morfolojik değerler istatistiki açıdan önemli çıkmıştır. Bununla birlikte, örtüaltında yetiştirilen çeşitlerin açık alana göre ağaç başına verim değerlerinde önemli düşüşler olduğu tespit edilmiştir (Kargıcak vd.,2025)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde artan dünya nüfusuna karşılık tarımsal üretim alanlarının giderek azalması, birim alandan daha yüksek verim elde edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu gereklilik, üretimde kimyasal gübre ve pestisit kullanımını artırarak çevre sağlığı ve insan yaşamı üzerinde ciddi tehditler oluşturmuştur. Bu sorunlara çözüm olarak, bitkisel üretimde yeni yöntemlerin, tekniklerin ve bilimsel yaklaşımların geliştirilmesi yönünde önemli adımlar atılmaktadır. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve toprağa bağımlı olmayan

üretim şekli olan topraksız tarım, modern tarım sistemleri içinde önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Topraksız tarım; topraktan kaynaklanan hastalıkların ortadan kaldırılması, toprak dezenfeksiyonuna duyulan ihtiyacın azalması, toprağın uygun olmadığı bölgelerde üretim yapılabilmesi, bitki gelişimi ve ürün kalitesinin kontrol edilebilir olması, ayrıca su kullanım verimliliğinin artması gibi birçok avantaja sahiptir.

Genellikle seralarda uygulanan topraksız tarım sistemi, uygun ekonomik koşullar sağlandığında açık alanlarda da başarıyla uygulanabilmektedir (Gül, 2012). Günümüzde bu yöntem, özellikle sebze ve süs bitkileri üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Son yıllarda hem dünyada hem de ülkemizde yürütülen araştırmalar, farklı meyve türleri ile birlikte incirinde topraksız tarım koşullarında yetiştirilebileceğini ve bu yöntemin çeşitli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Topraksız tarımda incirin köklendirme, fidan üretimi ve meyve verimi açısından başarıyla kullanılabildiği; özellikle yurtdışında partenokarp çeşitler ile yapılan çalışmalarda verimde belirgin artışlar sağlandığı görülmektedir. Ayrıca girdilerin daha etkin kullanımı, erkencilik sağlama ve stres faktörlerine karşı dayanıklılık gibi avantajlar da dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, farklı ortam ve karışımların incir yetiştiriciliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesine, ayrıca erkencilik ve stres toleransı gibi kritik parametrelerin incelenmesine yönelik çalışmaların yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Akgül, H. (2010). Toprak Analizlerinin Değerlendirilmesi Amacıyla Bilgisayar Programı Geliştirilmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. Özel Sayı, ss. 298-305.
- Akıncı, S., Akıncı, İ. E. (2013). Topraksız Tarım. Çiftçi dokümanları. <http://www.agacler.net/forum/evde-topraksiz-tarim-uygulamalari/3751.htm>. Erişim Tarihi: 13.07.2025.
- Anonim. (2025a). Bitki Yetiştirme Ortamları ve Özellikleri. [<https://app.box.com/s/b0dbn97fjf>], Erişim Tarihi: 14.07.2025.
- Anonim. (2025b). Topraksız Tarım.[https://www.dicle.edu.tr/Contents/pages/Files/36a31efa-fea2-446e-37b-5c7e1d5b2db9/546f8419e0a44de3bab702493f7fcbf2_ORG217%20Topraks%C4%B1z%20Tar%C4%B1m%20Teorik%20Dersi.pdf], Erişim Tarihi: 12.07.2025.
- Ayan, S. (2001). Bitki Yetiştirme Ortamı Olarak Zeolitin Kullanılabilirliği. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi*. Sayı:7, s.97-111.
- Balay, N. (1992, Haziran 29-30). *Perlitin Genel Tanımı ve Oluşumu*. Türkiye I. Tarım Perlit Sempozyumu. İzmir, Türkiye.
- Correa, R.M., Pinto, S.I.C., Reis, E.S., Carvalho, V.A.M. (2012). Hydroponic Production Of Fruit Tree Seedlings in Brasil, Hydroponics- A Standard Methodology For Plant Biological Research. ISBN: 978-953-51-0386-8, ss. 225-244.
- Çelikel, G. (1994). *Organik ve İnorganik Bazı Ortamların Serada Topraksız Yetiştiricilikte Kullanılabilirliği ile Domates, Biber, Patlıcanda Bitki Gelişmesi, Verim, Erkencilik ve Kalite Üzerine Etkileri*. [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Day, D. (1991). Growing in Perlite, Grower Digest No: 12, Grower Pub. Ltd., London, 36.
- Di Lorenzo, R., Pisciotto, A., Santamaria, P., & Scariot, V. (2013). From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy*, 8(4), e30.
- Dönmez, İ, Özer, H. (2017). Farklı topraksız yetiştirme ortamlarının domatesin büyüme ve gelişmesine etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*. Cilt:6 Özel Sayı: ss. 23-34.

- Er, A.Y., (1999). *Sarılop İncir Çeliklerinin Farklı Boyuttaki Torba ve Ortam Koşullarında Köklenme ve Gelişme Durumları Üzerine Araştırmalar*. [Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Ertan, B., Ertan, E., Çobanoğlu, F., Şirin, U. (2007). *Katı ortam kültürü ile yapılan incir fidanı yetiştiriciliğinde farklı agregatların fidan kalitesi üzerine etkisi*. [Poster bildirisi]. V. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Erzurum, Türkiye
- Golombek, S. D., & Lüdders, P. (1993). Effects of short-term salinity on leaf gas exchange of the fig (*Ficus carica* L.). *Plant and Soil*, 148(1), 21-27.
- Golombek, S. D., Hecht-Buchholz, C., & Luedders, P. (1994). Ultrastructure of the endodermis of fig root tips in response to salinity. *Angewandte Botanik*, 68, 79-79.
- Gül, A., Tüzel, İ. H., Tuncay, Ö., İrget, M. E., Eltez, R. Z., & Düzyaman, E. (1998). Torba kültürü ile yapılan sera hıyar yetiştiriciliğinde açık ve kapalı sistemlerin bitki gelişimi, verim, su ve gübre kullanımına etkileri üzerine araştırmalar. *Tübitak Togtag*, 1512.
- Gül, A. (2008). *Topraksız tarım*. Hasad Yayıncılık.
- Gül, A. (2012). *Topraksız Tarım*, Hasad Yayıncılık 2. Baskı, ISBN, 978-975.
- Harris, D., 1970. *Hydroponics. The Gardening Without soil*, Purnell and Sons Ltd., Cape Town, ss.169.
- Hewitt, E.J. (1966). *Sand and Water Culture Methods Used in Study of Plant Nutrition*. 2nd Edition England, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England.
- Hoagland, D.R.; Arnon, D. I. 1950. *The Water Culture Method for Growing Plants without Soil*. California Agricultural Experiment Station, Davis, CA, USA. 39 p. (Circular 347).
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. K. (2014). A review on the science of growing crops without soil (soilless culture)-a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833.
- Jensen, M. H., Collins, W. L. (1985). *Hydroponic Vegetable Production*. Horticultural Reviews, 7, ss. 483-558.
- Jones, Jr. J.B. (1983). *A Guide for the Hydroponic&Soilless Culture Grower*. Timber Press, Oregon, ss. 124.

- Karaca H. ve Kaya Z. (2009). *Mikoriza ve Elementer Kükürtün Bitki Tarafından Toprakta Fosfor Alımına Etkisi*. [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Seferoğlu, G., Mısırlı, A., Can, Z., & Şahin, N. (1994). Sarılop İncir Uç Çeliklerinin Köklenmesi Üzerinde Araştırmalar, II: Alt Isıtmanın Etkisi. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(2-3), 85-89.
- Kargıcak, M.A., Ulukan, İ., Ertan., E., Ertan, B., Altın, F., Akdemir, H. A., Birol, D., Özen, M., Arslan, E. (2025). *Örtüaltı İncir Yetiştirme Tekniklerinin Geliştirilmesi*. TAGEM/BBAD/E/19/A1/P5/1273.
- Kawamata, M., Ohara, H., Ohkawa, K., Murata, Y., Takahashi, E., & Matsui, H. (2002). Double cropping of fig under hydroponic culture. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71(1), 68-73.
- Kılınç, S. (2005). *Katı Ortam Kültürü ile Yapılan İncir Yetiştiriciliğinde Farklı Besin Formülasyonlarının Fidan Kalitesine Etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Lakkiredy, K.K.R., Kasturi, K., & KRS, S. R. (2012). Role of hydroponics and aeroponics in soilless culture in commercial food production. *J. Agric. Sci. Technol.*, 1(1), 26-35.
- Leonardi, C. (2004, March). Growing media. In *Regional Training Workshop on Soilless Culture Technologies* (pp. 83-92).
- Melgarejo, P., Martínez, J. J., Hernández, F., Salazar, D. M., & Martínez, R. (2007). Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia horticulturae*, 111(3), 255-259. doi:10.1016/j.scienta.2006.10.032.
- Mendoza-Castillo, V. M., Vargas-Canales, J. M., Calderon-Zavala, G., Mendoza-Castillo, M. D. C., & Santacruz-Varela, A. (2017). Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture*, 53(3), 339-350. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>.
- Mendoza-Castillo, V. M., Pineda-Pineda, J., Vargas-Canales, J. M., & Hernández-Arguello, E. (2019). Nutrition of fig (*Ficus carica* L.) under hydroponics and greenhouse conditions. *Journal of plant nutrition*, 42(11-12), 1350-1365.
- Merdin, S. (2009). *Bitki Gelişimini Artıran Kök Bakterilerinin Baş Salata Yetiştiriciliğine Etkisi*. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Öneri Formu, Proje No: 2009 ZRF 007.

- Munsuz, N., Ataman, Y., & Ünver, İ. (1982). Tarımda yetiştirme ortamları ve perlit. *Ankara, Etibank Yayınları*, (102).
- Özgür, M. (1991). *Kontrollü Koşullar Altında Perlit ve Volkanik Tüf Ortamlarında Hıyar (Cucumis sativus L.) Üretimi Üzerine Bir Araştırma*. [Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Özkan, Ş. (2014). *2012-2013 Yıllarında Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde Gelişmekte Olan "Topraksız" Tarım Ürünlerinin Bugünkü Durumu ve Gelecekle İlgili Tahminler "Domates ve Çilek" Üretimi Üzerine Bir Araştırma*. [Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Papadopoulos, A. P. (1994). *Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media* (pp. 126-pp).
- Pınar, H. (2015). *Topraksız Kültürde Bitki Yetiştiriciliği*. Liflet. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Erdemli-Mersin.
- Resh, H. M. (1991). *Hydroponic Food Production*, Woodbridge Press Publishing Company, California, ss. 462.
- Resh, H. (2013). *Hydroponic Food Production*. CRC Group ed. Boca Raton, USA. ISBN: 978-1-4398-7869-9 (e-book version), ss. 513p.
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC press.
- Sampaio, V.R. (1983). *Rooting of the Fig Softwood Cuttings Under Intermitten Mist*. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, Brazil, 57 (4) ss. 289-292.
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., Gruda, N. (2013). Soilless culture. In *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for Mediterranean climate areas* (pp. 303-354). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-UN).
- Seferoğlu, G., Mısırlı, A., Can, Z., & Şahin, N. (1994). Sarılop İncir Uç Çeliklerinin Köklenmesi Üzerinde Araştırmalar, II: Alt Isıtmanın Etkisi. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(2-3), 85-89.
- Sevgican, A., 2003. *Örtüaltı sebzeciliği (Topraksız tarım)*. Cilt:II. ss. 4.

- Seymour, G. (1993). Review of commercial hydroponic crop production system. *Commercial Hydroponics in Australia: A Guide for Growers*, Pro-Set Pty Ltd, Hobart.
- Szmidt, R. A. K., Hall, D. A., & Hitchon, G. M. (1987, September). Development of perlite culture systems for the production of greenhouse tomatoes. In *Symposium on Horticultural Substrates and their Analysis* 221 (pp. 371-378).
- Şirin, U., Ertan, E., & Ertan, B. (2010). Growth substrates and fig nursery tree production. *Scientia Agricola*, 67, 633-638.
- Teragishi, A., Kanbara, Y., & Ono, H. (1998a). Effects of low temperature storage, diameter of cuttings, and nutrient solution concentration on subsequent growth and fruit set of fig trees grown in hydroponics. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 67(3), 386-390.
- Teragishi, A., Kanbara, Y., & Ono, H. (1998). Comparison between phytotron- and glasshouse-propagated fig (*Ficus carica* L.) trees grown under similar solution culture on subsequent fruiting, plant growth, and fruits quality. *Journal of the Japanese Society for Horticultural science*, 67(5), 715-720.
- Teragishi, A., Kanbara, Y., & Ono, H. (2000). Effects of foliar application of Choline Chloride on the quality of winter-cropped fig cv. Masui-Dauphine grown in hydroponics. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 69(4), 390-395.
- Varış, S. (1991). Sera sebzelerinin perlit doldurulmuş torbalarda topraksız yetiştirilmeleri. *TÜ Ziraat Fakültesi Tekirdağ Yayınları*, 128(10), 15.
- Van Weel, P. A., De Dood, J., & Woittiez, R. D. (1990). Cut-rose production in closed systems with emphasis on environmental aspects. *Protected Cultivation*, XXIII IHC 303, 15-22.
- Winsor, G. W., Schwarz, M. (1990). *Soilless Culture for Horticulture Crop Production*. FAO Plant Production and Protection Paper No.101, Rome, ss. 188.
- Yıldız, H; Tekintaş, F. E. (1999). *Bursa Siyahı ve Sarılop incir çeşidinde fidan randımanının artırılması üzerine araştırmalar*. [Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi].

Yıldz, D. (2018). Kıbrıs Amerikan Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Serası Raporu.

BÖLÜM 8

BOZTEPE (KIRŞEHİR) İLÇESİNDEKİ SÜNE YOĞUNLUĞU VE ZARARI

Ülkü YILDIZ KIZIL ¹

Prof. Dr. Fahriye ERCAN ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16763851>

¹ Kırşehir Ahievran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Kırşehir, Turkey. ulku.yildizkizil@tarimorman.gov.tr, orcid.org/0009-0002-8172-7051

² Kırşehir Ahievran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Kırşehir, Turkey. fahriyesumer@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0111-8460

GİRİŞ

Tarım ürünleri içerisinde bulunan hububatlar insanların tükettiği besin maddelerinin temeli olarak nitelendirilmektedir. Dünyada ve ülkemizde hububatın önemi çok büyüktür. Hububatların içerisinde buğday, protein ve aminoasit zenginliği, adaptasyonunun kolay olması gibi birçok nedenden dolayı en çok tercih edilen ürün olmuştur (Altan, 1986). Ayrıca un ve türevlerinden elde edilen ürünler gibi çeşitli hazır besin maddelerinin üretiminde de hammadde olarak kullanılabilme yeteneği tercih edilmesinin en önemli unsurlarından bir tanesidir.

COVID-19 pandemisinden sonra, buğday ve buğday ürünlerine olan talep artmıştır. Bunun nedeni, bu ürünlerin uzun süre muhafaza edilebilmesidir. Sonuç olarak, dünya genelinde buğday üretimi ve tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenle, buğday zamanla daha önemli bir ürün haline gelmiştir.

Türkiye’de buğday üretimi özellikle kurak arazilerde yoğunluk kazanmaktadır. Bu nedenle en fazla ekiliş ve üretim alanı İç Anadolu Bölgesi’nde yer almaktadır. Bunu Marmara Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi izlemektedir. Üretimde en az pay Ege ve Doğu Anadolu Bölgelerine aittir (Anonim, 2019).

İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan Kırşehir Boztepe ilçesi ve benzeri iklim koşullarına sahip diğer bölgelerde buğday üretimi önemli bir geçim kaynağı teşkil etmektedir.

Ülkemizde buğday tarımında karşılaşılan zararlılar, hastalıklar ve yabancı otlar tek başına veya birlikte hareket ederek önemli düzeyde mahsul kayıplarına yol açmaktadır. Günlük beslenmemizde temel besin kaynaklarından biri olarak yer alan ve aynı zamanda ekonomik olarak da ciddi bir öneme sahip olan buğdayın üretimini kısıtlayan en önemli faktörlerden birisi de böceklerdir. Bu böceklerden buğday üretimini önemli ölçüde olumsuz etkileyen ana zararlılardan biri ise Süne (*Eurygaster* spp.) olarak öne çıkmaktadır (Lodos 1986). Süne buğdayın tane bağladığı dönemde, süt olum devresindeki buğday tanelerine, sarı olum devresindeki ve olgunlaşmış tanelere göre daha fazla zarar verir. Taneleri süt olum devresinde emdiğinde tane içeriğinin büyük bir kısmı absorbe ederek tanenin içinin büyük oranda boşalmasına neden olur, taneyi hafifletir ve taneye buruşuk bir görünüm kazandırır. Bu tip zarar sonucu buğdayın hektolitreye ağırlığı ve protein oranı gibi değerleri düşerek ekonomik zarara neden olmaktadır. Süne, salgılama yeteneğine sahip olduğu sindirim

salgısıyla tamamen olgunlaşmış ve sertleşmiş taneleri yumuşatarak daha kolay emilebilir duruma getirme yeteneğine sahip bir zararlıdır. Olgunlaşmanın ileri dönemlerinde oluşan süne emgi zararı göz ile kontrol edilerek tespit edilebilmektedir. Buğday tanesi üzerinde bir ya da daha fazla siyah küçük noktalar ile bu noktaların çevresinde genellikle çöküntüyle beraber bulunan rengi açık olan bölge süne zararının olduğunu gösterir. Bu bölgeye bastırıldığında tanede kolaylıkla çöküntü oluşur. Zarar oranı daha fazla seviyelerde ise taneler tamamıyla buruşuk bir görünüm kazanır (Yüksel 1968).

Süne'nin zarar derecesi ve şekli; zararlının biyolojik dönemlerine (nimf ve ergin) ve yoğunluğuna, hububatın çeşidine ve fenolojik dönemine, iklim koşullarına (özellikle sıcaklık ve yağışa) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buğdaydaki en önemli zararlarından bir tanesi tanedeki emgi zararıdır. Süne erginleri sokucu-emici ağız yapısına sahip olup vücutlarında taşıdıkları hortum aracılığıyla taneleri sokup emerek zarara neden olmaktadır. Bu zarar ekonomik açıdan buğdayın kalitesini düşürüp beslenme ve protein değerlerini de aşağıya çekmektedir (Lodos 1982)

Süne buğdayın tane bağladığı dönemde, süt olum devresindeki buğday tanelerine, sarı olum devresindeki ve olgunlaşmış tanelere göre daha fazla zarar verir. Taneleri süt olum devresinde emdiğinde tane içeriğinin büyük bir kısmı absorbe ederek tanenin içinin büyük oranda boşalmasına neden olur, taneyi hafifletir ve taneye buruşuk bir görünüm kazandırır. Bu tip zarar sonucu buğdayın hektolitreye ağırlığı ve protein oranı gibi değerleri düşürerek ekonomik zarara neden olmaktadır. Süne salgılama yeteneğine sahip olduğu sindirim salgısıyla tamamen olgunlaşmış ve sertleşmiş taneleri yumuşatarak daha kolay emilebilir duruma getirme yeteneğine sahip bir zararlıdır. Olgunlaşmanın ileri dönemlerinde oluşan süne emgi zararı göz ile kontrol edilerek tespit edilebilmektedir. Buğday tanesi üzerinde bir ya da daha fazla siyah küçük noktalar ile bu noktaların çevresinde genellikle çöküntüyle beraber bulunan rengi açık olan bölge süne zararının olduğunu gösterir. Bu bölgeye bastırıldığında tanede kolaylıkla çöküntü oluşur. Zarar oranı daha fazla seviyelerde ise taneler tamamıyla buruşuk bir görünüm kazanır. Erginler ve nimfler, özellikle sütte olum devresinden itibaren salyalardaki proteolitik ve amilolitik enzimler aracılığıyla tanelerin endosperm yapısını bozarak hem fiziksel hem kimyasal zararlar oluşturur (Mehrabadi ve ark., 2014).

Süne; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1950’li yıllardan beri periyodik olarak zarar yapmıştır. Trakya ve İç Anadolu Bölgesinde ise son yıllarda salgınlar yaparak özellikle buğdayın en önemli zararlısı durumuna gelmiştir. Süne zararı, yalnızca verim değil, kalite üzerinde de yıkıcı etkilere sahiptir. Özellikle süt olum devresinde taneleri emerek beslenen nimf ve erginler, buğday tanelerinin içeriğindeki proteinleri ve karbonhidratları parçalayarak, protein oranında azalma, hektolitre ağırlığında düşüş ve fiziksel yapı deformasyonlarına neden olmaktadır (Gözüaçık ve Yiğit, 2013). Süneye karşı gerekli önlemler alınmadığı takdirde başta buğday olmak üzere diğer hububatlarda da % 100’e kadar zarar oluşturabilme ihtimaline sahiptir. Sünenin zararı sonucunda ürün kalitesi, un verimi, çimlenme gücü ve pazar değeri düşmekte; bu durum hem gıda güvencesi açısından halk sağlığını hem de tarıma dayalı sanayinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Sivri ve ark., 1999).

Boztepe İlçesindeki Süne Yoğunluğu

Bu çalışmada Kırşehir’in Boztepe ilçesinde 2024 yılı üretim döneminde buğday tarlalarında bulunan süne yoğunluğu ve bu yoğunluğun hasat sonrası dönemde ekmeklik buğday tanelerindeki zarar oranları ve buna ek olarak buğdayda önemli bir kriter olan protein ve hektolitrenin üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma 2024 yılı üretim döneminde hasat öncesi Boztepe ilçesi merkezine bağlı 3 mahalle ve 14 köyde bulunan süne ile bulaşık buğday tarlalarında survey yapılarak hasat sonrası ise hasat edilen buğdaylardan alınan numuneleri kapsayacak şekilde yapılmıştır. Hasat sonrası yapılan tüm analizler Kırşehir Toprak Mahsulleri Ofisi alım merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Kışlamış Ergin, Yumurta ve Nimf Surveyi

Kışlamış ergin surveyinde tarlalardan 20 m içeri girerek her 75m’de (adım hesabıyla) bir durularak $\frac{1}{4} m^2$ ’lik çerçevelerle sayım yapılmıştır. Her köy ve mahalle ünitelere ayrılmış olup her ünite için 20 çember atılarak m2’deki ergin sayısı bulunmuştur. Çerçeveler tarla içerisinde bir bölgeye tesadüfi olarak koyularak bu çerçevenin içinde kalacak bölgede bulunan bitkilerin kenarlardan ortalara doğru olacak şekilde sapları, sap araları, yaprak ve sapların toprağa doğru olan kısımları dikkate alınarak kışlamış erginlerin sayısına bakılmıştır. Çerçeve içinde kışlamış ergin bulunduğu not alınarak kaydedilmiştir. Yumurta surveyinde tarlanın içerisine girildikten sonra her 75m²’de bir (adım

hesabıyla) durularak çerçeve atılıp ve bu çerçevenin içerisinde bulunan buğdaylar ve yabancı otların tüm aksamaları (sapları, yaprak altları) dikkatlice incelenerek bulunan yumurta sayıları not edilmiştir. Her köy ve mahalle ünitelere ayrılmış olup her ünite için 20 çember atılarak m²'deki yumurta sayısı bulunmuştur. Nimf sürveyinde tarlanın içerisine girildikten sonra her 75 m²'de bir (adım hesabıyla) durularak çerçeve atılacak ve bu çerçevenin içerisinde bulunan bitkilerin tüm aksamaları incelenip çerçeve içerisindeki bitkiler kenarlardan merkeze doğru olmak suretiyle çırpılarak toprak yüzeyine düşen her şey incelenmiştir ve içerisinde nimf var ise nimf sayısı not edilmiştir. Her köy ve mahalle ünitelere ayrılmış olup her ünite için 20 çember atılarak m²'deki nimf sayısı bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Tablo 1-3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kışlamış ergin sürveyinde tespit edilen ergin miktarları

Köyler	Toplam Ekili Saha (Da)	Sürvey Yapılan Toplam Saha (Da)	M²'de Ergin (Ortalama)
ÇİĞDELİ	2.199	1000	0,1
ÇAMALAK	2197	1500	0,15
ÜÇKUYU	1693	700	0,1
ÇEVİRME	3390	1500	0,1
HATUNOĞLU	2724	1500	0,1
HÜSEYİNLİ	405	300	0,1
UZUNPINAR	1123	700	0,2
BÜYÜKKIŞLA	1730	800	0,1
HARMANALTI	2876	1500	0,1
KÜLHÜYÜK	1343	1000	0,1
MERKEZ-ORTA MH	393	300	0,2
MERKEZ BAĞBAŞI MH	1337	1000	0,2
MERKEZ-YENİ MH	3161	1500	0,1
ÇİMELİ	450	400	0,2
KARACAÖREN	1842	1200	0,3
ESKİDOĞANLI	1256	1100	0,15
YENİDOĞANLI	376	350	0,2
TOPLAM	28.495	16.350	2,5

Tablo 2. Nimf sürveyinde tespit edilen nimf miktarları

Köyler	Toplam Ekili Saha (Da)	Sürvey Yapılan Toplam Saha (Da)	M²'deki Nimf Sayısı
ÇİĞDELİ	2.199	1000	3
ÇAMALAK	2197	1500	3
ÜÇKUYU	1693	700	3
ÇEVİRME	3390	1500	3
HATUNOĞLU	2724	1500	3
HÜSEYİNLİ	405	300	3
UZUNPINAR	1123	700	2
BÜYÜKKIŞLA	1730	800	3
HARMANALTI	2876	1500	4
KÜLHÜYÜK	1343	1000	2
MERKEZ-ORTA MH	393	300	5
MERKEZ BAĞBAŞI MH	1337	1000	4
MERKEZ-YENİ MH	3161	1500	5
ÇİMELİ	450	400	4
KARACAÖREN	1842	1200	5
ESKİDOĞANLI	1256	1100	4
YENİDOĞANLI	376	350	3
TOPLAM	28.495	16.350	59

Tablo 3. Yumurta sürveyinde tespit edilen yumurta miktarları

Köyler	Toplam Ekili Saha (Da)	Sürvey Yapılan Toplam Saha (Da)	M²'de Bulunan Yumurta Paketi Sayısı
ÇİĞDELİ	2.199	1000	2
ÇAMALAK	2197	1500	1
ÜÇKUYU	1693	700	1
ÇEVİRME	3390	1500	1
HATUNOĞLU	2724	1500	1
HÜSEYİNLİ	405	300	2
UZUNPINAR	1123	700	1
BÜYÜKKIŞLA	1730	800	1
HARMANALTI	2876	1500	1
KÜLHÜYÜK	1343	1000	1
MERKEZ-ORTA MH	393	300	2
MERKEZ BAĞBAŞI MH	1337	1000	2
MERKEZ-YENİ MH	3161	1500	2
ÇİMELİ	450	400	1
KARACAÖREN	1842	1200	2
ESKİDOĞANLI	1256	1100	1
YENİDOĞANLI	376	350	1
TOPLAM	28.495	16.350	24

Gerçekleştirilen sürveyler neticesinde sünenin fenolojik dönemlerinin yoğunluk ortalamalarının genel olarak ekonomik zarar eşiğinin altında olduğu tespit edilmiştir.

Buğdayda Süne Tahribatına Uğramış Tanelerin Belirlenmesi

Örnek alımı TS EN ISO 24333 Tahıl ve Tahıl Ürünlerinde Numune Alma Standart'ına uyularak yapılmıştır. Toprak Mahsulleri Ofisi'ne gelen buğday yüklü kamyon, tır ve traktörlerden boyutlarına göre elle veya makine ile numune alma sondasıyla, eşit bir şekilde ve 3 kg'dan daha az olmayacak biçimde, kamyon, tır, traktör vb' nin ton kapasitesine göre değişiklik gösterebilen sayıda ve en az beş farklı noktadan olacak şekilde tesadüfi olarak

numune alımı yapılmıştır (Anonim, 2012). Her bir köy ve mahalleden 3'er adet numune alınarak 3'er analiz gerçekleştirilmiştir. Numune alındıktan sonra ise numune bölücü yardımıyla eşit bir biçimde ayrılarak bir kg'dan az olmayacak biçimde elde edilmiştir. (Anonim, 2018).

Numune ayırıcı ile ayrılarak 1 kg'a kadar indirilen örnek, yukarıda 3.55 mm ve aşağıda 1.00 mm olmak üzere, uzun delikli dogaj elekleri ile 30 saniye kadar elek yönüne düz olacak şekilde eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Eleme işleminin bitiminde yukarı kısımda kalan (taş, yabancı tohum vb. iri yabancı maddeler) ve aşağı kısımda kalan (toz, toprak, saman vb.) yabancı maddelerden arındırılmıştır (Anonim, 2018).

Protein ve hektolitre analizi için alınan numune masa üzeri numune ayırıcı aracılığı ile eşit bir biçimde, süne tahribatının tespit edilmesi için ihtiyaç olan 50 gr'a indirilmiştir. 50 gr'a indirilen örnek doğru ve üzeri pis olmayan bir tabanın üstüne dağıtılarak içindeki süne zararına uğramış taneler pens aracılığı ile ayrılmıştır. (Anonim, 2018).

Süt olum evresinde zarar gören buğday tanelerinin ufak ve büzüşmüş olmasından dolayı tespit etmek ve ayırt etmek daha basit bir şekilde gerçekleşmektedir. Sertleşme evresinde ise zarar görmüş tanelerin dış görünüşü düzgün gözüktüğü için bu taneleri zarar görmemiş tanelerden ayırt etmek daha karmaşıktır. Bu şekilde zarar görmüş olan tanelerde, tane üstündeki emgi yapılmış olan yer nokta kadar siyah ve kahverengi renginde olmakla beraber etrafı beyazımsı renktir. (Lodos, 1982). Ek olarak bitkiyi ihtiyacı olandan daha çok sulamak ve fazla yağmur yağması gibi sebeplerden dolayı meydana gelen dönmeli taneleri emgili tanelerle birbirinden ayırt etmek gerekmektedir. (Elgün, 1987).

Yapılan analizler neticesinde protein değerleri, hektolitre ağırlığı ve ayırt edilen süne tarafından emgiye uğramış daneler de hassas terazi yardımıyla tartılarak, % gram olacak şekilde Tablo 4' de gösterilmiştir.

Tablo 4. Numune analiz sonuçları

KÖYLER	1.ANALİZ			2.ANALİZ			3.ANALİZ		
	Protein	Hekto litre	Süne Zarar Oranı	Protein	Hekto litre	Süne Zarar Oranı	Protein	Hekto litre	Süne Zarar Oranı
ÇİĞDELİ	14,8	78,6	0,2	14,5	79,5	0,3	14,0	80,0	0,4
ÇAMALAK	13,9	79,6	0,5	13,6	79,8	0,5	13,5	79,7	0,5
ÜÇKUYU	12,4	80,8	0,5	12,5	82,0	0,5	13,2	82,5	0,5
ÇEVİRME	14,2	82	0,4	14,0	80,0	0,5	14,2	81,0	0,5
HATUNOĞLU	14,6	78,9	1,0	14,1	79,5	1,0	14,3	81,2	1,5
HÜSEYİNLİ	14,6	80,1	0,6	14,5	81,2	0,7	14,6	81,5	0,7
UZUNPINAR	16,2	74,3	0,6	16,0	75,5	0,6	16,1	75,6	0,6
BÜYÜKKIŞLA	13,8	81,8	0,2	13,5	82,2	0,3	13,7	83,0	0,3
HARMANALTI	11,9	78,4	0,3	11,7	78,5	0,4	12,0	78,7	0,3
KÜLHÜYÜK	16,1	76,9	1,6	16,4	76,5	1,5	16,5	77,0	1,6
MERKEZ-ORTA MH	13,9	81,7	1,2	14,2	82,1	1,3	14,7	83,0	1,4
MERKEZ BAĞBAŞI MH	17,8	80,8	0,8	17,5	80,4	1,0	17,6	80,5	1,2
MERKEZ-YENİ MH	14,7	78,4	1,0	15,0	79,2	1,0	15,4	80,1	1,2
ÇİMELİ	15,2	76,5	1,2	15,5	76,9	1,2	15,6	77,2	1,3
KARACAÖREN	17,7	80,8	1,3	18,0	81,2	1,4	18,5	82,2	1,5
ESKİDOĞANLI	16,2	77,9	1,4	16,5	78,2	1,2	16,2	79,1	1,3
YENİDOĞANLI	11,7	74,5	1,6	11,8	75,1	1,5	12,2	75,6	1,6

Hasat sonrası yapılan fiziksel analizler sonucunda süne zarar oranı, protein değeri ve hektolitre ağırlığı ortalamaları 2024 TMO alım baremi örnek alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre ise süne emgi oranlarının genel olarak buğdayın kalitesini çok fazla düşürecek düzeyde olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte ekmeklik buğday kalitesini etkileyen bir diğer önemli faktör olan hektolitre ağırlığı ve protein değerlerinin de genel olarak ortalamanın üzerinde olduğu ve buğday kalitesini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir.

Araştırmada, süne tahribat oranının ekonomik zarar eşliğinin (%3.50) altında olduğu tespit edilmiştir. İncelenen bölgede zarar oranının tolerans seviyesinin altında olduğu saptanmış olmakla birlikte, süne geçmişten bu yana özellikle Güneydoğu ve Doğu Anadolu dahil Türkiye genelindeki buğday tarlalarında önemli verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Önceden yapılan çalışmaların sonrasında elde edilen verilerin kullanılması ve

geliştirilmesiyle, ülkemizde süne ile mücadele yöntemlerinde kayda değer iyileşmeler yaşanmıştır. Çevresel dengeyi koruyarak doğal düşmanların artmasını sağlamaya yönelik uygulamaların yapıldığı yerlerde, sünenin neden olduğu tüm kayıpları azaltmak hedeflenmiştir.

Sünenin doğada fazla miktarda doğal düşmanı vardır. Bunlardan en önemlisi ise yumurta parazitoitleridir (Memişoğlu ve Özer, 1994), süne miktarını baskılayan en önemli faktörün yumurta parazitoitleri olduğunu, süne yumurtalarının yumurta parazitoitlerince %67-90 miktarında parazitlendiğini belirtmişlerdir. Sünenin diğer önemli doğal düşmanlarından biri de entomopatojen funguslardır (Parker ve ark, 2003; Abdulhai ve ark, 2010).

Entomopatojen funguslar özellikle sünenin kışladığı yerlerde sünenin kışlayan erginlerinin büyük miktarda ölmesine sebep olabilmektedir (Kocatürk ve ark, 1994; Parker ve ark, 2003; Muştı ve ark., 2011, 2014).

Çalışma yapılan bütün mahalle ve köylerde üretim kalitesini en önemli etkenin süne zararı, protein değeri ve hektolitre ağırlığı olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak dayanıklı çeşit kullanımı, iklim şartları, toprak yapısı ve yetiştirme teknikleri, hasadın geciktirilmesi de kaliteye etki eder.

Sonuç olarak verimin artması, artan kalite değerleri, biyolojik mücadeleyle yumurta parazitoiti salınması, devlet alım politikaları ve çiftçilerin eğitilmesiyle sünenin son zamanlarda fazla miktarda azaldığı tespit edilmiştir.

Boztepe ilçesinde nitelikli buğday üretimini gerçekleştirmek amacıyla yapılan başlıca işlemlerden bir tanesi süne mücadelesidir. Kırşehir genelinde İl Tarım ve Orman Müdürlüğü kontrolünde yapılan süne mücadelesinde kültürel, biyolojik ve kimyasal mücadele teknikleri uygulanmaktadır. Süne mücadelesinin ülkemiz başta olmak üzere Kırşehir Boztepe için de mühim olduğunu ve ihmal edilmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Çiftçiler ise süne mücadelesinde daha dikkatli davranmalıdır. Sadece süne emgi oranındaki birkaç derecelik azalış Türkiye ekonomisine direk ve dolaylı yollarla olumlu katkılar sağlamaktadır. Bu durumda ülke ekonomisine katkıda bulunulurken orantılı olarak çiftçiler de ekonomik açıdan kazanımlar elde etmektedir. Bu bakımdan ürün kalitesinin fazla olması elde edilen gelirin de çoğalması demektir.

Süneyle mücadele Kırşehir Boztepe için önemli bir durumdayken diğer buğday üretimi yapılan bölgelerde de önemlidir. Süne zararı miktarında geçmişten bu yana azalış gözlenmektedir. Bu durum uygulanan mücadele yöntemlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bütün

bunların yanı sıra kullanılan çeşidin dayanıklı olması, iklim etkisi, hasadın geç yapılması nedenler de kaliteyi etkileyen önemli faktörlerdendir. Ayrıca yukarıda belirtilen hususlara önem verilerek çiftçiler de bilgilendirilmelidir.

Süne buğdayda ciddi derecede kalite ve kantite azalmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden ilk olarak süneyle en uygun zamanda ve toplu şekilde mücadele edilmelidir. Zamanında ve toplu mücadelenin önemi her yerde belirtilmelidir. Çiftçilere kimyasal, biyolojik ve entegre mücadele teknikleri hususunda eğitimler verilmeli ve bilgi düzeyleri arttırılmalıdır. Hasadın geç yapılması sünenin verdiği tahribatı çoğaltmaktadır bu bağlamda yapılacak çalışmalarda hasat yapılabilecek en erken zamanda yapılarak zararlının verdiği tahribat en aza indirgenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu kitap bölümünde yer alan veriler Ülkü YILDIZ KIZIL'ın yüksek lisans tezinden elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Altan, A., 1986. Tahıl İşleme Teknolojisi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana, 107s.
- Anonim, 2019, Hububat Sektör Raporu, Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2012, Tahıl ve Tahıl Ürünlerinde Numune Alma Standardı TS EN ISO 24333, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2018, Ekmeklik Buğday Alım Baremi, Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Elgün, A., 1987, Tahıl İşleme Teknolojisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 297, Erzurum.
- Gözüaçık, C., Yiğit, A., 2013. Süne (*Eurygaster integriceps* Put.) zararının bazı buğday çeşitlerinde kalite özelliklerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 44(2), 161–168.
- Lodos, N., 1982, Türkiye Entomolojisi Genel Uygulamalı ve Faunistik, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Lodos, N., 1986, Türkiye Entomolojisi (Genel, Uygulamalı ve Faunistik). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Mehrabadi, M., Bandani, A.R., Dastranj, M., 2014, Salivary digestive enzymes of the wheat bug, *Eurygaster integriceps* (Insecta: Hemiptera: Scutelleridae). Comptes Rendus Biologies, 337(6): 373-82.
- Memişoğlu, H. ve Özer, M., 1994, Ankara ilinde Avrupa sünesi (*Eurygaster maura* L., (Hemiptera: Scutelleridae)'nin doğal düşmanları ve etkinlikleri. Türkiye II. Biyolojik Mücadele Kongresi, İzmir.
- Muştu, M., Demirci, F. ve Koçak, E., 2011, Mortality effects of *Isaria farinosa* (Holm.) and *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Sordariomycetes: Hypocreales) on *Aelia rostrata* Boh. (Hemiptera: Pentatomidae), Türkiye Entomoloji Dergisi, 35 (4), 559-568.
- Muştu, M., Demirci, F. ve Koçak, E., 2014, Mortality of *Isaria farinosa* and *Beauveria bassiana* on sunn pests *Eurygaster integriceps* and *Eurygaster austriaca*. Phytoparasitica, 42(1), 93-97.
- Parker, B. L., Skinner, M., Costa, S.D., Gouili, S., Rreid, W. ve El Bouhssini, M., 2003, Entomopathogenic fungi of *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae) collection and characterization for development. Journal of Biological Control, 27, 260-272.

- Sivri, D., Sapirstein, H.D., Köksel, H., Bushuk, W., 1999. Effects of wheat bug (*Eurygaster maura*) protease on glutenin proteins. *Cereal Chemistry*, 76(5), 816–820.
- Yüksel, M., 1968. Güney ve Güneydoğu Anadolu'da Süne (*Eurygaster integriceps* Put)' nin yayılışı, biyolojisi, ekolojisi, epidemiolojisi ve zararı üzerinde araştırmalar. T.C. Tarım Bakanlığı Zirai Müc. ve Kar. Gn. Md. Yayınları No: 46 Teknik Bülten, Yenidesen Matbaası, Ankara, 255 s.

BÖLÜM 9

KURU KOŞULLARDA NOHUT (*CICER ARIETINUM* L.) ISLAHINDA KORELASYON ANALİZİ İLE SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Zir. Yük. Müh. Mustafa NALBANT¹
Prof. Dr. Mehmet YAĞMUR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16778566>

*Bu Kitap Bölümü Mustafa Nalbant'ın KAEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Sunulan Yüksek Lisans Tezi Esas Alınarak Hazırlanmıştır

¹ Türkiye Milli Botanik Bahçesi Müdürlüğü/ Ankara, Türkiye. mustafanalbant42@gmail.com,
Orcid ID: orcid.org/0000-0003-1750-8073

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kırşehir, Türkiye [orcid.org/ 0000-0002-0136-4637](https://orcid.org/0000-0002-0136-4637)

GİRİŞ

Bitkisel protein kaynağı olarak yemeklik tane baklagiller binlerce yıldır insan beslenmesinde önemli bir yer tutmuştur. Baklagiller, tek yıllık ve çok yıllık olmak üzere 12.000 türü kapsamakta ve bunların arasından yalnızca 200 tanesinin tarımı yapılmaktadır (Gülümser, 2016). Yemeklik tane baklagiller iklim isteklerine göre sıcak ve serin iklim baklagilleri olarak gruplandırılmaktadır. Nohut (*Cicer arietinum* L.), bakla (*Vicia faba* L.), mercimek (*Lens culinaris* Medik.) ve bezelye (*Pisum sativum* L.) serin iklim baklagilleri grubunda yer alırken, börülce (*Vigna unguiculata* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ise sıcak iklim baklagilleri grubuna dâhildir.

Nohut (*Cicer arietinum* L.) günümüzde Asya, Afrika, Avrupa, Avustralya, Kuzey Amerika ve Güney Amerika kıtalarını kapsayan Dünya'nın hemen hemen tüm bölgelerinde yetiştirilmektedir (Singh ve diğ. 2014). Dünyada tarımı yapılan nohut çeşitleri, tane iriliğine, şekline ve rengine göre Desi tipi ve Kabuli tipi olarak 2 gruba ayrılmışlardır (Babaoğlu, 2003). Desi tipindeki nohutların taneleri daha küçük ve renkleri daha koyu iken, kabuli tipindeki nohutların taneleri pürüzsüz ve açık renklidir. Dünyada nohut üretimi yapılan alanların %80-85'inde Desi tipindeki nohut türü yetiştirilmektedir (Gaur ve diğ. 2010).

Nohut ucuz ve zengin bir protein kaynağı olmasının yanında aynı zamanda toprağı da iyileştirir (Kumar ve diğ. 2016). Kökleri üzerinde bulunan bakteriler (*Rhizobium ciceri*) yardımı ile dekara 8 kg saf azot bağlayabilmekte ve hem kendi azot ihtiyacını hem de kendisinden sonra tarlada üretimi yapılacak olan bitkinin azot ihtiyacının bir kısmını karşılayarak, toprak verimliliğini artırması bakımından da önemli bir bitkidir. Geniş bir pazara sahip olmasının yanında, kuraklığa dayanıklı olması, verimi düşük alanlarda dahi yetiştirilebilmesi ve tahıllarla ekim nöbetine girerek nadas alanlarının azaltılması için önemli olan nohut, kurak ve tuzlu topraklar içinde aranan bir bitkidir (Şehirli, 1988).

Kırşehir ili 2019 yılında, 630.000 ton toplam nohut üretimi yapılan ülkemizde 70.813 ton ile en fazla nohut üreten iller arasında olmuştur. Kırşehir ilinin 265.423 hektar olan tarla bitkileri üretim alanının (nadas alanları hariç), 60.671 hektarında nohut üretimi yapılmış ve 70.813 Ton nohut üretimi gerçekleştirilmiştir. Kırşehir'de 2019 yılında 117 kg/da ile Türkiye ortalamasının altında bir nohut verimi elde edilmiştir (Anonim 2020 a). Islah

edilmiş ve yüksek verim kapasitesine sahip çeşitlerin uygun koşullarda yetiştirilmesi daha yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmeye neden olacağından dolayı, bölge şartlarına en uygun çeşidin belirlenmesi amacıyla yetiştiriciliği gerçekleştirilen çeşitlerin verim ve verim öğelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Nohut kuraklığa ve sıcağa dayanıklı olmasının yanında verimsiz topraklarda bile üreticiyi tatmin edecek seviyede ürün verebilmesi, istihdam sağlaması, ekim nöbetine girerek nadas alanlarının azalması ve çiftçinin gelirinin artmasına katkı sağlaması nedeniyle bölgemiz açısından önemli bir yemeklik tane baklagil bitkisidir.

Genetik çeşitliliğin boyutu, herhangi bir ürün ıslahında ön koşuldur ve verim birçok tarla ürününün nihai ürünüdür (Singh vd., 1995). Bazı karakterler kendi aralarında ve tohum verimiyle oldukça ilişkilidir. Bu karakterler arasındaki ilişkilerin ve tohum verimiyle ilişkilerinin analizi, seçim kriterlerini belirlemek için önemlidir. Ancak, verim ve verim bileşenleri arasındaki basit korelasyon katsayıları tatmin edici sonuçlar vermeyebilir. Çünkü bileşenler verimi yalnızca doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda diğer verim bileşenlerini olumsuz veya olumlu yönde etkileyerek verimi dolaylı olarak da etkiler. Bir özellik, verim için bir özellik üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğu gibi, bazı diğer özellikleri veya tüm özellikleri olumsuz yönde etkileyebilir (Walton, 1980). Bu gibi durumlarda, path katsayısı analizi, bu karakterlerin doğrudan katkısını ve diğer karakterler aracılığıyla dolaylı katkılarını belirlemeye yardımcı olur (Singh vd., 1990).

Genel olarak tane verimi, bitki boyu, dal sayısı, bakla sayısı, tohum ağırlığı ve 100 tohum ağırlığı ile pozitif korelasyon göstermektedir. En yüksek doğrudan etki, bitki başına bakla sayısı, ikincil dallar ve 100 tohum ağırlığı tarafından sergilenmiştir. Dolayısıyla, bitki başına bakla sayısı ve 100 tohum ağırlığı, tane verimine katkıda bulunan ana bileşenler olmuştur.

Yücel ve Anlarsal (2010) tarafından yürütülen bir araştırmada, Akdeniz koşullarında 22 nohut (*Cicer arietinum* L.) genotipinde, korelasyon ve path katsayısı analizi kullanılarak seleksiyon kriterlerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. İncelenen karakterlerde, tohum verimi ile hasat indeksi ve tohum sayısı arasında istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bağımlı değişken olarak tohum verimine dayalı path katsayıları analizi, hasat indeksinin tohum verimi üzerinde %56,04'lük oranla (0,4206) en büyük doğrudan etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Hem korelasyon hem

de path analizleri, hasat indeksinin tohum verimine en büyük doğrudan katkıyı sağladığını göstermiştir. Bu çalışma ile nohutta yüksek tohum verimi için seleksiyonun, yüksek hasat indeksli bitkilerin seçilmesine dayandırılması gerektiğini ileri sürmektedir.

Bunun yanında bölgede daha yüksek verim elde etmek amacıyla çeşitli yörelerde ön planda üretimi yapılan çeşitlerin, Kırşehir yöresinde de verim ve verim öğelerinin belirlenmesi, bölge ekolojisine en uygun nohut çeşidinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, ülkemizde yetiştirilen 16 adet tescilli nohut çeşidinin (Azkan, Uzunlu-99, Aksu, Sarı 98, Hasanbey, Çakır, Akça, Yaşa 05, Çağatay, İnci, Zuhul, Sezenbey, Gökçe, Ilgaz, TAEK-Sagel, Arda) Kırşehir ekolojik koşullarında verim ve verim öğelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma 2020 yılında, Kırşehir ekolojik koşullarında bazı 16 nohut çeşidinin tane verimi ve bazı verim öğelerinin belirlenmesi amacıyla Kırşehir Ahi Evran Üniversitesinin Bağbaşı kampüsünde bulunan deneme alanında yürütülmüştür. Deneme alanının coğrafi konumu Kırşehir'e 5 km uzaklıkta olup, rakımı 1107 m, enlemi 39° 9' kuzey, boylamı 34° 10' doğudur.

Değişik araştırma enstitülerinden temin edilen, ülkemizde tescil ettirilmiş 16 adet nohut çeşidi (Azkan, Uzunlu 99, Gökçe, Aksu, İnci, Hasanbey, Çakır, Akça, Yaşa 05, Çağatay, Zuhul, Sezenbey, Sarı 98, Ilgaz, Arda, TAEK-Sagel) bu araştırmanın materyalini oluşturmaktadır.

Kırşehir Meteoroloji Müdürlüğünden elde edilen verilere göre, çalışmanın yürütüldüğü nohut yetiştirme dönemine ve uzun yıllar ortalamasına (1930-2019) ait meteorolojik değerler belirlenmiştir. Bitkilerin yetişme dönemi olan Mart-Temmuz aylarında uzun yıllar yağış ortalamasını toplamı 168.5 mm iken, denemenin yapıldığı sene düşen yağış miktarı toplamı 135.7 mm ile uzun yıllar ortalamasının altında olmuştur (Anonim 2020 a).

Çalışmanın yürütüldüğü, Mart ve Temmuz aylarında sıcaklık değerleri, uzun yıllar ortalamasından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kırşehir'de uzun yıllar sıcaklık ortalaması 14.81 °C olurken, 2020 yılında ortalama sıcaklık 16.18 °C olarak belirlenmiştir. Nispi nem verileri değerlendirildiğinde, Mart-Temmuz aylarında uzun yıllar nispi nem ortalaması %58.96 iken, 2020 yılı

üretim döneminde ortalama nispi nem %78.45 olmuş ve uzun yıllar ortalamasından daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Deneme alanının toprak numunesi analizleri, Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Toprak analiz sonuçlarına göre deneme alanının toprağı, killi-tınlı olup orta düzeyde tuzlu ve kireçli yapısı ile organik maddece fakir bir yapıdadır (Kacar, 1995).

Her parsel için incelenen özellikler, her parselde orta sırada yer alan bitkilerden tesadüfi olarak belirlenen örnek bitkilerde aşağıda verildiği şekilde belirlenmiştir. %50 Çiçeklenme Süresi (gün): %50 Bakla Bağlama Süresi (gün): Fizyolojik Olgunlaşma Süresi (gün): Bitki Boyu (cm): İlk Bakla Yüksekliği (cm): Bitkide birincil dal sayısı (adet): Bitkide İkincil Dal Sayısı (adet): Bitkide Toplam Bakla Sayısı (adet/bitki): Bitkideki Boş Bakla Sayısı (adet/bitki): Bitkideki Dolu Bakla Sayısı (adet/bitki): Bitkide Tane Sayısı (adet/bitki): Baklada Tane Sayısı (adet): Bitkide Tane Ağırlığı (g): 100 Tane Ağırlığı (g): Biyolojik Verim (kg/da): Tane Verimi (kg/da): Hasat İndeksi (%):

Araştırmada Elde Edilecek Verilerin Değerlendirilmesi

Denemeye alınan farklı nohut çeşitlerine ait deneme kapsamında incelenen on yedi özellik için elde edilen veriler öncelikle varyans analizine tabii tutulmuştur. Varyans analizi “Tesadüf Blokları Deneme” desenine göre MSTAT-C paket programı kullanılmak suretiyle hesaplanmış ve ortalamalar “Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi” ile gruplandırılmıştır (Steel ve Torrie, 1960). Ayrıca korelasyon testi yapılmıştır.

SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Çalışmada ele alınan karakterler arasındaki korelasyon katsayıları ve önemlilik durumları Tablo 1. de verilmiştir. Çalışmada incelenen özellikler arası ilişkiler incelendiğinde, %50 çiçeklenme gün sayısı ile sadece bakla bağlama gün sayısı arasında ($r=0.855^{**}$) önemli olumlu ilişki tespit edilirken %50 çiçeklenme gün sayısı ile diğer özellikler arasında önemsiz ilişkiler tespit edilmiştir. %50 Bakla bağlama gün sayısı ile ilk bakla yüksekliği arasında ($r=-0.331^{*}$) önemli ve olumsuz ilişki tespit edilirken diğer özellikler arasındaki ilişki önemsiz olarak saptanmıştır. Olgunlaşma gün sayısı ile bitki boyu ($r=-0.323^{*}$) ve ilk bakla yüksekliği ($r=-0.463^{**}$) arasında önemli ve olumsuz ilişkiler tespit edilirken, ikincil dal sayısı ($r=0.442^{**}$), toplam bakla sayısı ($r=0.420^{**}$), boş bakla sayısı

($r=0.439^{**}$), dolu bakla sayısı (0.402^{**}) bitkide tane sayısı ($r=0.400^{**}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.584^{**}$), 100 tane ağırlığı ($r=0.502^{**}$), tane verimi ($r=0.584^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.583^{**}$) arasında önemli ve olumlu ilişkiler tespit edilmiştir.

Çalışmada, bitki boyu ile ilk bakla yüksekliği ($r=0.596^{**}$) arasında olumlu ve önemli, ikincil dal sayısı ($r=-0.331^{*}$) ve 100 tane ağırlığı ($r=-0.349^{*}$) arasında olumsuz ve önemli ilişkiler tespit edilirken diğer özellikler arasındaki ilişkiler önemsiz olmuştur. İlk bakla yüksekliği ile ikincil dal sayısı ($r=-0.680^{**}$), toplam bakla sayısı ($r=-0.339^{*}$), dolu bakla sayısı ($r=-0.345^{*}$), bitkide tane sayısı ($r=-0.346^{*}$) bitkide tane ağırlığı ($r=-0.494^{**}$), 100 tane ağırlığı ($r=-0.470^{**}$), tane verimi ($r=-0.494^{**}$), biyolojik verim ($r=-0.514^{**}$) önemli ve olumsuz ilişkiler tespit edilmiştir. Birincil dal sayısı ile toplam bakla sayısı ($r=0.386^{**}$), dolu bakla sayısı ($r=0.388^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.387^{**}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.402^{**}$), tane verimi ($r=0.402^{**}$), biyolojik verim ($r=0.352^{*}$) arasında olumlu ve pozitif ilişkiler belirlenirken, ikincil dal sayısı ile toplam bakla sayısı ($r=0.578^{**}$), boş bakla sayısı ($r=0.452^{**}$), dolu bakla sayısı ($r=0.568^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.608^{**}$), baklada tane sayısı ($r=0.299^{*}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.705^{**}$), 100 tane ağırlığı ($r=0.322^{*}$), tane verimi ($r=0.705^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.673^{**}$) arasında önemli ve pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Toplam bakla sayısı ile boş bakla sayısı ($r=0.560^{**}$), dolu bakla sayısı ($r=0.995^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.972^{**}$), baklada tane sayısı ($r=0.343^{*}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.834^{**}$), tane verimi ($r=0.834^{**}$) ve biyolojik verim arasında ($r=0.804^{**}$) arasında önemli ve olumlu ilişkiler saptanırken, boş bakla sayısı ile dolu bakla sayısı ($r=0.514^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.528^{**}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.553^{**}$), tane verimi ($r=0.553^{**}$), biyolojik verim ($r=0.557^{**}$) arasında önemli ve pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Dolu bakla sayısı ile bitkide tane sayısı ($r=0.980^{**}$), baklada tane sayısı ($r=0.362^{*}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.836^{**}$), tane verimi ($r=0.836^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.804^{**}$) arasında önemli ve olumlu ilişkiler tespit edilmiştir.

Bitkide tane sayısı ile baklada tane sayısı ($r=0.442^{**}$), bitkide tane ağırlığı ($r=0.844^{**}$), tane verimi ($r=0.844^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.803^{**}$) arasında önemli ve pozitif ilişkiler tespit edilirken, baklada tane sayısı ile bitkide tane ağırlığı ($r=0.331^{*}$) ve tane verimi ($r=0.331^{*}$) arasında önemli ve olumlu ilişkiler bulunmuştur. Bitkide tane ağırlığı ile 100 tane ağırlığı

($r=0.427^{**}$), tane verimi ($r=1.000^{**}$), biyolojik verim ($r=0.963^{**}$) arasında olumlu ve önemli ilişkiler saptanırken, 100 tane ağırlığı ile tane verimi arasında ($r=0.427^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.483^{**}$) arasında olumlu ve önemli ilişkiler saptanmıştır.

Çalışmada elde edilen verilere göre tane verimi ile olgunlaşma gün sayısı ($r=0.584^{**}$), birincil dal sayısı ($r=0.402^{**}$), ikincil dal sayısı ($r=0.705^{**}$), toplam bakla sayısı ($r=0.834^{**}$), boş bakla sayısı ($r=0.553^{**}$), dolu bakla sayısı ($r=0.836^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.844^{**}$), baklada tane sayısı ($r=0.331^{**}$), bitkide tane ağırlığı ($r=1.000^{**}$), 100 tane ağırlığı ($r=0.427^{**}$) ve biyolojik verim ($r=0.963^{**}$) arasında olumlu ve önemli yönde, ilk bakla yüksekliği ile ($r=-0.494^{**}$) önemli ve olumsuz yönde, çiçeklenme gün sayısı ($r=0.179$), bakla bağlama gün sayısı ($r=0.246$) hasat indeksi ($r=0.252$) arasında önemsiz ve olumlu yönde, bitki boyu ($r=-0.119$) ile önemsiz ve olumsuz yönde ilişkiler saptanmıştır.

Bu çalışmada, olgunlaşma süresi ile tane verimi arasında olumlu ve önemli ilişkiler saptanmıştır. Bazı araştırmacılar olgunlaşmaya kadar geçen sürenin tane verimi ile anlamlı ve pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir (Agrawal ve diğ., 2018).

Korelasyon analizi sonucunda, ilk bakla yüksekliğine en fazla etki eden karakterin bitki boyu olduğu belirlenmiştir. İlk bakla yüksekliği bakımından bu çalışma sonuçlarını Bayrak ve diğ. (2015), tarafından Konya ekolojik koşullarında yürütülen bir çalışma sonucunda, bitki boyu ile ilk bakla yüksekliği arasında ($r=0.553^{**}$) önemli ve pozitif korelasyon tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Buna benzer olarak, Tekatlı ve diğ. (2017)'nin Kahramanmaraş'ta yürüttükleri çalışmanın sonucunda; iki yılın ortalamasına göre ilk bakla yüksekliği ile bitki boyu arasında çok önemli ve pozitif ilişki saptandığını bildirmişlerdir. Belirtilen bu çalışmalarda elde edilen bulgular çalışmamızda elde edilen bulgular ile kısmen benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Kırşehir ekolojik koşullarında bazı nohut çeşitlerinde incelenen karakterler arası ilişkiler ve korelasyon katsayıları (r

	B.B.G.S	O.G.S	B.B	İ.B.Y	B.D.S	İ.D.S	T.B.S	B.B.S.	D.B.S	Bit..T.S	Bak..T.S	B.T. AĞ.	100	H.İ	T.V.	B.V
Ç.G.S.	0.855**	0.057	-0.059	-0.174	-0.053	0.126	0.059	0.229	0.034	0.059	0.125	0.179	0.256	0.173	0.179	0.138
B.B.G.S	1	0.062	-0.157	-0.331*	-0.029	0.166	0.138	0.227	0.129	0.15	0.232	0.246	0.216	0.215	0.246	0.197
O.G.S.		1	-0.323*	-0.463**	0.19	0.442**	0.420**	0.439**	0.402**	0.400**	-0.052	0.584**	0.502**	0.173	0.584**	0.583**
B.B.			1	0.596**	-0.108	-0.331*	0.115	-0.021	0.106	0.076	0.028	-0.119	-0.349*	-0.129	-0.119	-0.078
İ.B.Y.				1	-0.15	-0.680**	-0.339*	-0.213	-0.345*	-0.346*	-0.041	-0.494**	-0.470**	-0.086	-0.494**	-0.514**
B.D.S.					1	0.239	0.386**	0.232	0.388**	0.387**	0.112	0.402**	0.061	0.236	0.402**	0.352*
İ.D.S.						1	0.578**	0.452**	0.568**	0.608**	0.299*	0.705**	0.322*	0.219	0.705**	0.673**
T.B.S.							1	0.560**	0.995**	0.972**	0.343*	0.834**	-0.035	0.224	0.834**	0.804**
B.B.S.								1	0.514**	0.528**	0.133	0.553**	0.251	0.074	0.553**	0.557**
D.B.S.									1	0.980**	0.362*	0.836**	-0.055	0.228	0.836**	0.804**
Bit.T.S.										1	0.442**	0.844**	-0.045	0.252	0.844**	0.803**
Bak.T.S.											1	0.331*	-0.234	0.241	0.331*	0.262
Bit.T.AĞ												1	0.427**	0.252	1.000**	0.963**
100 T.A													1	-0.082	0.427**	0.483**
H.İ														1	0.252	0.003
T.V.															1	0.963**
B.V																1

Ç.S.: Çiçeklenme Gün Süresi, B.B.G.S.: Bakla Bağlama Gün Sayısı, O.G.S.: Olgunlaşma Gün Sayısı, B.B.: Bitki Boyu, İ.B.Y: İlk Bakla Yükseliği, B.D.S.: Birincil Dal Sayısı, İ.D.S.: İkincil Dal Sayısı, T.B.S.: Toplam Bakla Sayısı, B.B.S.: Boş Bakla Sayısı, D.B.S.: Dolu Bakla Sayısı, Bit.T.S.: Bitkide Tane Sayısı, Bak.T.S.: Baklada Tane Sayısı, Bit..T.Ağ.: Bitkide Tane Ağırlığı, 100 T.A.: 100 Tane Ağırlığı, H.İ.: Hasat İndeksi, T.V.: Tane Verimi, B.V.: Biyolojik Verim

Kırşehir şartlarında yürütülen bu çalışmada, birincil dal sayısı ile tane verimi arasında önemli ve pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Malık ve diğ. (2010), yılında 20 nohut genotipi ile yürüttükleri çalışmalarında tane verimi birincil dallar arasında anlamlı ve pozitif korelasyon bulunduğunu rapor etmişlerdir. Agrawal ve diğ. (2018), normal ekim koşullarında; ana dal sayısı ile tane verimi arasında anlamlı ve pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir.

İkincil dal sayısı ile tane verimi ve biyolojik verim arasında olumlu ve anlamlı ilişki bulunmuştur. Özveren Yücel ve diğ. (2006), verim ve verim öğeleri arasındaki varyasyon, kalıtım, korelasyon ve bitki başına tane verimi üzerine doğrudan ve dolaylı etkileri tespit etmek amacıyla 15 nohut çeşidi ile iki yıl süre yürüttükleri çalışmanın sonucunda bitki başına tane verimi ile yan dal sayısı arasında istatistiki açıdan önemli ve olumlu bir ilişki tespit etmişlerdir. Malık ve diğ. (2010), yılında 20 nohut genotipi ile yürüttükleri çalışmalarında, tane verimi ile ikincil dallar (0.617) arasında pozitif ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Agrawal ve diğ. (2018), normal ekim koşullarında, ikincil dal sayısı ile tane verimi arasında anlamlı ve pozitif korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki bu çalışmalarda elde edilen bulgular çalışmamızda elde edilen bulgular ile kısmen benzerlik göstermektedir.

Toplam bakla sayısı ile tane verimi arasında önemli ve pozitif ilişkiler saptanmıştır. Khan ve diğ. (2006), yürüttükleri çalışmalarında, yapılan korelasyon analizinde bitki başına bakla sayısı ile verim arasında (0.946) pozitif korelasyon olduğunu, bakladaki tane sayısının çeşitlerin genetik bir özelliği olduğunu ve çevre şartlarından daha az etkilendiğini bildirmişlerdir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmalarında, bitki başına bakla sayısının ($r=0.827^{**}$) tane verimi ile en yüksek pozitif korelasyona sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Bitkide tane sayısı ile tane verimi arasında önemli ve olumlu korelasyon tespit edilmiştir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmanın korelasyon analizi sonuçlarında, bitki başına tohum sayısının ($r=0.846^{**}$) tane verimi pozitif korelasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı çalışmasının sonucunda, tane verimi ile bitkide tane sayısı (0.775^{**}) arasında önemli ve pozitif korelasyon olduğunu tespit etmiştir.

Bitkide tane sayısı ile tane verimi arasında önemli ve olumlu korelasyon tespit edilmiştir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmanın korelasyon analizi sonuçlarında, bitki başına tohum sayısının ($r=0.846^{**}$) tane verimi pozitif korelasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı çalışmasının sonucunda, tane verimi ile bitkide tane sayısı (0.775^{**}) arasında önemli ve pozitif korelasyon olduğunu tespit etmiştir.

Bitkide tane sayısı ile tane verimi arasında önemli ve olumlu korelasyon tespit edilmiştir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmanın korelasyon analizi sonuçlarında, bitki başına tohum sayısının ($r=0.846^{**}$) tane verimi pozitif korelasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı çalışmasının sonucunda, tane verimi ile bitkide tane sayısı (0.775^{**}) arasında önemli ve pozitif korelasyon olduğunu tespit etmiştir.

Yürütülen bu çalışmada yüz tane ağırlığı ile tane verimi arasında pozitif ve önemli ilişki tespit edilmiştir. Agrawal ve diğ. (2018), normal ekim koşullarında; 100 tane ağırlığının tane verimi ile anlamlı ve pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Gürbak (2019), Kahramanmaraş ekolojik şartlarında nohutta verim ve verim öğeleri yönünden genetik farklılıklarını ve ilerlemelerini incelemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada ele alınan karakterler arasındaki ilişkilere bakıldığında, birim alan tane verimi ile yüz tane ağırlığı ($r= 0.46^{*}$) arasında olumlu ve önemli ilişki tespit edildiğini bildirmiştir.

Biyolojik verim ile ana dal sayısı, ikincil dal sayısı, toplam bakla sayısı ve tane verimi arasında olumlu ve önemli ilişkiler tespit edilmiştir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmanın korelasyon analizi sonuçlarında, biyolojik verimin ($r=0.798^{**}$) tane verimi ile pozitif korelasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Malık ve diğ. (2010) yılında 20 nohut genotipi ile yürüttükleri çalışmalarında, tane verimi ile biyolojik verim (0.771) arasında anlamlı ve pozitif korelasyon bulunurken, bitki başına biyolojik verim, birincil dallar (0.66), ikincil dallar (0.735) ve bitkide bakla sayısı (0.782) ile pozitif korelasyon göstermiştir. Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek amacıyla

yürüttüğü çalışmasının sonucunda, tane verimi ile biyolojik verim ($r=0.965^{**}$) arasında istatistiki olarak önemli ilişki bulunduğunu rapor etmiştir.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre; bitkide tane ağırlığı ve biyolojik verim, tane verimini en çok etkileyen karakterler olmuştur. Yıldırım (2006), korelasyon analizine göre tane verimi ile arasında önemli ve pozitif ilişki bulunan özelliklerin, büyüklük sırasına göre korelasyon katsayılarının; bitkide tane sayısı ($r=0.876$), bitkide bakla sayısı ($r=0.836$), bitki verimi ($r=0.819$), biyolojik verim ($r=0.780$) ve hasat indeksi ($r=0.701$) olduğunu bildirmiştir. Bıçaksız (2010), Eskişehir ekolojik koşullarında bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin Orta Anadolu şartlarına uyumunu belirlemek amacıyla 5 nohut çeşidi (Akçin-91, Aziziye-94, Gökçe, Işık-05 ve Yaşa-05) ile 2008 yılı bahar yetiştirme mevsiminde kıraç şartlarda bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada, özellikler arası ilişkilerin ele alınması sonucu birim alandaki biyolojik verimin, birim alandan elde edilen tane verimine en önemli doğrudan etkiyi yaptığını, diğer özelliklerin birim alan biyolojik verimi üzerinden tane verimine dolaylı etkileri olduğunu bildirmiştir. Malık ve diğ. (2010), yılında 20 nohut genotipi ile yürüttükleri çalışmalarında incelenen özelliklerin çoğunun verim ile pozitif ve anlamlı ilişkisi olduğunu bildirmişler ve tane verimi ile biyolojik verim (0.771) arasında anlamlı ve pozitif korelasyon bulunduğunu rapor etmişlerdir. Yaşar (2010), Güneydoğu Anadolu Bölgesi ekolojik şartlarında yetiştiriciliği yazlık olarak yapılan bazı nohut çeşit ve hatlarının, tane verimi ve verimle ilgili karakterlerini tespit etmek amacıyla Diyarbakır ilinde 9 hat ve 6 çeşit (İnci, Çağatay, Gökçe, Diyar-95, Yaşa-05, ILC-482) ile 2009 yılı yetiştirme sezonunda bir çalışma yürütmüştür. Gerçekleştirilen korelasyon katsayısı analizinin sonuçlarına göre tane verimi ile arasında olumlu ve önemli ilişkiler bulunan karakterlerin; biyolojik verim, bitkide bakla sayısı, ilk bakla yüksekliği, ana dal sayısı, bitkide tane sayısı olduğunu rapor etmiştir. Beysarı (2012), tane verimi ile biyolojik verim ($r=0.965^{**}$) ve bitki verimi ($r=0.830^{**}$) arasında istatistiki olarak önemli ilişki bulunduğunu tespit etmiştir. Kobraee ve diğ. (2010), İran ekolojik koşullarında yürüttükleri çalışmalarında, hem ekim tarihinin hem de kullanılan çeşidin, tane verimi ve verim bileşenleri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Nohutun erken ekiminde en yüksek bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitki başına bakla sayısı, bitki başına tohum sayısı, 100 tohum ağırlığı, tane verimi, biyolojik verim ve hasat indeksinin elde edileceğini bildirmişlerdir. Çalışmanın

korelasyon analizi sonuçlarında, bitki başına tohum sayısının ($r=0.846^{**}$), bitki başına bakla sayısının ($r=0.827^{**}$), bitki boyunun ($r=0.813^{*}$) ve biyolojik verimin ($r=0.798^{**}$) tane verimi ile en yüksek pozitif korelasyona sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, nohut (*Cicer arietinum* L.) verimi ve verim bileşenleri arasındaki ilişkileri anlamak, bu ilişkileri etkili bir şekilde kullanmanın, arzu edilen çeşitleri geliştirmek için kritik öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Jivani ve diğ. (2013), yürüttükleri çalışmanın sonucunda yaptıkları korelasyon analizine göre; yüksek verimli nohut çeşitlerinin seçiminde, bitkide bakla sayısı, hasat indeksi, biyolojik verim ve 100 tane ağırlığı değerlerinin önemli olduğunu bildirmişlerdir. Padmavathi ve diğ. (2013), otuz nohut genotipi ile yürüttükleri çalışmada %50 çiçeklenme süresini 36.67-60.67, olgunlaşma süresini 81.67-98.67 gün, bitki boyunu 37.30-51.57 cm, birincil dal sayısını 1.43-3.90 adet/bitki, ikincil dal sayısını 9.43-15.40 adet/bitki, bitkide bakla sayısını 35.17-57.33 adet, yüz tane ağırlığını 13.52-40.87 g, hasat indeksini %32.16-61.58 olarak tespit etmişlerdir. Korelasyon analizi sonucunda, tane verimi ile önemli ve pozitif korelasyon gösteren özelliklerin, bitki boyu ($r_p=0.43^{**}$) ve ($r_g=0.68^{**}$), birincil dal sayısı ($r_p=0.40^{**}$) ve ($r_g=0.52^{**}$), ikincil dal sayısı ($r_p=0.21^{*}$) ve ($r_g=0.29^{**}$), bitki başına bakla sayısı ($r_p=0.66^{**}$) ve ($r_g=0.63^{**}$), 100 tohum ağırlığı ($r_p=0.56^{**}$) ve ($r_g=0.64^{**}$), hasat indeksi ($r_p=0.40^{**}$) ve ($r_g=0.52^{**}$), bitki başına biyolojik verim ($r_p=0.74^{**}$) ve ($r_g=0.89^{**}$) olduğunu bildirmişlerdir. Karakan Kaya (2014), Elazığ ekolojik şartlarında yaptığı çalışmasında, bazı nohut çeşitlerinin verim ve adaptasyon kabiliyetlerini tespit etmeyi amaçlamıştır. Çalışma neticesinde; tane verimini 58.2-100.1 kg/da, çiçeklenme süresini 57.0-62.3 gün, olgunlaşma süresini 70.3-72.3 gün, bitki boyunu 41.2-56.9 cm, ilk bakla yüksekliğini 24.4-35.1 cm, ana dal sayısını 3.0-4.4 adet, bitkide bakla sayısını 17.7-35.4 adet, bitkide tane sayısını 17.4-33.1 adet, baklada tane sayısını 0.88-1.07 adet, bitki verimini 4.7-11.0 g, 100 tane ağırlığını 25.6-38.5 g, biyolojik verimi 123.1-214.9 kg/da, hasat indeksini %29.1-49.2 olarak tespit etmiştir. Tane verimi ile biyolojik verim ($r=0.721^{**}$), bitkide tane sayısı ($r=0.355^{**}$), çiçeklenme süresi ($r=-0.433^{**}$), olgunlaşma süresi ($r=-0.344^{*}$), hasat indeksi ($r=0.495^{**}$), bitkide bakla sayısı ($r=0.425^{**}$), bitki verimi ($r=0.547^{**}$), 100 tane ağırlığı ($r=0.419^{**}$) ve metrekarede bitki sayısı ($r=0.428^{**}$) arasındaki ilişkilerin istatistiki açıdan önemli olduğunu bildirmiştir. Işık-05 çeşidinden 100.1 kg/da ile en yüksek tane verimi elde

edilmesinin yanında, 47.3 cm bitki boyuna ve 28.3 cm ilk bakla yüksekliğine sahip olduğunu, bu uzunluk seviyelerinin mekanik hasat için yeteri kadar uzun olduğunu bildirmiştir.

Bayrak ve diğ. (2015), Konya ekolojik koşullarında ıslah çalışmalarının ileri kademelerindeki durulmuş hatlarının verim öğelerini belirlemek için, 5 nohut hattı ve 2 adet tescilli çeşit ile bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar; olgunlaşma gün sayısı ile çiçeklenme gün sayısı arasında ($r=0.859^{**}$), vejetasyon süresi ile ilk bakla yüksekliği arasında ($r=0.546^{**}$) bitki boyu ile ilk bakla yüksekliği arasında ($r=0.553^{**}$) %1 hata seviyesinde önemli ve pozitif korelasyon tespit etmişlerdir. Araştırmada 2011 yılında yetiştirilen EN 1780 hattı; 43.25 cm bitki boyuna ulaşmış ve ilk bakla yüksekliği 29.5 cm olarak ölçülerek, öteki genotiplerin üstünde yer bulmuştur. En yüksek tane verimini 2012 senesinde ekimi gerçekleştirilen EN 2000 hattından 132.52 kg/da olarak elde edildiğini saptamışlardır. Düzdemir (2016), Tokat ekolojik koşullarında yürüttüğü çalışmasında, bitkide tane verimi ile diğer kriterler arasındaki bağlantıları tespit ederek, yazlık ve kışlık ekime elverişli bitki tipini belirleyebilmeyi amaçlamıştır. Çalışmada yazlık ekimlerde bitkide tane verimine, bitkide toplam veriminin (0.823^{**}) en yüksek ve olumlu etkiyi yaptığını, bunu bitkide bakla sayısı (0.724^{**}) ve bitkide tane sayısının (0.684^{**}) takip ettiğini, diğer özellikler ile tane verimi arasında istatistiki açıdan ilişki tespit edilemediğini bildirmiştir. Araştırmacı, farklı ekim zamanlarına bağlı olarak bitkide tane verimine etki eden öğelerinde farklılık gösterdiğini, ıslah araştırmalarında arzulanan tip de bitki seçilirken çevresel koşullarında göz önünde tutulmasının gerektiğini vurgulamıştır. Bitkide tane sayısı özelliğinin, kışlık ekime uyumlu olması istenen nohut genotiplerinin geliştirileceği araştırmalarda, bitkide hasat indeksi ile bitkide toplam verim özelliklerinin yazlık ekimde öncelikle ele alınması gerektiğini, fakat bunların yanında yüksek ve olumlu dolaylı etkileri sebebiyle bitkide bakla sayısı özelliğinin de dikkate alınmasının gerekli olduğu kanaatine vardığını bildirmiştir.

Astereki ve diğ. (2017), bitki başına bakla sayısının, tohum veriminin bir belirleyicisi olduğunu ve bu nedenle ıslah programlarında nohutta tane verimini artırmak için bir seçim kriteri olabileceğini vurgulamışlardır. Banik ve diğ. (2017), yaptıkları araştırmada; bitki başına bakla sayısı, 100 tane ağırlığı, bitki boyu ve olgunlaşma gün sayısı ile bitki başına tane verimi arasında önemli ve

pozitif bir ilişki olduğunu, ayrıca yüksek verimli çeşit seçiminin biyolojik verim ve hasat indeksine dayandırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Doğan ve diğ. (2017), Mardin ekolojisinde ülkemizde tescil edilmiş 10 nohut çeşidi ile (Azizye-94, Menemen-92, Yaşa-05, İzmir-92, ILC-482, Işık-05, Canitez-87, Er-99, Diyar-95, ve Gökçe) yürüttükleri çalışmada, nohut çeşitlerinde tane verimi ile diğer verim öğeleri arasındaki ilişkileri korelasyon ve path analizi kullanılarak incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonucunda ulaştıkları sonuçlara göre, tane verimi ile hasat indeksi (0.728**), bitkide tane sayısı (0.927**), bitkide bakla sayısı (0.916**) arasında önemli ve olumlu ilişkiler tespit etmişlerdir. Nohutta yürütülecek ıslah araştırmalarında, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı ve bitkide ilk bakla yüksekliğinin, yüksek verim potansiyelini elde etmek için seçim kriteri olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Tekathı ve diğ. (2017), Kahramanmaraş şartlarında bazı kışlık nohut hatlarında bazı tarımsal öğeler ile öğeler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla, 8 hat ve tescilli 2 kontrol çeşidi (İnci, Menemen-92) ile 2012–2013 yıllarında 2 sene süreyle yürüttükleri çalışmanın sonucunda; iki yılın ortalamasına göre KMN 05-589 hattı 270.7 kg/da ile en yüksek tane verimine sahip olmuş ve 44.2 cm ile ilk bakla yüksekliği açısından ilk sırada yer bulmuştur. Araştırmacılar ayrıca verim yönünden (çeşit x yıl) interaksiyonun önemsiz olduğunu, korelasyon analizi sonucuna göre; çiçeklenme gün sayısı ile bitki boyu ve ilk bakla yüksekliği, ilk bakla yüksekliği ile bitki boyu, olgunlaşma gün sayısı ile bitki boyu ve ilk bakla yüksekliği, olgunlaşma gün sayısı ile çiçeklenme gün sayısı arasında çok önemli ve pozitif ilişki saptandığını rapor etmişlerdir.

Agrawal ve diğ. (2018), normal ekim koşullarında; ana dal sayısı, ikincil dal sayısı, biyolojik verim, hasat indeksi, 100 tane ağırlığı ve olgunlaşmaya kadar geçen sürenin tane verimi ile anlamlı ve pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Sözen ve Karadavut (2018), Kırşehir çevresinden topladıkları 58 adet yerel nohut genotipi ve tescilli 4 çeşit ile 2016 ve 2017 yıllarında iki yıl süre ile bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın iki yıllık ortalama sonuçlarına göre; bitki başına tane veriminin 3.17 g ile 13.91 g arasında değiştiği görülürken, bitki boyunun 29-42.5 cm, ilk bakla yüksekliğinin 8.5-26 cm, ana dal sayısının 1.35-3.51 adet, bitkide bakla sayısının 8-32 adet, bitkide tane sayısının 7.5-29.5 adet ve 100 tane ağırlığının 26.70-47.00 g arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada, ayrıca bitki başına tane verimi ile

olumlu ve önemli ilişkileri tespit edilen öğelerin, bitkide tane sayısı ($r=0.498^{**}$), bitkide bakla sayısı ($r=0.658^{**}$) ve yüz tane ağırlığı ($r=0.549^{**}$) olduğunu, bunun yanında tane verimi ile bitki boyu arasında ($r=-0.447^{**}$) negatif ancak önemli ilişkiler olduğunu rapor etmişlerdir.

Gürbak (2019), Kahramanmaraş ekolojik şartlarında nohutta verim ve verim öğeleri yönünden genetik farklılıklarını ve ilerlemelerini incelemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada elde edilen değerler; bitki boyu 62.87-70.30 cm, ilk bakla yüksekliği 25.73-31.20 cm, bitkide birincil dal sayısı 3.27-4.40 adet/bitki, bitkide bakla sayısı 25.73-41.40 adet/bitki, birim alan tane verimi 236.67-331.30 kg/da, yüz tane ağırlığı 42.80-49.73 g olarak elde edilmiştir. Ele alınan karakterler arasındaki ilişkilere bakıldığında, birim alan tane verimi ile yüz tane ağırlığı ($r=0.46^{*}$) ve bitki boyu ($r=0.39^{*}$) arasında olumlu ve önemli ilişki belirlenirken, bunun yanında yüz tane ağırlığı ile bitki boyu arasında ($r=0.52^{**}$) ve ilk bakla yüksekliği ile bitkide bakla sayısı arasında ($r=0.64^{**}$) olumlu ve önemli ilişki tespit edildiğini bildirmiştir.

Yadav ve diğ. (2020), iki yıl boyunca yürüttükleri çalışmalarının sonucunda; hasat indeksi, biyolojik verim, ikincil dal sayıları ve çiçeklenme günlerinin verimin iyileştirilmesi açısından dikkate alınabilecek önemli karakterler olduğunu belirtmişlerdir.

KAYNAKLAR

- Agrawal, T., Kumar, A., Kumar, S., Kumar, A., Kumar, R.R., Kumar, S., Singh, P.K., 2018, Correlation and Path Coefficient Analysis for Grain Yield and Yield Components in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Under Normal and Late Sown conditions of Bihar, India, *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 7(2): xx-xx
- Anonim, (2020a), biruni.tuik.gov.tr/medas
- Anonim, (2020a), Kırşehir Meteoroloji Müdürlüğü.
- Astereki, H., Sharifi, P., Pouresmael, M., 2017, Correlation and Path Analysis For Grain Yield and Yield Components in Chickpea (*Cicer arietinum* L.).- *Genetika*, Vol 49, No. 1, 273 - 284.
- Babaoğlu, M., 2003. Nohut ve Tarımı (*Cicer arietinum* L.). <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Nohut-ve-Tarimi.pdf> Erişim tarihi: 04.06.2021
- Banik, M., Deore, G.N., Mandal, A.K., Shah, P., 2017, Selection Of Yield Contributing Traits In Chickpea Genotypes by Correlation and Path Analysis Studies, *The Pharma Innovation Journal*; 6(11): 402-405.
- Bayrak, H., Keleş, R., İmriz, G., 2015, Determination of Some Characteristics Related to Yield Components of Advanced Breeding Chickpea Lines and Varieties in Konya Ecological Conditions, *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 4 (2):32-37, ISSN: 2148-3205.
- Bayrak, H., Önder, M., 2017, Konya Ekolojisinde Tarımı Yapılan Yerel Nohut Popülasyonları ve Çeşitlerinin (*Cicer arietinum* L.) Tarımsal, Teknolojik ve Besinsel Karakterlerinin Belirlenmesi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (Özel Sayı): 52-61
- Beysarı, V., 2012, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Bingöl Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bıçaksız, Y., 2010, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Orta Anadolu Koşullarına Adaptasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demir I. 2020. Inter and intra row competition effects on growth and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under rainfed conditions. *J. Anim. Plant Sci* 30, 147-153

- Doğan, Y., Oral, E., Çiftçi, V., Kendal, E., 2017, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Özellikler Arası Korelasyon ve Path Analizi, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. 7(3): 279-284.
- Düzdemir, O., 2016, Kışlık ve Yazlık Yetiştirilen Nohut (*Cicer arietinum* L.)'ta Ekim Zamanlarına Göre Bitkide Tane Verimi ile Bazı Bitkisel Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (Özel sayı-1):206-21.
- Gaur, P.M., Tripathi, S., Gowda, C.L.L., Ranga Rao, G.V., Sharma, H.C., Pande, S., Sharma, M., 2010, Chickpea Seed Production Manual. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 28 pp.
- Gülümser, A., 2016, Dünyada ve Türkiye'de Yemelik Dane Baklagillerin Durumu, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (Özel sayı-1):292-298.
- Gürbak, D., 2019, Nohutta Verim ve Verim Unsurları Yönünden Genetik Değişimin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jivani, J.V., Mehta, D.R., Vaddoria, M.A., LataRaval, 2013, Correlation and Path Coefficient Analysis in Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Electronic Journal of Plant Breeding, 4(2): 1167-1170.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. II.Bitki Analizleri. Ankara Üniv. Zir. Fak. Eğt. Araş. Yay. No: 453, Ankara. 255 s.
- Karakan Kaya, F., 2014, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Elazığ Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Khan, H., Latif, A., Mahmood, S., Khan, M.S.S., 2006, Effect of Nipping at Various Stages on Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Journal of Research (Science), Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan. Vol.17, No.4, October 2006, pp. 235-240.
- Kobraee, S., Shamsi, K., Rasekhi, B., Kobraee, S., 2010, Investigation of correlation analysis and relationships between grain yield and other quantitative traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.), African Journal of Biotechnology Vol. 9(16), pp. 2342-2348.

- Kumar, K., Sardana, S., Singh, M., Gautam, N.K., 2016, Management of Germplasm Collections in Chickpea, International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB), Vol-1, Issue-3, Sept-Oct. ISSN: 2456-1878.
- Malik, S.R., Bakhsh, A., Asif, M.A., Iqbal, U., Iqbal, S.M., 2010, Assessment of Genetic Variability and Interrelationship among Some Agronomic Traits in Chickpea, International Journal Of Agriculture & Biology Issn Print: 1560-8530; Issn Online: 1814-9596 09-219/Sbc/2010/12-1-81-85.
- Özveren, Yücel, D., Anlarsal, A.E., Yücel, C., 2006, Genetic Variability, Correlation and Path Analysis of Yield, and Yield Components in Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Turk J Agric For 30, 183-188.
- Padmavathi, P.V., Sreemannarayana Murthy S., Satyanarayana Rao, V., Lal Ahamed, M., 2013, Correlation And Path Coefficient Analysis In Kabuli Chickpea (*Cicer arietinum* L.), International Journal Of Applied Biology And Pharmaceutical Technology, Volume-4 Issue-3 Page, 107-110.
- Singh, I. S., M. A. Hussain and A. K. Gupta., 1995. Correlation studies among yield and yield contributing traits in F2 and F3 chickpea populations. ICPN, 2: 11-13.
- Singh, K. B., G. Bejiga and R. Malhotra, 1990. Associations of Some Characters with Seed Yield in Chickpea Collections. Euphytica, 49: 83-88.
- Singh, S., Singh, I., Kapoor, K., Gaur, P.M., Chaturvedi, S.K., Singh, N.P., Sandhu, J.S., 2014, Chickpea, Broadening the Genetic Base of Grain Legumes, pp 51-73
- Sözen, Ö., Karadavut, U., 2018, Yerel Nohut Genotiplerinde Erken Generasyon Döneminde Tane Verimi ve Verim Komponentleri İçin Seleksiyon Üzerine Bir Araştırma, Uluslararası Katılımlı Türkiye 6. Tohumculuk Kongresi, 10-13 Eylül 2018, Niğde.
- Steel, R.G., Torrie, J.H., 1960. Principles and procedures of statistics. Mc-Oraw-Hill Book Comp. Inc. New York.
- Şahiner A, İ Demir, 2020.Kırşehir ekolojik koşullarında bazı şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin

- belirlenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences* 10 (2), 71-75
- Şehirli, S., 1988, Yemeklik Tane Baklagiller, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1089, Ders Kitabı 314.
- Tekatl, M., Kılınç, C., Çınkır, M.A., 2017, Bazı Kışlık Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hatlarında Bazı Tarımsal Karakterlerin ve Karakterler Arası İlişkilerin Belirlenmesi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (Özel Sayı): 138–141.
- Ünlüyurt E, İ Demir 2020. Farklı azot dozlarının Kırşehir sulu şartlarında yağlık ayçiçeğinde verim ve verim öğelerine etkileri. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences* 10 (2), 65-70
- Walton, P. D., 1980. The production characteristics of *Bromus inermis* Leyss. and their inheritance. *Adv. Agron.*, pp. 341-369.
- Yaşar, M., 2010, Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hat ve Çeşitlerinin Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, İ., 2006, Uygun Çeşit Geliştirmek Üzere Seçilen Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genotiplerin Performanslarının Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yucel D. O. And Anlarsal A. E., 2010. Determination Of Selection Criteria With Path Coefficient Analysis In Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) Breeding *Bulgarian Journal Of Agricultural Science*, 16 (No 1) 2010, 42-48
- Zafarani, M., (2015), Evaluating Yield and Yield Components of Chickpea Genotypes in Autumn Cultivation under Complementary Irrigation Regime and Winter Sowing in Mashhad, *Agriculture Science Developments*, Vol(4), No (2), pp. 11-15.
- Zeren, Y., Özcan, T., Işık, A. 1991. Nohut hasat ve harman mekanizasyonu üzerinde bir araştırma. *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık dergisi*, 15:215-223

BÖLÜM 10

ÇUKUROVA KOŞULLARINDA İNCİ DARI (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) GENOTİPLERİNİN BAZI AGROMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA*

Prof. Dr. Rüştü HATİPOĞLU¹
Zir. Yük. Müh. Zeyni DAĞTEKİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16778685>

*Kitap bölümü Zir.y.Müh. Zeyni DAĞTEKİN'in Yüksek Lisans tezinin bir bölümünü içermektedir.

¹⁾ Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Kırşehir, Türkiye. rustu.hatipoglu@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7977-0782

²⁾ Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Adana, Türkiye, dagtekinzeyni@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-3342-317

1.GİRİŞ

Ülkemizde insanlarımızın satın alma güçlerine uygun hayvansal gıda maddeleri üretimi yapılamamaktadır. Bu nedenle, ülkemiz insanları sağlık beslenmenin temelini oluşturan hayvansal gıda maddelerini yeterince tüketememektedir. Bu durum, hayvancılığımızın karşı karşıya bulunduğu sorunlardan kaynaklanmaktadır. Hayvancılığımızın genotip, barınma, sağlık gibi çok farklı sorunları bulunması yanında en önemli sorunu hayvanlarımızın ekonomik olarak yeterince beslenememeleri oluşturmaktadır.

Hayvancılık işletmelerinde üretim maliyetlerinin % 60-70'ini yem girdilerinin oluşturması yem maliyetinde yapılacak iyileştirmenin hayvansal gıda maddeleri üretim maliyetindeki etkisini açıklamaya yeterlidir (Alçıçek, 1995; Alçıçek ve Karaayvaz, 2002). Hayvancılığımızın yem sorunlarının çözümü sadece yoğun/kesif yem kaynaklarında değil, aynı zamanda kaliteli kaba yem kaynaklarımızın yetersizliğinde aranmalı ve yem bitkileri tarımımızın yapısal ve ekonomik özellikleri incelenerek çözümler oluşturulmalıdır.

Ülkemiz hayvancılığının karlılığını artırmak için hayvancılık işletmelerinin kaliteli kaba yem gereksiniminin karşılanması gerekir. Bunun için de çayır-meraların ıslahı, yem bitkisi üretim alanlarının artırılması, ucuz ve alternatif diğer kaba yem kaynaklarının hayvansal üretime kazandırılması ve kaliteli kaba yem üretim tekniklerinin üreticilere aktarılması gerekmektedir (Serin ve Tan, 2001; Yolcu ve Tan, 2008).

Tarımsal üretim içerisinde çok önemli bir yere sahip olan yem bitkileri tarımı, bitkisel ve hayvansal üretimin de sigortası konumunda olup, sürekli ve güvenli kaba yem üretiminin en önemli yoludur (Açıkgöz, 2001; Açıkgöz ve ark., 2005).

Yem üretiminde üretim faaliyetini sınırlayan yemin kıt olduğu dönemler vardır. Mera tesisinde karışımında yer alabilecek türler belirlenirken yemin eksik olduğu dönemlerde yeşil otlatma dönemini uzatabilecek, ek yemleme dönemini azaltacak türlerin karışımında yer alması gerekmektedir (Altın ve ark. 2005). Buna göre serin mevsim yembitkileri ile birlikte sıcak mevsim yembitkilerinin karışımlarda yer almasıyla otlatmada yeşil yem dönemi uzatılabilecektir.

Akdeniz ikliminin hakim olduğu sahil kesimlerinde ortalama yaz sıcaklıkları Haziran ayı itibarıyla 25 °C' yi geçmekte ve bu dönem içerisinde serin mevsim yembitkisi türleri uzun süre dormant duruma geçmektedir.

Bugüne kadar yürütülen araştırmalarda; bölgede serin dönemde yetiştirilebilecek bir ve çokyıllık yembitkileri türlerinin saptanmasına yönelik araştırmalar sürdürülmüş olmasına karşılık, sıcak dönemde yetiştirilebilecek yembitksi türleri mısır ve sorgum ile sınırlı kalmıştır.

Ülkemizde Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde sıcak ve kurak yaz döneminde yetiştirilebilecek alternatif yembitkileri grubundan birisi de darılardır. "Darı" terimi, genel olarak birtakım küçük tohumlu biryıllık ot türünü ifade etmek için kullanılır (ICRISAT, 1996). Dünyanın kurak ve yarı kurak tropik bölgelerindeki milyonlarca insanın temel gıdalarındır ve çoğu Asya ve Afrika ülkesinde ve Avrupa'nın bazı bölgelerinde tarımı yapılmaktadır.

Buğdaygiller (Poaceae) familyasında iki oymağa ait (Paniceae ve Chlorideae) çok çeşitli darı türleri mevcuttur. Darı, buğdaygil ailesine ait bir tahıl ürünüdür (FAO, 2011). Darılar ilk kültüre alınan bitkiler arasında olup, binlerce yıldan beri yetiştirilmektedir. Darılar Afrika ve Asyada insanların beslenmesinde kullanılan ana gıdalardan birisi olmalarına karşılık batı ülkelerinde insan gıdası olarak önemleri çok azdır.

Dünyada yaygın olarak yetiştirilen beş darı türü mevcut olup bunlar: *Setaria italica* (cin darı), *Pennisetum glaucum* veya *Pennisetum typhoideum* (inci darı), *Eleusine coracana* (Afrika darısı), *Echinochloa frumentacea* (Japon tavuk darısı) ve *Panicum miliaceum* (kumdarı)'dır (Baltensperger, 1996; Lorenz, 1983).

Darılar çok farklı iklim ve toprak şartlarında yetiştirilebilmeleri ve büyüme periyotlarının kısa olması sebebiyle kurak ve yarı kurak bölgelerde özel öneme sahiptir. Bununla beraber Batı dünyasında esasen kuş yemi, çiftlik hayvanları yemi veya hızlı geliştikleri için tarlada ekili bitkinin zarar görmesi halinde, zararı azaltmak, acil yem ihtiyacını karşılamak amacıyla sigorta bitkisi olarak yetiştirilirler(Baltensperger,1996; Schery,1972).

Darılar ülkemizin batı bölgelerinde buğday hasadından sonra ikinci ürün olarak yetiştirilmektedir. Yaz aylarında tahıl hasadından sonra ikinci ürün olarak ekilerek kullanılırlar. Kısa gelişme süresine sahip oldukları için bazı yörelerimizde “kırk günlük darı” olarak adlandırılırlar. Sıcak yaz aylarında hızlı bir gelişme ile kısa zamanda kaliteli kaba yem üretirler.(Aghtape et al., 2012; Serin ve Tan, 2014).

Bazen tarım arazilerinde çeşitli sebeplerden dolayı ekimlerin yapılması gecikmekte veya ekilen ürünün iptal edilip tarlaya yeni ürün ekilmesi

gerekmektedir. Sıcak yaz aylarının başlangıcına rastlayan bu dönemden sonra serin mevsim bitkileri yeterince verim verememektedir(Temel ve Tan, 2002). Bu dönemde yetiştirilecek kısa vejetasyon süresine sahip bitki türlerine ihtiyaç vardır. Bu kapsamda düşünüldüğünde hızlı gelişme özelliğine sahip darılar ilk akla gelen bitkilerdir. Darılar Ot üretiminde ve geçici rotasyon meralarının tesisinde kullanıldığı gibi, tane yem elde etmek için de yetiştirilmektedirler (Serin ve Tan, 2014).

Bu araştırmada, Akdeniz iklimin hakim olduğu bölgelerde yaz döneminde yetiştirilebilecek bir yıllık sıcak mevsim buğdaygil yembitkisi türlerinden inci darı (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.)nın bazı genotiplerinin Çukurova koşullarındaki performansları araştırılmıştır.

3.MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1. Denemede Kullanılan Bitki Materyali

Bu araştırmada Uluslar Arası Yarı Kurak Tropik Bölge Tarımsal Araştırma Enstitüsünden (ICRISAT) temin edilen inci darısı (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) türünün 11 genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Söz konusu materyal listesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo.1 Araştırmada incelenen genotipler

Genotip No	Genotip Kodu
1	IP 22449
2	IP 20274
3	IP 19141
4	IP 21066
5	IP 11010
6	IP 9934
7	IP 19305
8	IP 21201
9	IP 4363
10	IP 15829
11	IP 2068

3.1.2. Deneme Yeri ve Yılı

Bu araştırma, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Araştırma ve Uygulama Alanında, Haziran-Ekim 2017 döneminde yürütülmüştür.

3.1.2.1. Deneme Yerinin Toprak Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü deneme alanında deneme öncesi 0-15 ve 15- 30 cm toprak derinliğinden alınan toprak örneklerinde yapılan analiz sonuçları Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneme alanı topraklarının bazı özellikleri (*)

Toprak Derinli k	pH	EC 1:2.5	N %	OC %	P (mg/kg)	CaCO ₃ %	Kum %	Silt %	Kil %	Tekstur Sınıfı
0-15	7.38	0.24	0.18	0.90	0.76	34.0	28	42	30	CL
15-30	7.51	0.27	0.11	0.80	0.70	33.0	24	43	33	CL

* Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü Laboratuvar Analiz Sonuçları

Deneme alanı toprakları Arıklı toprak serisi olup, 0-15 ve 15-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda; pH'nın 7.38-7.51 arasında, toplam tuz %0.24-0.27, N % 0.11-0.18, organik karbon (OC) % 0.80-0.90, fosfor (P) 0.70-0.78 mg/kg, kireç içeriği (CaCO₃) %33.5-34.0, kum; %24-28, silt % 42-43, kilin ise %30-33 arasında değiştiği ve toprak tekstür sınıfının killi-tın (CL) yapısında olduğu saptanmıştır (Tablo 3.2).

3.1.2. 2. Deneme Yerinin İklim Özellikleri

Denemenin yürütüldüğü Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün bulunduğu Adana ilinde tipik Akdeniz iklimi hakim olup,, kışları ılık ve yağışlı, yaz dönemi sıcak ve kurak geçmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü araştırma lokasyonu için Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan deneme dönemi ve bu dönemle ilgili uzun yıllar ortalaması minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri ile aylık toplam yağış ve nisbi nem değerleri Tablo 3. 'de verilmiştir.

Tablo 3.Adana ili denemenin yürütüldüğü dönem ve bu dönemle ilgili uzun yıllar ortalaması bazı iklim değerleri

Ay	Ortalama Sıcaklık (°C)		Toplam Yağış (mm)		Nisbi Nem (%)	
	Uzun Yıllar	2017	Uzun Yıllar	2017	Uzun Yıllar	2017
Haziran	25.5	26.2	20.5	17.3	67.0	69.1
Temmuz	28.0	30.4	6.3	-	69.8	64.4
Ağustos	28.4	29.9	5.6	-	69.7	67.5
Eylül	25.8	27.8	17.9	11.2	64.6	66.1
Ekim	21.8	22.2	42.7	44.3	61.0	54.1
Ortalama	25.2	26.7			66.5	65.0
Toplam			140.3	116.7		

Kaynak: Adana Meteoroloji İşleri Bölge Müdürlüğü, Adana, 2017.

Tablo 3'ün incelenmesinden aylık ortalama sıcaklık değerlerinin deneme yılında uzun yıllar ortalamasından daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Araştırmanın yürütüldüğü dönemde deneme alanına düşen toplam yağış miktarı (116.7 mm) uzun yıllar ortalamasına (140.3) göre daha düşük olmuştur. Deneme yılında aylara göre nisbi nem değeri Haziran ve Eylül ayı dışında uzun yıllar ortalamalarından daha düşük seyretmiştir.

3.2. Metod

3.2.1. Deneme deseni, ekim ve bakım işlemleri

Denemede; İnci darı (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) genotipleri sıra arası 75 cm sıra üzeri 30 cm olacak şekilde 5 m uzunluğundaki sıralara birer sıra halinde ekilmiştir. Ekim işlemi 15 Haziran 2017 tarihinde yapılmıştır. .

Ekimden önce deneme alanı pullukla sürülmüştür. Daha sonra goble-disk çekilerek kesekler parçalanmıştır. Sonra parselleme yapıp, ekimden önce parsellerin tesviyesi tırmıkla yapılarak, taş ve kesekler uzaklaştırılmış ve el markörü çekilerek çiziler oluşturulmuştur.

Denemede parsellere dekara 25 kg saf azot, 10 kg P₂O₅ ve 10 kg K₂O olacak şekilde gübreleme yapılmıştır. Azotun yarısı ile fosfor ve potasyumun tamamı ekimle birlikte tabana, azotun diğer yarısı da bitkiler 20-25 cm boya ulaştığında sıra aralarına uygulanmıştır. Ekim, tavlı toprağa yapılmış, çıkış için bir müddet yağmurlama sulama yapılmıştır. Bitkilerin çıkışından sonra damla sulama sistemi ile sulamaya devam edilmiştir.

3.2.2. İncelenen Özellikler ve Yöntemleri

3.2.2.1. Bitki Boyu (cm)

Her genotipe ait parselde tesadüfi olarak seçilen 5 bitkide toprak yüzeyinden, bitkinin en uç noktasına kadar olan kısım ölçülmüştür .

3.2.2.2. Yeşil Ot Verimi (g/bitki)

Denemede hasat bitkilerin salkım çıkarma döneminde yapılmıştır. İncelenen genotipler farklı zamanlarda hasat olgunluğuna eriştiği için, genotiplerin hasat zamanları farklılık göstermiştir. Hasat 07.08.2017-17.10.2107 tarihlerinde yapılmıştır.

Her genotipe ait parselde bitkilerin salkım çıkardığı dönemde tesadüfi olarak seçilen 5 bitki toprak yüzeyinden biçilmiş ve her bitkiden hasat edilen ot ayrı ayrı tartılmıştır.

3.2.2.3. Kardeş Sayısı

Her genotipte yeşil ot verimi belirlenen 5 bitkide kardeş sayısı sayılmıştır.

3.2.2.4. Yaprak Sayısı

Her genotipte yeşil ot verimi belirlenen 5 bitkide ana saptaki yaprak sayısı sayılmıştır.

3.2.2.5. Kuru Ot Verimi/Bitki

Her genotipte yeşil ot verimi belirlenen 5 bitkide saplar üzerindeki yapraklar yaprak kınından koparılmış ve saplar ve yapraklar ayrı ayrı tartılmıştır. Her bitkide yeşil ağırlığı belirlenen yaprak ve saplar etüvde 70 °C’ de kurutularak ayrı ayrı kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Her bitkide saptanana kuru yaprak ağırlığı ve kuru sap ağırlığının toplamı söz konusu bitki için kuru ot verimi olarak hesaplanmıştır.

3.2.2.6. Yaprak Oranı (%)

Her genotipte kuru yaprak ve sap ağırlıkları belirlenen 5 bitkinin her birinde kuru yaprak ağırlığı kuru ot verimine oranlanarak söz konusu bitki için yaprak oranı hesaplanmıştır.

3.2.2.7. Kuru Madde Oranı (%)

Her genotipin 5 bitkisinin her birinin kuru yaprak ve sapları 1 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütüldükten sonra, öğütülmüş yaprak ve sap örneklerinden alınan 5'er gram örnek 105°C'ye ayarlı etüvde 24 saat kurutulduktan sonra desikatörde soğutularak hassas terazide tartılmış ve örnekleri kuru madde içerikleri % olarak belirlenmiştir.

3.2.2.8.Kuru Maddede Kalite Özelliklerinin Saptanması

Her genotipe ait 5 bitkinin her birine ait 1 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülmüş yaprak ve sap örneklerinde C-0904FE-Hay and Fresh Forage kalibrasyonu kullanılarak The Foss XDS NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) analiz cihazıyla saptanmıştır. Her bitkinin yaprak ve sapı için saptanan ham protein, ADF, NDF, P, Ca, Mg, K oranı değerleri kuru madde oranlarından yararlanılarak yaprak ve saptaki kuru madde esasına göre ham protein oranı hesaplanmıştır. Yaprak/sap oranı değerleri ile yaprak ve saptaki ham protein oranı değerlerinden yararlanılarak tüm bitkinin kuru maddesindeki ham protein oranı hesaplanmıştır.

3.2.3. Denemeden Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Her genotipte 5 bitkiden elde edilen verilere 5 tekrarlamalı tesadüf parselleri deneme desenine (Yurtsever, 2011) göre varyans analizi uygulanmıştır. İstatistiksel olarak önemli çıkan özellik ortalamaları Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, incelenen özellikler arasındaki ikili ilişkiler korelasyon katsayıları belirlenerek saptanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.4.1. Bitki Boyu(cm)

İncelenen inci darısı genotiplerinde saptanan bitki boyu değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin bitki boyu açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen inci darısı genotiplerinde saptanan bitki boyu ortalamaları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan bitki boyu ortalamaları (cm)

Genotip No	Genotip Kodu	Bitki Boyu (cm)
1	IP 22449	174.0 e ¹
2	IP 20274	354.0 bc
3	IP 19141	381.0 ab
4	IP 21066	286.2 cd
5	IP 11010	389.0 ab
6	IP 9934	438.0 a
7	IP 19305	350.4 bc
8	IP 21201	254.4 d
9	IP 4363	323.8 b-d
10	IP 15829	449.0 a
11	IP 20768	400.0 ab
Ortalama		345.44

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama bitki boyu 174 cm ile 449 cm arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

10 nolu ve IP 15829 kodlu genotip 449 cm bitki boyu ile 1,2,4 ve 7 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bitki boyu göstermiştir. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip ise 174 cm bitki boyu ile 3,6,10 ve 11 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük bitki boyu göstermiştir.

Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan bitki boyu değerleri; İzge ve ark. (2007)'nin Nijerya'da 10 inci darısı genotipi ile sürdürdükleri araştırmada saptadıkları 137.4-218.7 cm, Govindaraj ve ark. (2011)'nin Hindistan'da 61 inci darısı genotipi ile yürüttükleri araştırmada saptadıkları 149-250 cm, Shah ve ark. (2012)'nin Pakistan'da 27 inci darısı genotipi ile yürüttükleri araştırmada saptadıkları 143-227 cm, Asungre (2014)'nin Uganda'da 45 inci darısı genotipi ile yürüttüğü araştırmada saptadığı erkenci genotipler için 159.8, orta erkenci genotipler için 341.3 cm ve geçici genotipler için 318.5 cm, Pucher ve ark. (2015)'nin batı ve orta Afrika'da 360 inci darısı genotipi ile yürüttükleri araştırmada saptadıkları 129-293 cm,

Angarawai (2016)'nin Nijerya'da 173 inci darısı genotipi ile yürüttüğü araştırmada saptadığı 168-377 cm ve Pattanashetti ve ark (2016)'nın 21461 inci darısı genotipinde saptadıkları 30-490 cm bitki boyu değerleri ile uyumludur.

4.4.2. Kardeş sayısı

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan kardeş sayısı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin kardeş sayısı açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen inci darısı genotiplerinde saptanan kardeş sayısı ortalamaları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan kardeş sayısı ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Kardeş Sayısı
1	IP 22449	13.2 ab ¹
2	IP 20274	8.2 c
3	IP 19141	8.4 c
4	IP 21066	15.2 a
5	IP 11010	11.6 b
6	IP 9934	11.0 b
7	IP 19305	6.4 cd
8	IP 21201	7.2 cd
9	IP 4363	5.4 d
10	IP 15829	6.2 cd
11	IP 20768	5.6 d
Ortalama		8.9

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama kardeş sayısı 5.4 ile 15.2 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 4 nolu ve IP 21066 kodlu genotip bitki başına 15.2 kardeş sayısı ile 2,3,5,6,7,8,9,10 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek kardeşlenme göstermiştir. 9 nolu ve IP 4363 kodlu genotip ise bitki başına 5.4 kardeş sayısı ile 4 ve 1 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük kardeşlenme göstermiştir.

Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan kardeş sayısı değerleri; İzge ve ark. (2007)'nin Nijerya'da 10 inci darısı genotipinde saptadıkları 1.7-2.3 ve Shah ve ark. (2012)'nin Pakistan'da 27 inci darısı

genotipinde saptadıkları 0-3 adet bitki başına kardeş sayısı değerlerinin üzerindedir. Buna karşılık, Abd-El-Lattief,(2011)'in Benin'de farklı ekim zamanları ve gübreleme rejimleri ile yetiştirdiği inci darısında birinci biçimde saptadığı 9.2-11.4 adet, Govindaraj ve ark. (2011)'nın Hindistanda 61 inci darısında saptadıkları 2.65-515 adet, Upadhyaya ve ark. (2013)'nın Hindistan'da 333 inci darsı genotipinde saptadığı 16-609 adet, Asungre (2014)'nin Gana'da 45 inci darısı genotipinde saptadığı 6-8 adet, Anthoni ve ark. (2016)'nın Hinsitan'da 243 inci darısı genotiopinde saptadıkları 0.55-6.4 adet Pattanashetti ve ark. (2016)'nın 21461 inci darsı genotipinde saptadıkları 1-35 adet, Rahal-Bouziane ve Semiani (2016)'nin Cezayir'de 16 inci darısı genotipinde saptadıkları 5.3-12.5 adet ve Medici ve ark. (2018)'nin Brezilya'da 3 inci darısı genotipinde saptadığı 3.9-4.9 adet bitki başına kardeş sayısı değerleri bu araştırmada saptanan bitki başına kardeş sayısı değerleri ile uyumludur.

4.4.3 Yaprak Sayısı/Anasap

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan ana sapta yaprak sayısı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin ana sapta yaprak sayısı açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncenen İnci darısı genotiplerinde saptanan kardeş sayısı ortalamaları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6.Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan yaprak sayısı/ana sap ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Yaprak Sayısı/Ana Sap
1	IP 22449	8.4 f ¹
2	IP 20274	22.2 a
3	IP 19141	18.4 bc
4	IP 21066	14.0 de
5	IP 11010	21.4 ab
6	IP 9934	19.2 a-c
7	IP 19305	16.8 cd
8	IP 21201	12.4 e
9	IP 4363	12.8 e
10	IP 15829	22.2 a
11	IP 20768	20.8 ab
Ortalama		17.15

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama ana sapt yaprak sayısı 8.4 ile 22.2 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 2 nolu ve IP 20274 kodlu genotip 22.2 ana sapt yaprak sayısı ile 1,3,4,7,8 ve 9 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek anasapta yaprak sayısı göstermiştir. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip ise 8.4 ana sapt yaprak sayısı ile 2,5,10 ve 11 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük ana sapt yaprak sayısı göstermiştir.

Araştırmada incelenen genotiplerde saptanan ana sapt yaprak sayısı değerleri; Izge ve ark. (2007)'nın Nijerya'da 10 inci darısı genotipinde saptadığı 10.2-19 adet, Abd-El-Lattief (2011)'ın Benin'de farklı ekim zamanı ve farklı gübre rejimlerinde yetiştirdiği inci darısında birinci biçimde saptadığı 6.9-9.7 adet ve Shah ve ark. (2012)'nin Pakistan'da 27 inci darsı genotipinde saptadığı 11-15 adet ana sapt yaprak sayısı değerleri ile uyumludur.

4.4.4 Yeşil ot verimi/Bitki (gr)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan yeşil ot verimi/bitki (gr) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin yeşil ot verimi/bitki (gr) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan yeşil ot verimi/bitki (gr) ortalamaları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7.Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan yeşil ot verimi /bitki ortalamaları (gr)

Genotip No	Genotip Kodu	Yeşil ot verimi/Bitki (gr)
1	IP 22449	1562.0 c ¹
2	IP 20274	5905.0 ab
3	IP 19141	4327.0 a-c
4	IP 21066	5107.6 a-c
5	IP 11010	5541.0 ab
6	IP 9934	7808.0 a
7	IP 19305	5811.4 ab
8	IP 21201	2203.8 bc
9	IP 4363	2328.0 bc
10	IP 15829	5940.0 ab
11	IP 20768	5714.0 ab
Ortalama		4749.816

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde bitki başına ortalama yeşil ot verimi 1562.0 ile 7808.0 gr arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 6 nolu ve IP 9934 kodlu genotip 7808.0 gr yeşil ot verimi/ile 1,8 ve 9 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek yeşil ot verimi vermiştir. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip ise 1562.0 gr yeşil ot verimi ile 2,5,6,7,10 ve 11 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük yeşil ot verimigöstermiştir.

4.4.5 Kuru Ot Verimi/Bitki (gr)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan Kuru ot verimi(gr) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin kuru ot verimi/bitki(gr) değerleri açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan kuru ot verimi/bitki(gr) ortalamaları Tablo 8’de verilmiştir.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde bitki başına ortalama kuru ot verimi/ 498.8 ile 2869.9 gr arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 7 nolu ve IP 19305 kodlu genotip bitki başına 2869.9 gr kuru ot verimi/ile 1,8 ve 9 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek kuru ot verimi vermiştir. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip ise 498.8 gr kuru ot verimi ile 2,6,7 ve 11 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük kuru ot verimi vermiştir.

Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan bitki başına kuru ot verimi değerleri ; Winkel ve ark (1997)’nın Niger’de yürüttükleri araştırmada normal sulama koşullarında suladıkları bitkilerde saptadıkları bitki başına 144 gr kuru madde değerinin çok üzerindedir. Bu duruma neden olarak, araştırmalar arasındaki yürütüldükleri ekolojik koşullar, test edilen genotip ve uygulanan yetiştirme tekniği farklılıkları gösterilebilir.

Tablo 8. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan kuru ot verimi/bitki(gr) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Kuru ot verimi/Bitki(gr)
1	IP 22449	498.8 c ¹
2	IP 20274	2790.9 a
3	IP 19141	1925.0 a-c
4	IP 21066	1696.0 a-c
5	IP 11010	1723.5 a-c
6	IP 9934	2539.3 ab
7	IP 19305	2869.9 a
8	IP 21201	528.3 c
9	IP 4363	1045.7 bc
10	IP 15829	1814.6 a-c
11	IP 20768	2206.0 ab
Ortalama		1785.3

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

4.4.6 Yaprak Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan yaprak oranı(%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin yaprak oranı(%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan yaprak oranı(%) ortalamaları Tablo 9’’da verilmiştir.

Tablo 9. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan yaprak oranı(%) değerleri

Genotip No	Genotip Kodu	Yaprak Oranı(%)
1	IP 22449	28.9 b ¹
2	IP 20274	13.0 fg
3	IP 19141	12.6 g
4	IP 21066	43.7 a
5	IP 11010	20.9 cd
6	IP 9934	17.2 d-f
7	IP 19305	29.0 b
8	IP 21201	24.7 c
9	IP 4363	13.5 e-g
10	IP 15829	17.6 de
11	IP 20768	12.0 g
Ortalama		21.2

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama yaprak oranı %12.0 ile % 43.7 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 4 nolu ve IP 21066 kodlu genotip % 43.7 yaprak oranı(%) ile 1,2,3,5,6,7,8,9,10 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek yaprak oranı göstermiştir. 11 nolu ve IP 20768 kodlu genotip ise % 12.0 yaprak oranı(%) ile 1,4,5,6,7,8 ve 10 incelenen diğer genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük yaprak oranı(%) göstermiştir.

Araştırmada incelenen genotiplerde saptanan yaprak oranı değerleri; Winkel ve ark. (1997)'nın Niger'de normal sulanan koşullarda yetiştirilen inci darısında saptadığı % 31.3 yaprak oranı değeri ile uyumludur.

4.4.7 Kuru Maddede Ham Protein Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan ham protein oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotipler arasında ham protein oranı (%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık olduğunu göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan ham protein oranı (%) ortalamaları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan ham protein oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Ham Protein Oranı (%)
1	IP 22449	14.4 a ¹
2	IP 20274	9.5 de
3	IP 19141	11.9 bc
4	IP 21066	13.5 ab
5	IP 11010	4.3 f
6	IP 9934	5.1 f
7	IP 19305	9.5 c-e
8	IP 21201	11.5 b-d
9	IP 4363	7.6 e
10	IP 15829	4.7 f
11	IP 20768	4.5 f
Ortalama		8.8

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama ham protein oranı (%) 4.3 ile 14.4 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip % 14.4 ham protein oranı ile 4 nolu genotip dışındaki diğer genotiplerden 2 istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek ham protein oranı göstermiştir. 5 nolu ve IP 11010 kodlu genotip ise % 4.3 ham protein oranı ile 1,2,3,4,7,8,9 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük ham protein oranı göstermiştir. Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan ham protein oranı değerleri; Weichenthal ve ark. (2003)'nın Nebraska'da kuru koşullarda yetiştirilen inci darı ot kuru maddesi için saptadıkları % 15.3 ve sulu koşullarda yetiştirilen inci darı ot kuru maddesinde saptadıkları % 11.3, Abd-El-Lattief (2011)'in Niger'de yürüttüğü araştırmada birinci biçimde % 9.3-9.6, ikinci biçimde % 7.4-% 8.0 ve üçüncü biçimde % 7.4-% 7.5 olarak saptadığı ham protein oranı değerleri ve Heuzé ve ark(2015)'nın inci darı otu kuru maddesi için bildirdikleri % 6.6-17.0 ham protein içeriği değerleri ile uyumludur.

4.4.8 ADF Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan ADF oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotipler arasında ADF oranı (%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık olduğunu göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan ADF oranı ortalamaları Tablo 11'de verilmiştir. Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama ADF oranı % 42.4 ile % 51.5 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 2 nolu ve IP 20274 kodlu genotip % 51.5 ADF oranı ile 1 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek ADF oranı göstermiştir. 1 nolu ve IP 22449 kodlu genotip ise % 42.4 ADF oranı ile 2,3,5 ve 9 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük ADF oranı göstermiştir. Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan ADF oranı değerleri; Heuzé ve ark(2015)'nın inci darı otu kuru maddesi için bildirdiği 30.7-45.1 ADF oranı değerleri ile uyumludur.

Tablo 11.Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan ADF oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	ADF Oranı (%)
1	IP 22449	42.6 c ¹
2	IP 20274	51.5 a
3	IP 19141	51.3 a
4	IP 21066	46.3 a-c
5	IP 11010	50.5 a
6	IP 9934	48.1 a-c
7	IP 19305	48.9 a-c
8	IP 21201	46.5 a-c
9	IP 4363	49.9 ab
10	IP 15829	48.4 a-c
11	IP 20768	43.4 bc
Ortalama		47.9

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

4.4.9. NDF Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan NDF oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin NDF oranı (%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan NDF oranı (%) ortalamaları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan NDF oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	NDF Oranı (%)
1	IP 22449	78.6 bc ¹
2	IP 20274	83.7 a-c
3	IP 19141	84.6 a-c
4	IP 21066	80.9 a-c
5	IP 11010	86.2 a
6	IP 9934	82.9 a-c
7	IP 19305	86.1 ab
8	IP 21201	81.6 a-c
9	IP 4363	87.5 a
10	IP 15829	81.6 a-c
11	IP 20768	78.3 c
Ortalama		82.9

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama NDF oranı % 78.3 ile 87.5 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 9 nolu ve IP 4363 kodlu genotip % 87.5 NDF oranı ile 1 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek NDF oranı (%) göstermiştir. 11 nolu ve IP 20768 kodlu genotip ise % 78.3 NDF oranı ile 5,7 ve 9 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük NDF oranı (%) göstermiştir. Araştırmada incelenen genotiplerde saptanan NDF oranı değerleri; Heuzé ve ark (2015)' nin inci darı ot kuru maddesi için bildirdikleri % 66.5-76 NDF oranı ile uyumludur.

4.4.10. Fosfor (P) Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan fosfor (P) oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotipler arasında fosfor (P) oranı açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık olduğunu göstermiştir. İncelenen genotiplerde saptanan fosfor (P) oranı (%) ortalamaları Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan fosfor (P) oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Kardeş Sayısı
1	IP 22449	0.387 b ¹
2	IP 20274	0.336 c
3	IP 19141	0.434 a
4	IP 21066	0.396 ab
5	IP 11010	0.282 d
6	IP 9934	0.270 d
7	IP 19305	0.335 c
8	IP 21201	0.400 ab
9	IP 4363	0.314 cd
10	IP 15829	0.290 d
11	IP 20768	0.292 c
Ortalama		0.340

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama fosfor (P) oranı % 0.270 ile % 0.434 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak

önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 3 nolu ve IP 19141 kodlu genotip % 0.434 fosfor (P) oranı ile 1,2,5,6,7,9,10 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek fosfor (P) oranı (%) göstermiştir. 6 nolu ve IP 9934 kodlu genotip ise % 0.270 fosfor (P) oranı (%) ile 1,2,3,4,8 ve 11 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük fosfor (P) oranı (%) göstermiştir. Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan fosfor (P) oranı (%) değerleri; Weichenthal ve ark. (2003)'nın Nebraskada sulu koşullarda yetiştirilen inci darısı ot kuru maddesinde saptadıkları % 0.240 P içeriği ve Heuzé ve ark (2015)'nin inci darısı ot kuru maddesi için bildirdikleri % 0.04- % 0.450 fosfor içeriği değerleri ile uyumludur.

4.4.11 Kalsiyum (Ca) Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan kalsiyum (Ca) oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotiplerin kalsiyum (Ca) Oranı (%) açısından istatistiksel olarak birbirinden önemli derecede farklı olduğunu göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan kalsiyum (Ca) oranı (%) ortalamaları Tablo 14.'de verilmiştir.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama kalsiyum (Ca) oranı (%) 0.281 ile 0.562 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 10 nolu ve IP 15829 kodlu genotip % 0.562 kalsiyum (Ca) oranı (%) ile incelenen diğer genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek kalsiyum (Ca) oranı (%) göstermiştir. 8 nolu ve IP 21201 kodlu genotip ise 0.281 kalsiyum (Ca) oranı (%) ile 2 nolu genotip dışındaki incelenen diğer genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük kalsiyum (Ca) oranı (%) göstermiştir. Araştırmada inci darı genotipleri için saptanan ot kuru maddesinde kalsiyum içeriği ile ilgili değerler; Weichenthal ve ark. (2003), Nebraska'da sulu koşullarda yetiştirilen inci darısı ot kuru maddesinde saptadıkları % 0.51 P içeriği değeri ve Heuzé ve ark (2015)'nin inci darı kuru maddesinin için bildirdiği % 0.29-0.85 Ca içeriği değerleri ile uyumludur.

Tablo 14. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan kalsiyum (Ca) oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Kalsiyum (Ca) Oranı (%)
1	IP 22449	0.445 b ¹
2	IP 20274	0.288 e
3	IP 19141	0.379 c
4	IP 21066	0.348 cd
5	IP 11010	0.364 cd
6	IP 9934	0.467 b
7	IP 19305	0.372 cd
8	IP 21201	0.281 e
9	IP 4363	0.333 d
10	IP 15829	0.562 a
11	IP 20768	0.485 b
Ortalama		0.393

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

4.4.12 Magnezyum (Mg) Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan magnezyum (Mg) oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotipler arasında magnezyum (Mg) oranı (%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık olduğunu göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan magnezyum (Mg) oranı (%) ortalamaları Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan magnezyum (Mg) oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Magnezyum (Mg) Oranı (%)
1	IP 22449	0.265 d ¹
2	IP 20274	0.218 e
3	IP 19141	0.228 e
4	IP 21066	0.201 f
5	IP 11010	0.285 c
6	IP 9934	0.261 d
7	IP 19305	0.328 b
8	IP 21201	0.205 f
9	IP 4363	0.343 a
10	IP 15829	0.227 e
11	IP 20768	0.261 d
Ortalama		0.257

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama magnezyum (Mg) oranı % 0.201 ile % 0.343 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 9 nolu ve IP 4363 kodlu genotip % 0.343 magnezyum (Mg) oranı (%) ile incelenen diğer genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek magnezyum (Mg) oranı (%) göstermiştir. 4 nolu ve IP 21066 kodlu genotip ise % 0.201 magnezyum (Mg) oranı (%) ile incelenen diğer genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük magnezyum (Mg) oranı (%) göstermiştir. Araştırmada incelenen inci darısı genotiplerinde saptanan Mg oranı değerleri, Weichenthal ve ark. (2003)'ün Nebraska'da sulu koşullarda yetiştirilen inci darısının ot kuru maddesinde saptadıkları % 0.330 Mg içeriği değeri ve Heuze ve ark. (2015)'nın inci darısı ot kuru maddesi için bildirdikleri % 0.240-% 0.450 Mg içeriği. değerleri ile uyumludur.

4.4.13. Potasyum (K) Oranı (%)

İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan potasyum (K) oranı (%) değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları incelenen genotipler arasında potasyum (K) oranı (%) açısından istatistiksel olarak önemli derecede farklılık olduğunu göstermiştir. İncelenen İnci darısı genotiplerinde saptanan potasyum (K) oranı (%) ortalamaları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Farklı inci darısı genotiplerinde saptanan potasyum (K) oranı (%) ortalamaları

Genotip No	Genotip Kodu	Potasyum (K) Oranı (%)
1	IP 22449	3.752 ab ¹
2	IP 20274	2.821 cd
3	IP 19141	2.997 b-d
4	IP 21066	4.100 a
5	IP 11010	2.664 de
6	IP 9934	2.345 de
7	IP 19305	3.622 ab
8	IP 21201	4.233 a
9	IP 4363	3.481 a-c
10	IP 15829	2.464 de
11	IP 20768	1.901 e
Ortalama		3.126

¹⁾ Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar Duncan testine göre $P \leq 0.05$ hata sınırları içerisinde istatistiksel birbirinden farklıdır.

Tabloda izlendiği gibi incelenen genotiplerde ortalama potasyum (K) oranı (%) 1.901 ile 4.233 arasında değişmiş ve bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 8 nolu ve IP 21201 kodlu genotip % 4.233 potasyum (K) oranı (%) ile 2,3,5,6,10 ve 11 nolu genotiplerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek potasyum (K) oranı (%) göstermiştir. 11 nolu ve IP 20768 kodlu genotip ise % 1.901 potasyum (K) oranı (%) ile 1,2,3,4,7,8 ve 9 nolu genotiplere göre istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük potasyum (K) oranı (%) göstermiştir. Yapılan araştırmada inci darısı genotiplerinde saptanan potasyum(K) oranı (%) değerleri; Weichenthal ve ark. (2003)'ün Nebraska'da sulu koşullarda yetiştirilen inci darısının ot kuru maddesinde saptadıkları % 4.3 K içeriği değeri ve Heuze ve ark. (2015)'nin inci darısı ot kuru maddesi için bildirdikleri % 1.60- % 4.19 K içeriği. değerleri ile uyumludur.

4.4.14. İncelenen özellikler Arasındaki İlişkiler

İnci darısı türünde incelenen özellikler arasındaki ikili ilişkiler için saptanan korelasyon katsayıları Tablo 17'de verilmiştir.

Çizelgede izlendiği gibi, bitki boyu ile kardeş sayısı ve P içeriği arasında önemli olumsuz, bitki boyu ile yaprak oranı, ham protein oranı, ve K oranı arasında çok önemli olumsuz ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca,

bitki boyu ile yaprak sayısı, yeşil ot ve kuru ot verimi, ADF oranı ve Ca içeriği arasında çok önemli olumlu ilişki saptanmıştır.

Kardeş sayısı ile yaprak oranı ve ham protein oranı arasında çok önemli olumlu ilişki, kardeş sayısı ile Mg içeriği arasında önemli olumsuz ilişki saptanmıştır (Tablo 17).

Yaprak sayısı ile yaprak oranı, ham protein oranı ve fosfor içeriği arasında çok önemli ilişki, yaprak sayısı ile yeşil ot verimi, ve ADF içeriği arasında çok önemli olumlu ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 17).

Yaprak oranı ile ham protein oranı, P ve K içeriği arasında çok önemli olumlu ilişki saptanmıştır.

Yeşil ot verimi ile kuru ot verimi arasında çok önemli olumlu ilişki, yeşil ot verimi ile ham protein oranı, P ve K içeriği arasında çok önemli olumsuz ilişki saptanmıştır (Tablo 17).

Kuru ot verimi ile ham protein oranı, P ve potasyum içeriği arasında önemli olumsuz ilişki saptanmıştır (Tablo 17).

Ham protein oranı ile P ve K içerikleri arasında çok önemli olumlu ilişki, ham protein oranı ile Ca içeriği arasında çok önemli olumsuz ilişki saptanmıştır (Tablo 17).

ADF oranı ile NDF oranı arasında çok önemli olumlu ilişki saptanmıştır (Tablo 17)

NDF oranı ile Ca içeriği arasında önemli olumsuz ilişki saptanmıştır (Çizelge 4.111).

Ot kuru maddesinin P içeriği ile K içeriği arasında çok önemli ilişki, P içeriği ile Ca ve Mg içeriği arasında ise çok önemli olumsuz ilişki olduğu saptanmıştır (Tablo 17).

Ot kuru maddesinin K içeriği ile Ca içeriği arasında çok önemli olumsuz ilişki olduğu saptanmıştır (Tablo 17).

Yukarıda açıklanan araştırma sonuçlarına dayanılarak, inci darısı türünün Çukurova'nın sulanan koşullarında bölge hayvancılığının kaliteli kaba yem ihtiyacının karşılanması amacıyla başarıyla yetiştirilebileceği, yüksek biyomas üretim potansiyeline sahip olan inci darısının yem bitkisi olması yanında enerji bitki olarak da yetiştirilebileceği, söz konusu türün bölge koşullarında başarılı bir şekilde yetiştirilebilmesi için yetiştirme tekniklerinin saptanmasına yönelik araştırmaların yürütülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abd El-Lattief, E.A. 2011. Growth and fodder yield of forage pearl millet in newly cultivated land as affected by date of planting and integrated use of mineral and organic fertilizers. *Asian Journal of Crop Science* 3(1):35-42.
- Açıkgöz, E. (2001). Yem Bitkileri (3. Baskı). Uludağ üniversitesi güçlendirme vakfı, yayın, (182).
- Açıkgöz, E., Altınok, R. H. S., Sancak, C., Tan, A., & Uraz, D. (2005). Yem bitkileri üretimi ve sorunları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 503-518.
- Aghtape AA, Ghanbari A, Sirousmeher A, Siahsar B, Asgharipour M, Tavssoli A, 2012. Effect of irrigation with wastewater and foliar fertilizer application on some forage characteristics of foxtailmillet (*Setaria italica*). *International Journal of Plant Physiology and Biochem*, 3(3): 34-42.
- Alçıçek, A. (1995): Silo yemi; önemi ve kalitesini etkileyen faktörler. E.Ü.Z.F. Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayını No. 22, İzmir.
- Alçıçek, A., & Karaayvaz, B. K. (2002). Çiftçi koşullarında silo yemi yapımında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. TC Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, TAYEK/TYUAP.
- Altın, M., Gökkuş, A., & Koç, A. (2005). Çayır Mera Islahı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Çayır Mera Yem Bitkileri ve Havza Geliştirme Daire Başkanlığı, 468s., Ankara.
- Angarawai, I. I., Aladele, S., Dawud, M. A., Turaki, Z. G. S., & Yakub, Y. (2016). Genetic Diversity among Nigeria Maiwa Type of Pearl Millet Germplasm. *The Global Journal of Science Frontier Research*, 16(3), 1-6.
- Athoni, B. K., Ishwar, B., Pattanashetty, S. K. and Guggari, A.K. 2016. Genetic Diversity For Yield And Its Component Traits In Pearlmillet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *International Journal of Science and Nature* 7 (4) : 795-798.

- Asungre, P.A. 2014. Characterisation Of Pearl Millet [*Pennisetum glaucum*, (L), R.Br] Germplasm In Ghana. Msc Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi School Of Graduate Studies Department Of Crop And Soil Sciences, 131pages.
- Athoni, B. K., Ishwar, B., Pattanashetty, S. K. and Guggari, A.K. 2016. Genetic Diversity For Yield And Its Component Traits In Pearlmillet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. International Journal of Science and Nature 7 (4) : 795-798.
- Baltensperger, D. D., 1996. Proso and foxtail millet. In: J. Janick (Ed), Progress in new crops, pp:182-190. ASHS Press, Alexandria, VA, USA.
- FAO, 2011. Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO, Rome, Italy
- Govindaraj, M., Selvi, B., Rajarathinam, S. and Sumathi, P. 2011. Genetic Variability And Heritability Of Grain Yield Components And Grain Mineral Concentration In India's Pearl Millet (*Pennisetum Glaucum* (L) R. Br.) Accessions. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development 11 (3): 4758-4771.
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Sauvant D., 2015. *Pearl millet (Pennisetum glaucum)*, forageFeedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/399> Last updated on September 30, 2015, 14:02
- ICRISAT, 1996. The World Sorghum and Millet Economies: Facts, Trends and Outlook. FAO, Rome, Italy and ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India, 68.
- Izge, A.U., Kadams, A.M. and Sajo, A.A. 2007. Agronomic performance of selected cultivars of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and their hybrids in North-eastern Nigeria. Journal of Agronomy 6(2): 344-349.
- Lorenz, K., 1983. Tannins and phytate content in proso millet (*Panicum miliceum*). Cereal Chem. 60, 424-426.
- Medici, L.O., Gonçalves, F.V., Da Fonseca, M.P.S., Gaziola, S.A., Schmidt, D., Azevedo, R.A. and Pimentel, C. 2018. Growth, Yield and Grain Nutritional Quality in Three Brazilian Pearl Millets (*Pennisetum americanum* L.) with African or Indian origins. Anais da Academia Brasileira de Ciências 90(2): 1749-1758.

- Pattanashetti, S.K., Upadhyaya, H.D., Dwivedi, S.L., Vetriventhan, M. and Reddy, K.N. 2016. Pearl millet (M.Singh and D. Upadhyaya, Editors). Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement, Elsevier Inc., Amsterdam, PP: 253-288.
- Pucher, A., Sy, O., Angarawai, I.I., Gondah, J., Zangre, R., Ouedraogo, M., Sanogo, M.D., Boureima, S., Hash, C.T. and Haussmann, B.I.G. 2015. Agro-morphological Characterization of West and Central African Pearl Millet Accessions. *Crop Sci.* 55:737-748.
- Rahal-Bouziane, H. and Semiani, Y. 2016. Pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] landraces from south Algeria: variability, yield components, grain and panicle quality. *American Journal of Agricultural Research* 1(1): 38-46.
- Schery, R. W., 1972. *Plants for man*. 2nd ed. P:440-442 Prentice -Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Serin Y, Tan M, 2014. Buğdaygil Yembitkileri. Atatürk Üniv. Yay. No: 859, Ziraat Fak. Yay. No: 334, Ders Kit. No: 81, Erzurum, 263 s.
- Shah, I.A., Rahman, H.U., Shah, S.M.A., Shah, Z., Rahman, S., Ullah, I. and Noor, M. 2012. Characterization Of Pearl Millet Germplasm For Various Morphological And Fodder Yield Parameters. *Pak. J. Bot.*, 44(1): 273-279.
- Temel S, Tan M, 2002. Erzurum şartlarında adi fiğ (*Vicia sativa* L.)'in ekim ve hasat zamanlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Der., 33 (4): 363-368.
- Upadhyaya, H.D., Reddy, K.N., Singh, S., Gowda, C. L. L. , Ahmed, M.I. and Kumar , V. 2013. Diversity and gaps in *Pennisetum glaucum* subsp. *monodii* (Maire) Br. germplasm conserved at the ICRISAT genebank. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 12(2); 226-235.
- Winkel, T., Renno, J. F., & Payne, W. A. (1997). Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown in Sahelian conditions. *Journal of Experimental Botany*, 48(5), 1001-1009.
- Weichenthal, Burt A.; Baltensperger, David D.; Vogel, K. P.; Masterson, S. D.; Blumenthal, J. M.; and Krall, J. M., "G03-1527 Annual Forages for the Nebraska Panhandle" (2003). Historical Materials from University

of Nebraska Lincoln Extension.236. <https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/236>.

Yolcu, H.; Tan, M. (2008): Ülkemiz yem bitkileri tarımına genel bir bakış.

Tarım bilimleri Dergisi 14 (3): 303-312.

Yurtsever, N., 2011. Deneysel İstatistik Yöntemler. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Yayınları. Genel Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara.

BÖLÜM 11

KURU KOŞULLARDA BAZI NOHUT ÇEŞİTLERİNİN TANE VERİMİ VE VERİM ÖĞELERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA*

Zir. Yük. Müh. Mustafa NALBANT¹
Prof. Dr. Mehmet YAĞMUR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16778867>

*Bu Kitap Bölümü Mustafa Nalbant'ın KAEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Sunulan Yüksek Lisans Tezi Esas Alınarak Hazırlanmıştır

¹Türkiye Milli Botanik Bahçesi Müdürlüğü/ Ankara, Türkiye. mustafanalbant42@gmail.com,
Orcid ID: orcid.org/0000-0003-1750-8073

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kırşehir, Türkiye orcid.org/0000-0002-0136-4637

GİRİŞ

Nohut, çok yönlü kullanımı olan ve son derece yüksek besin değerine sahip bir yemeklik tane baklagil bitkisidir (Millan ve diğ. 2006). Özellikle protein ihtiyacını et ürünlerinden karşılayamayan veya karşılamak istemeyen (vegan beslenen) kişiler için önemli bir besin kaynağıdır. Türk mutfağında önemli bir yeri olan nohut taneleri humus, aşure gibi yemeklerde kullanılmakla birlikte, işlendikten sonra leblebi olarak da tüketilebilmektedir. Hayvansal proteinlerden daha ucuz olması ve bozulmadan daha uzun süre muhafaza edilebilmesi nedeniyle, gelişmekte olan ülkelerde insanların protein ihtiyacının karşılanması bakımından nohutun önemi daha da artmaktadır. Biyolojik değeri yüksek olan ve %76-78 hazım olunabilir protein içeriğine sahip olan nohut, kuru tanelerinde çeşit özelliğine, çevre koşullarına ve uygulanan yetiştirme tekniklerine göre %18-31 oranında protein içerir (Akçin, 1988). Özellikle insan beslenmesinde büyük önemi olan leucine, isoleucine ve lysine gibi aminoasitlerce zengin, ancak tryptophan, methionine ve cystine aminoasitleri yönünden fakir olan nohutun hayvan beslenmesindeki önemi ise bir ton nohut sapının 137.4 kg protein içermesinden dolayıdır (Şehirli, 1988).

Nohut ucuz ve zengin bir protein kaynağı olmasının yanında aynı zamanda toprağı da iyileştirir (Kumar ve diğ. 2016). Kökleri üzerinde bulunan bakteriler (*Rhizobium ciceri*) yardımı ile dekara 8 kg saf azot bağlayabilmekte ve hem kendi azot ihtiyacını hem de kendisinden sonra tarlada üretimi yapılacak olan bitkinin azot ihtiyacının bir kısmını karşılayarak, toprak verimliliğini artırması bakımından da önemli bir bitkidir. Geniş bir pazara sahip olmasının yanında, kuraklığa dayanıklı olması, verimi düşük alanlarda dahi yetiştirilebilmesi ve tahıllarla ekim nöbetine girerek nadas alanlarının azaltılması için önemli olan nohut, kurak ve tuzlu topraklar içinde aranılan bir bitkidir (Şehirli, 1988).

Nohut, yemeklik tane baklagiller arasında sıcaklığa ve kuraklığa dayanıklılık bakımından mercimekten sonra yer alır. Kısa zamanda tarlayı terk ettiği ve fazla bakım gerektirmediği için işçilik masrafının az olmasından dolayı yetiştiriciliği kolay bir kültür bitkisidir. Gelişme döneminde toplam 2200–2840 °C sıcaklık isteğı olan nohut rutubeti sevmediğı için hiç sulanmadan da yetiştirilebilir (Akçin, 1988).

Yüksek verim potansiyeline sahip olmasına rağmen Dünya’da genellikle kurak ya da yarı kurak bölgelerde, yağmur suyu ile sulamaya dayalı koşullar altında yetiştiriciliğı yapıldığından nohutun verimi istikrarsızdır (Millan ve diğ.

2006). Ülkemizde de genellikle kuru tarım alanlarında yağışa dayalı olarak yetiştirilen nohutun verimi senelere göre farklılık göstermektedir. Verim kapasitesi yüksek olmasına rağmen çeşitlerin bölgelere göre farklı verim potansiyellerine sahip olması önemli verim kayıplarıdır. Her yöre için verimli çeşitlerin belirlenmesi kaçınılmaz tarımsal uygulamalardan biridir.

Kırşehir ili 2019 yılında, 630.000 ton toplam nohut üretimi yapılan ülkemizde 70.813 ton ile en fazla nohut üreten iller arasında olmuştur. Kırşehir ilinin 265.423 hektar olan tarla bitkileri üretim alanının (nadas alanları hariç), 60.671 hektarında nohut üretimi yapılmış ve 70.813 Ton nohut üretimi gerçekleştirilmiştir. Kırşehir’de 2019 yılında 117 kg/da ile Türkiye ortalamasının altında bir nohut verimi elde edilmiştir (Anonim 2020 a). Islah edilmiş ve yüksek verim kapasitesine sahip çeşitlerin uygun koşullarda yetiştirilmesi daha yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmeye neden olacağından dolayı, bölge şartlarına en uygun çeşidin belirlenmesi amacıyla yetiştiriciliği gerçekleştirilen çeşitlerin verim ve verim öğelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Nohut kuraklığa ve sıcağa dayanıklı olmasının yanında verimsiz topraklarda bile üreticiyi tatmin edecek seviyede ürün verebilmesi, istihdam sağlaması, ekim nöbetine girerek nadas alanlarının azalması ve çiftçinin gelirinin artmasına katkı sağlaması nedeniyle bölgemiz açısından önemli bir yemeklik tane baklagil bitkisidir.

Bunun yanında bölgede daha yüksek verim elde etmek amacıyla çeşitli yörelerde ön planda üretimi yapılan çeşitlerin, Kırşehir yöresinde de verim ve verim öğelerinin belirlenmesi, bölge ekolojisine en uygun nohut çeşidinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, ülkemizde yetiştirilen 16 adet tescilli nohut çeşidinin (Azkan, Uzunlu-99, Aksu, Sarı 98, Hasanbey, Çakır, Akça, Yaşa 05, Çağatay, İnci, Zuhal, Sezenbey, Gökçe, Ilgaz, TAEK-Sagel, Arda) Kırşehir ekolojik koşullarında verim ve verim öğelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

MATERYAL

Çalışma Yılı ve Yeri

Bu çalışma 2020 yılında, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesinin Bağbaşı kampüsünde bulunan deneme alanında yürütülmüştür.

Araştırmada Kullanılan Nohut Çeşitleri

Değişik araştırma enstitülerinden temin edilen, ülkemizde tescil ettirilmiş 16 adet nohut çeşidi ve çeşitlerinin tescil ettirildiği araştırmacı kuruluşlar Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Nohut Çeşitlerini Tescil Ettiren Araştırmacı Kuruluşlar.

	ÇEŞİTLER	TESCİL ETTİREN ARAŞTIRICI KURULUŞLAR	TESCİL .YILI
1	SARI 98	Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	1998
2	UZUNLU-99	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müd.	1999
3	GÖKÇE	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müd.	1997
4	AKSU	Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarı. Araş. Enst. Müd.	2009
5	İNCİ	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2003
6	HASANBEY	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2011
7	ÇAKIR	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2012
8	AKÇA	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2013
9	YAŞA 05	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2005
10	AZKAN	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2009
11	ZUHAL	Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2012
12	SEZENBEY	Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2012
13	ÇAĞATAY	Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müd.	2001
14	ILGAZ	İtaş İhracatçı Birlikleri Tohum Araş. San. Tic. A.Ş.	2012
15	TAEK-Sagel	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu	2006
16	ARDA	GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Enstitüsü Müd.	2013

Tablo 2. Nohutun Vejetasyon Döneminde Kırşehir İline Ait İklim Özellikleri.

	Yağış (mm)		Sıcaklık (°C)		Nispi Nem (%)	
AYLAR	UYO*	2020	UYO*	2020	UYO*	2020
Mart	39.3	16.0	5.2	8	67.6	83.1
Nisan	41.5	25.4	10.7	10.8	63.5	80.1
Mayıs	44.8	42.2	15.5	15.9	61.3	83.9
Haziran	34.6	42.6	19.6	20.6	54.9	78.9
Temmuz	8.3	9.5	23	25.6	47.5	66.4
Ortalama			14.81	16.18	58.96	78.45
Toplam	168.5	135.7				

*Anonim (2020b) UYO: Uzun Yıllar Ortalaması

Tablo 3. Araştırma Arazisine Ait Toprağının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.

Özellikler	Toprak Derinliği	
	0-30 cm	30-60 cm
Organik Madde %	1.82	1.64
Kireç % (CaCO ₃)	27.9	28.39
EC (mmhos/cm)	0.52	0.56
Ph	7.59	7.63
Toplam Tuz %	0.02	0.02
Azot (%)	0.07	0.05
Fosfor (P ₂ O ₅) kg/da	2.14	2.29
Potasyum (K ₂ O) kg/da	66.62	51.47
Doygunluk %	55	55

*Toprak Analizi Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsünde yaptırılmıştır.

YÖNTEM

Araştırma Yöntemi ve Uygulama Tekniği

2020 yılında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Parsellerde bitki sıra uzunlukları 5 m olacak şekilde yapılmıştır. Her parsel 5 bitki sırasından oluşmuştur. Parsellerde sıralar arasında bırakılan mesafe ise 30 cm olmuştur. Parsel boyutu 7.5 m² (0.3 m x 5 sıra = 1.5 m x 5 m = 7.5 m²) olarak hesaplanmıştır. Bloklar arasında ise 3 m aralık bırakılmıştır. Bunun yanında parseller arası mesafeler ise 50 cm olarak belirlenmiştir. Deneme, faktör kombinasyonlarına bağlı olarak her blokta 16 parsel olmak üzere toplam 48 parselden oluşmuştur.

Her çeşit için, dekara atılacak tohumluk miktarı o çeşidin 100 dane ağırlıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Tohumlar parsellerde sıralar markörle açılarak 4-5 cm derinliğinde ekilmiştir. Çalışmada ekim sıklığı 40 tane/m² olarak belirlenmiştir.

Varyans analizi “Tesadüf Blokları Deneme” desenine göre MSTAT-C paket programı kullanılmak suretiyle hesaplanmış ve ortalamalar “Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi” ile gruplandırılmıştır (Steel ve Torrie, 1960).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kırşehir’in ekolojik koşullarında 2020 yılında yürütülen bu çalışmada, tescilli 16 farklı nohut çeşidi %50 çiçeklenme süresi (gün), bakla bağlama süresi (gün), olgunlaşma süresi (gün), ortalama bitki boyu (cm) ve ilk bakla yüksekliği

(cm) özellikleri bakımından değerlendirmeye alınmış olup, bu özellikler yönünden çeşitler arasında istatistiki bakımdan önemli farklar belirlenmiştir.

Olgunlaşma Süresi (gün): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 4.'de verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitlerinde olgunlaşma süresinin 127.33 gün ile 142.67 gün arasında değiştiği saptanmıştır. En uzun olgunlaşma süresine sahip nohut çeşidi ile en kısa olgunlaşma süresine sahip çeşit arasında ortalama 16 günlük fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en uzun olgunlaşma süresine sahip olan nohut çeşidi 142.67 gün ile Sezenbey nohut çeşidi olup bunu 141.33 gün ile Zuhall çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en kısa olgunlaşma gün süresine sahip çeşit 127.33 gün ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. Kısa olgunlaşma süresi bakımından Hasanbey çeşidini 128.67 gün ile Azkan nohut çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama olgunlaşma süresi 133.79 gün olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Farklı Nohut Çeşitlerinde Olgunlaşma Süresi (gün), Ortalama Bitki Boyu (cm) ve İlk Bakla Yüksekliğine (cm) İlişkin Ortalama Değerler ve Ortalamalar Arası Farkın Duncan Testi Sonuçları.

Çeşit Adı	Olgunlaşma Süresi (gün)	Ortalama Bitki Boyu (cm)	İlk Bakla Yüksekliği (cm)
ILGAZ	133.00 def	27.97 bcd	13.69 bcdef
HASANBEY	127.33 ı	29.24 abcd	15.36 abcd
AZKAN	128.67 hı	33.68 a	17.78 a
UZUNLU 99	138.00 c	31.19 abcd	16.12 ab
AKÇA	132.00 efg	28.96 abcd	14.13 abcdef
AKSU	131.00 fgh	32.68 ab	14.94 abcde
TAEK-SAGEL	130.33 gh	29.20 abcd	14.60 abcdef
İNCİ	132.33 efg	29.47 abcd	13.57 bcdef
SARI 98	130.67 fgh	28.95 abcd	15.56 abc
ÇAKIR	131.67 fg	31.57 abc	11.50 def
ÇAĞATAY	139.33 bc	27.89 bcd	10.77 f
GÖKÇE	135.00 d	25.72 d	11.79 cdef
YAŞA 05	133.00 def	30.16 abcd	13.98 abcdef
ARDA	134.33 de	30.04 abcd	16.49 ab
SEZENBEY	142.67 a	29.20 abcd	11.95 cdef
ZUHAL	141.33 ab	26.53 cd	10.95 ef

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (Duncan, $p \leq 0.01$)

Fizyolojik olgunlaşma süresi kısa olan nohut genotipleri daha erken hasat edilebilmekte ve tarlada kalma süresi daha az olmaktadır, bu sebeple fizyolojik olgunlaşma süresinin kısa olması özellikle ikinci ürün yetiştirilebilen ekolojiler için önemli bir seleksiyon kriteridir. Çalışmada, çeşitlerin olgunlaşma zamanları 5 Temmuz-21 Temmuz tarihlerine denk gelmektedir.

Çalışma ile diğer çalışmaları karşılaştırdığımızda; Uzun ve diğ. (2012), Amasya ilinde 2 farklı lokasyonda yürüttükleri çalışmada, ortalama fizyolojik olgunlaşma süresini 118-129.75 gün olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Kumar ve diğ. (2019), fizyolojik olgunlaşma süresini 126.2-137.8 gün olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmalarda elde edilen ortalama değerler ile bu çalışmada elde edilen değerler benzerlik göstermektedir. Buna karşın Yaşar (2010), Güneydoğu Anadolu Bölgesi ekolojik şartlarında yetiştiriciliği yazlık olarak yapılan bazı nohut çeşit ve hatlarının tane verimi ve verimle ilgili karakterlerini tespit etmek amacıyla Diyarbakır ilinde 9 hat ve 6 çeşit (İnci, Çağatay, Gökçe, Diyar-95, Yaşa-05, ILC-482) ile 2009 yılı yetiştirme sezonunda yürüttüğü çalışmasında, fizyolojik olgunlaşma süresini 101.67-107.00 gün olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Erdemci (2012), farklı nohut genotiplerinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi şartlarında yazlık ve kışlık ekimlerinde bazı tarımsal ve teknolojik niteliklerini belirleyebilmek amacıyla, iki farklı yerde, iki yıl boyunca yürüttüğü çalışmasında, iki yılın birleştirilmiş değerlerine göre fizyolojik olgunlaşma süresini, kışlık ekimlerde 154.50 gün, yazlık ekimlerde 100.04 gün olarak tespit edildiğini bildirmiştir. Fiaz ve diğ. (2016), Pakistan’da yürüttükleri çalışmalarında olgunlaşma süresini 160.72-166.01 gün olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Aydın (2019), Harran Üniversitesi deneme alanında 65 yabani nohut (*C. reticulatum*), 4 tescilli çeşit ile 1 adet yerel genotip ile 2015-2016 yetiştirme döneminde kışlık olarak gerçekleştirdiği çalışmada, olgunlaşma gün sayısını 174-213 gün olarak saptadığını bildirmiştir. Demirci ve Bildirici (2020), Şanlıurfa ekolojik şartlarında tescilli 14 nohut çeşidi (Azkan, Gökçe, İnci, Tavas, Arda, Aksu, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Işık- 05, Yaşa-05, Çakır, Akça ve Hisar) ile 2017 yılında yürüttükleri çalışmalarında, çeşitlerde fizyolojik olum gün sayısını 72-79.3 gün aralığında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmalarda fizyolojik olum süreleri ile ilgili elde edilen bulguların bazıları bu çalışmada elde edilen değerlerden yüksek bazıları ise daha düşük olmuştur.

Bu farklılığın nedeninin araştırmanın yazlık yada kışlık ekim olarak yapılması, yapıldığı yerin iklim ve ekolojik koşulları, kültürel uygulama

farklılıkları ve çeşitlerin genetik özelliklerinden dolayı kaynaklanabileceği kanaatine varılmıştır. Ekimi kışlık olarak yapılan nohut çeşitleri toprak nemi ve yağışlardan daha fazla yararlanabildiği için vejetasyon süresi yazlık ekim yapılan çeşitlerden daha uzun olmakta, dolayısı ile olgunlaşma süreside daha uzun olmaktadır. Çiçeklenme ve bakla bağlamaya erken başlayan genotipler erken olgunlaşarak, daha erken hasat edilebilmektedir. Olgunlaşma süresi ile çiçeklenme ve bakla bağlama gün sayısı arasında pozitif ve önemli ilişki olduğu düşünülmektedir.

Bitki Boyu (cm): Çalışmada, çeşitlere ait bitki boyu ortalamaları ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 4.'de verilmiştir. Çalışmada, nohut çeşitlerine ait bitki boyu ortalamaları 25.72 cm ile 33.68 cm arasında değiştiği saptanmıştır. En uzun bitki boyuna sahip nohut çeşidi ile en kısa bitki boyuna sahip nohut çeşidi arasında 8 cm fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en uzun bitki boyuna sahip olan çeşit 33.68 cm ile Azkan nohut çeşidi olup bunu 32.68 cm ile Aksu nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en kısa bitki boyuna sahip nohut çeşidi ise 25.72 cm ile Gökçe nohut çeşidi olmuştur. Kısa bitki boyu bakımından Gökçe nohut çeşidini 27.89 cm ile Çağatay nohut çeşidi ve 27.97 cm ile Ilgaz çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama bitki boyu 29.53 cm olarak belirlenmiştir.

Nohut bitkisinde aynı iklim ve toprak koşullarında yetiştirilen nohut çeşitleri farklı bitki boylarına sahip olabildikleri gibi, aynı nohut çeşitlerinden farklı kültürel uygulamalarla farklı bitki boyları ölçülebilmektedir. Bu durumun başlıca sebebi bitki boyunun çeşitlerin genetik özelliklerinden ve çevre şartlarından etkilenebilmesidir.

Çalışmada elde edilen ortalama bitki boyları, diğer çalışmalarda elde edilen bitki boyu ortalamaları ile kıyaslandığında; Bayrak (2010), tarafından Konya-Sarayönü ilçesinde 21 nohut popülasyonu ve tescilli 5 nohut çeşidi (Gökçe, Er 99, Uzunlu, Aziziye-94, Akçin-91) kullanarak, iki yıl süre ile iki farklı lokasyonda yürüttüğü araştırmada bitki boyunun 30.45 ile 40.05 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. Bir başka çalışmada, Sohu ve diğ. (2015), bitki boyunu 28.8 cm olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Sarımurat (2017), tarafından Van ekolojik şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve teknolojik karakterlerini belirlemek amacıyla, tescil edilmiş 12 nohut çeşidi (Azkan, Arda, Aydın, Çağatay, Diyar-95, Gülümser, Hasanbey, İzmir-92, İnci, Zuhul, Seçkin, Sezenbey) ile yürüttüğü çalışmasının sonucunda; incelenen özelliklerin çoğunun

çeşitlerin özelliklerinden önemli derecede etkilendiğini, bitki boyunu en uzun 39.50 cm (Aydın), en kısa 31.70 cm (Sezenbey) çeşitlerinden elde edildiğini bildirmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü Kırşehir ekolojik koşullarında Sözen ve Karadavut (2018), tarafından, Kırşehir çevresinden topladıkları 58 adet yerel nohut genotipi ve tescilli 4 çeşit ile yürütülen bir çalışmada, bitki boyunun 29-42.5 cm arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Karakan Kaya (2014), tarafından Elazığ ekolojik şartlarında yürütülen bir çalışmada, çeşitlere göre bitki boyunun 41.2-56.9 cm arasında değiştiğini rapor etmiştir. Gul ve diğ. (2015), Pakistan'da yürüttükleri çalışmalarında, bitki boyunu 53.3-67.8 cm olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Dar ve diğ. (2016)'nin Pakistan'da yürüttükleri çalışmalarında kontrol çeşitleri için bitki boyu değerlerini 2014-2015 yılında 24.4 cm, 2015-2016 yılında 25.5 cm olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Fiaz ve diğ. (2016), Pakistan'da yürüttükleri çalışmalarında bitki boyunu 58.63-81.74 cm olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Yalçın (2017), Yozgat ve Afyonkarahisar ekolojik şartlarında, nohut çeşitlerinin tane verimi ve bazı kalite kriterlerinin tespit edilmesi amacıyla 8 nohut çeşidi (Çakır, Akça, Azkan, Akçın, Işık-05, Gökçe, Yaşa-05, Hisar) ile iki yıllık bir çalışma yürütmüş ve çalışmasının iki yılının birleştirilmiş verilerini değerlendirilmesi sonucunda; Yozgat ekolojik koşullarında bitki boyunun 41.03-51.23 cm, Afyonkarahisar ekolojik koşullarında ise bitki boyunun 38.23-47.26 cm aralığında değerler gösterdiğini rapor etmiştir. Demirci (2019), Şanlıurfa'da 14 adet nohut çeşidi (Azkan, Işık-05, Aksu, Çakır, Akça, Hisar, Yaşa-05, Gökçe, İnci, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Tavas, Arda) ile yürüttüğü çalışmasında bitki boyunun 39.08 cm ile 48.39 cm arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir. Yukarıda belirtilen çalışmalarda elde edilen bitki boyu değerlerinin bazıları bu çalışmada elde edilen değerlerden daha uzun, bazıları ise daha kısa olmuştur. Bu farklılığın nedenleri olarak; sıcak ve kuraklığın çok olduğu koşullarda bitki boylarının çoğunlukla kısa olması, ekim tarihlerinin farklılık göstermesi, bitkilerin genetik özellikleri, kültürel uygulamaların farklılık göstermesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Kışlık yapılan ekimlerde ve sulama uygulaması yapılan uygulamalarda bitki boyu yazlık ekimlere oranla daha uzun olmaktadır. Sulama yapılmayan ve kurak şartlarda yetişen bitkilerde ise bitki vejetasyonu kısa olmakta ve bitki boylanamadan generatif devreye geçmektedir. Çalışma sonuçlarına göre ortaya çıkan bitki boyundaki farklılıkların, kullanılan çeşitlerin yada hatların çevresel

koşullardan etkilenmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Bitki boyu kısa olan çeşitlerin makineli hasatta önemli oranda tane kayıplarına yol açabileceğinden dolayı uzun boylu çeşitlerin tane kayıplarının azaltılmasında tercih edilmesi önemlidir.

İlk Bakla Yüksekliği (cm): Çalışmada, çeşitlere ait ilk bakla yüksekliği ortalamaları ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 4.' de verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitlerinde ilk bakla yüksekliğinin 10.77 cm ile 17.78 cm arasında değiştiği saptanmıştır. En uzun ilk bakla yüksekliğine sahip nohut çeşidi ile en kısa ilk bakla yüksekliğine sahip nohut çeşidi arasında ortalama 7 cm fark bulunmuştur. Çalışmada en uzun ilk bakla yüksekliğine sahip nohut çeşidi 17.78 cm ile Azkan nohut çeşidi olup bunu 16.49 cm ile Arda nohut çeşidi ve 16.12 cm ile Uzunlu-99 nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en kısa ilk bakla yüksekliğine sahip nohut çeşidi 10.77 cm ile Çağatay nohut çeşidi olmuş, bu çeşidi 11.50 cm ile Çakır nohut çeşidi ve 11.79 cm ile Gökçe çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama ilk bakla yüksekliği 13.95 cm olarak belirlenmiştir.

Nohut bitkisinde ilk bakla yüksekliği ıslahçılar tarafından seleksiyon kriteri olarak kullanılmaktadır. Kısa boylu bitkilerde makinalı tarımda tane kaybının uzun boylu bitkilere oranla daha fazla olacağı için uzun boylu bitkilerin tercih edilmesi önem arz etmektedir. Basha ve diğ. (2018), yetersiz yüksekliğe sahip olan ve ilk bakla yüksekliği 15-20 cm olan çeşitlerin mekanik hasat için uygun olmadığını bildirmiştir. Bu nedenle ilk bakla yüksekliği, makinalı hasada uygun çeşitlerin seçiminde önemli bir kriterdir. Çalışmada elde edilen ilk bakla yüksekliğine ait ortalama değerler ile diğer çalışmalarda belirlenen ilk bakla yüksekliği ortalamaları karşılaştırıldığında, Bakoğlu ve Ayçiçek (2005), Bingöl'de kıraç şartlarda, ilk bakla yüksekliğinin 14.60-20.93 cm aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Bıçaksız (2010), Eskişehir ekolojik koşullarında bazı nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinin ilk bakla yüksekliğinin 12.43 cm ile 15.48 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. Gündoğdu Gürbüz (2018), Bingöl şartlarında 2016 yılı yazlık yetiştirme döneminde 11 nohut çeşidi (Işık-05, Arda, Aziziye-94, Gökçe, Canitez-87, Çağatay, İnci, Akçin-91, Yaşa-05, Azkan, ILC-482) ile yürüttüğü çalışmasında, ilk bakla yüksekliğinin 14.0-28.2 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. Janmohammadi ve diğ. (2018), yürüttükleri bir çalışmada kontrol uygulamalarında; ilk bakla yüksekliğini 12.33 cm olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmalarda ilk bakla yüksekliği

ile ilgili elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde kurak ve kıraç şartlarda bitki boyu yanında ilk bakla uzunluğunun da önemli derecede kısaldığı görülmektedir. Tüm bu çalışmaların yanında Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için yürüttüğü çalışmada, ilk bakla yüksekliğini 20.8-29.9 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. Çokkızgın (2012), Gaziantep ekolojik koşullarında yürüttüğü çalışmasında, genotipler için elde ettiği ortalama ilk bakla yüksekliğini 28.65 cm olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Kağan (2012), Eskişehir’de 2011 yılında, bakteri aşılama ve azot uygulamasının nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde verim ve verim kriterlerine etkisini belirlemeyi amaçladığı çalışmada, hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol parsellerinde ortalama ilk bakla yüksekliğinin 26.82 cm olarak tespit edildiğini bildirmiştir. Patan (2014), Erzurum ekolojik koşullarında bazı nohut çeşitlerinin adaptasyonları, verim potansiyelleri ve makinalı hasat için uygunluklarının tespit edilmesi amacıyla tescilli 15 nohut çeşidi ile 2011 yılında yürüttüğü denemesinde, ilk bakla yüksekliğinin 20.7-32.8 cm olarak ölçüldüğünü bildirmiştir. Demirci (2019), Şanlıurfa’da 14 adet nohut çeşidi (Azkan, Işık-05, Aksu, Çakır, Akça, Hisar, Yaşa-05, Gökçe, İnci, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Tavas, Arda) ile yürüttüğü çalışmada, ilk bakla yüksekliğinin 28.82 cm ile 38.87 cm arasında değiştiği saptamıştır. İlk bakla yüksekliği çeşitlerin genetik özellikleri, çevre şartları ve bitki boyundan etkilenebilen bir özelliktir. Çalışmada elde edilen ortalama değerler ile bazı araştırmacıların ilk bakla yüksekliği için elde ettiği değerlerin farklı olmasının nedenlerinin, çeşitlerin genetik özellikleri, iklim şartları, yazlık ve kışlık ekimde elde edilecek sonuçların farklı olması nedeni ile olabileceği düşünülmektedir.

Bitki boyu yüksek olan nohut genotiplerinde ve kışlık ekimler ile sulama yapılan alanlarda bitki daha fazla boylanabildiği için ilk bakla yüksekliğinin de fazla olması beklenmektedir. Uzun boylu, baklalarını yüksekte oluşturan, dik gelişme formuna sahip ve az dallanan çeşitler özellikle makineli hasat açısından uygun olmaktadır (Zeren ve diğ., 1991).

Kırşehir ekolojik şartlarında 2020 yılı vejetasyon döneminde yürütülen bu çalışmada, 16 farklı nohut çeşidi ikincil dal sayısı (adet), toplam bakla sayısı (adet/bitki), bitkide tane sayısı (adet/bitki) ve bitkide tane ağırlığı (g) bakımından değerlendirmeye alınmış olup, çeşitler arasında istatistiki bakımdan önemli farklılık belirlenmiştir.

İkincil Dal Sayısı (adet): Çalışmada, çeşitlere ait bitkide ikincil dal sayısı (adet) ortalamaları ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 5.'de gösterilmektedir. Çalışmada yer alınan nohut çeşitlerinde ikincil dal sayısı 4.38 adet ile 1.62 adet arasında değişmiştir. En fazla ikincil dal sayısına sahip nohut çeşidi ile en az ikincil dal sayısına sahip çeşit arasında ortalama olarak 3 adet fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en fazla ikincil dal sayısına sahip çeşit 4.38 adet ile Çağatay nohut çeşidi olup bunu 4.21 adet ile İnci nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en az ikincil dal sayısına sahip nohut çeşidi ise 1.62 adet ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. En az ikincil dal sayısı bakımından Hasanbey nohut çeşidini 1.93 adet ile Arda nohut çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm nohut çeşitlerinde Kırşehir ilinde ortalama ikincil dal sayısı 2.82 adet olarak belirlenmiştir.

Çalışmada da ikincil dal sayısı ile tane veriminin önemli ve olumlu ilişkisi saptanmıştır. Çalışmada elde edilen bitkide ikincil dal sayısı değerleri ile daha önce yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında; Cinsoy ve diğ. (1997), tarafından yürütülen bir çalışmada, ikincil dal sayısını 2.5-13.6 adet/bitki arasında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Biçer ve Anlarsal (2004), Diyarbakır dolaylarından elde ettikleri 43 kabulü tip, 3 desi tip yerel nohut çeşidi ve iki adet tescilli nohut çeşidi ile 1999 ve 2000 seneleri ilkbahar yetiştirme sezonunda yürüttükleri çalışmada, yan dal sayısını 2.6-5.37 adet olarak tespit etmişlerdir. Karasu ve Vural (2006), yan dal sayısını 3.08 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Yıldırım (2006), yan dal sayısının 2.53-6.06 adet/bitki olarak tespit edildiğini bildirmiştir. Erden (2014), ise çeşitlere bağlı olarak yan dal sayısını 2.6–4.17 adet olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Yukarıda belirtilen çalışmalarda elde edilen ikincil dal sayısı değerleri ile çalışmamızda elde ettiğimiz ikincil dal değerleri birbiri ile uyum göstermektedir. Bunun yanında Yeşilgün (2006), Çukurova ekolojik koşullarına uygun bazı kışlık nohut çeşitleri ile hatların tane verimi ve verim ile alakalı karakterlerini belirlemek amacı yaptığı çalışmada; yan dal sayısının 5.6-16.20 adet arasında değiştiğini bildirmiştir. Çokkızgın (2012), Gaziantep ekolojik koşullarında yürüttüğü çalışmada genotipler için elde ettiği ortalama değerlerde, ikincil dal sayısını 1.51 adet/bitki olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Gul ve diğ. (2015), ikincil dal sayısını 4.1-9.7 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Fiaz ve diğ. (2016), yan dal sayısını 5.43-6.4 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Sönmez ve Kumlay (2021), Adıyaman'da yürüttükleri çalışmalarında yan dal sayısını 8.56–8.92 adet olarak tespit

etmişler. Yukarıda belirtilen çalışmalarda elde edilen ikincil dal sayılarına ait değerlerin bazıları bu çalışmada elde ettiğimiz değerlerden yüksek olurken bazılarında daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Bitkide dallanma genetik özellikler, ekolojik koşullardan etkilenebilmektedir. Bazı çalışmalarda elde edilen değerlerin farklı olmasının nedeninin, bitkilerin genetik yapısı, farklı kültürel uygulamalar, toprak yapılarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Toplam Bakla Sayısı (adet/bitki): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 5.'de verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitlerinde toplam bakla sayısının 16.62 adet/bitki ile 29.78 adet/bitki arasında değiştiği saptanmıştır. En fazla toplam bakla sayısına sahip nohut çeşidi ile en az toplam bakla sayısına süresine sahip çeşit arasında ortalama olarak yaklaşık 13 adet fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en fazla toplam bakla sayısına sahip olan nohut çeşidi 29.78 adet ile İnci nohut çeşidi olup bunu 26.67 adet/bitki ile Yaşa 05 nohut çeşidi ve 26.57 adet/bitki ile Sezenbey nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en az toplam bakla sayısına sahip çeşit ise 16.23 adet/bitki ile Sarı 98 nohut çeşidi olmuştur. En az bakla sayısı bakımından Sarı 98 çeşidini 16.62 adet/bitki ile Hasanbey nohut çeşidi takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama toplam bakla sayısı 20.82 adet/bitki olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Farklı nohut çeşitlerinde ikincil dal sayısı (adet), toplam bakla sayısı (adet/bitki), bitkide tane sayısı (adet/bitki) ve bitkide tane ağırlığı (g) ilişkin ortalama değerler ve ortalamalar arası farkın duncan testi sonuçları.

Çeşit Adı	İkincil Dal Sayısı (adet)	Toplam Bakla Sayısı (adet/bitki)	Bitkide Tane Sayısı (adet/bitki)	Bitkide Tane Ağırlığı (g)
ILGAZ	2.99 abcd	20.08 bc	18.34 bcdefg	8.26 cdef
HASANBEY	1.62 d	16.62 c	14.08 g	5.83 f
AZKAN	1.99 cd	17.53 c	16.62 efg	6.56 ef
UZUNLU 99	1.99 cd	22.92 abc	21.89 bcdef	9.46 bcde
AKÇA	2.06 cd	17.37 c	15.73 efg	6.54 ef
AKSU	2.68 bcd	17.14 c	15.75 efg	6.88 def
TAEK-SAGEL	2.76 bcd	17.33 c	17.33 defg	6.96 def
İNCİ	4.21 ab	29.78 a	30.20 a	12.44 ab
SARI 98	2.12 cd	16.23 c	14.64 fg	8.61 cdef
ÇAKIR	2.61 bcd	24.35 abc	24.07 abcd	9.58 bcde
ÇAĞATAY	4.38 a	23.00 abc	22.82 bcde	12.95 a

GÖKÇE	3.25 abcd	19.15 bc	18.90 bcdefg	8.56 cdef
YAŞA 05	3.55 abc	26.67 ab	25.52 ab	9.97 bcd
ARDA	1.93 cd	17.73 c	17.89 cdefg	7.27 def
SEZENBEY	3.86 ab	26.57 ab	24.77 abc	11.30 abc
ZUHAL	3.09 abcd	20.64 bc	19.11 bcdefg	9.68 bcde

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (Duncan, $p \leq 0.01$)

Bitkide bakla sayısı tane verimi ile doğrudan ve pozitif ilişkisi olması nedeni ile bitki ıslahçıları için önemli bir seleksiyon kriteridir. Bitkide bakla sayısının çeşitlerin genetik yapısından, değişik çevresel ve iklimsel etmenlerden etkilendiği, çiçeklenme ve bakla bağlama döneminde yağış olması veya sulama yapılması durumunda bakla sayısının arttığı bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı vejetasyon döneminde bakla bağlama dönemi olan Haziran ayında yağış ve nispi nemin UYO'dan daha yüksek olması nedeni ile bitkilerin bakla bağlama döneminde su stresi yaşamadığı ve bu durumun bakla sayısını etkilediği düşünülmektedir.

Araştırmada elde edilen bitkide toplam bakla sayısı değerleri diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Konya-Sarayönü ilçesinde, iki yıl süre ile iki farklı lokasyonda 21 nohut popülasyonu ve tescilli 5 nohut çeşidi (Gökçe, Er 99, Uzunlu, Aziziye-94, Akçin-91) kullanılarak yürütülen tarla çalışmalarında; bitkide bakla sayısının 20.12 ile 30.42 adet/bitki arasında değiştiği Bayrak (2010), tarafından bildirilmiştir. Babagil (2011), bazı nohut çeşitlerinin bakla sayısının 26.1-31.5 adet arasında tespit edildiğini bildirmiştir. Patan (2014), bitkide bakla sayısını 12.7-25.9 adet olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Yalçın (2017), Yozgat ekolojik koşullarında bakla sayısının 19.3-22.3 adet, Afyonkarahisar ekolojik koşullarında ise bakla sayısının 17.1-27.1 adet aralığında değerler gösterdiğini bildirmiştir. Yiğit (2018), Kırşehir ekolojik koşullarında, bitkide bakla sayısını 17.67-22.76 adet olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Keskin (2020), Göksu nohut çeşidi ile Kahramanmaraş ekolojisinde yürüttüğü çalışmasının kontrol uygulamalarında bitkide bakla sayısını 26.13 adet/bitki olarak tespit ettiğini bildirmiştir.

Yaşar (2010), bitkide bakla sayısının 12.30-16.23 adet aralığında değerler gösterdiğini rapor etmiştir. Fiaz ve diğ. (2016), Pakistan'da yürüttükleri çalışmalarında, bitkide bakla sayısını 50.5-69.6 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Gündoğdu Gürbüz (2018), bitkide bakla sayısının 9.0-16.0 adet arasında değiştiğini bildirmiştir. Demirci (2019), Şanlıurfa'da 14 adet nohut

çeşidi (Azkan, Işık-05, Aksu, Çakır, Akça, Hisar, Yaşa-05, Gökçe, İnci, Çağatay, Canıtez, Diyar-95, Tavas, Arda) ile yürüttüğü çalışmada bakla sayısının 6.93 ile 13.03 adet/bitki arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Doğan ve diğ. (2019), bitkide bakla sayısını 54.9 ile 73.3 adet olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada elde edilen bitkide bakla sayısı değerleri, bazı çalışmalarda elde edilen ortalama bitkide bakla sayısından düşük olduğu belirlenirken, bazı çalışmalarda ise elde edilen ortalama değerlerden ise daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu kıyaslama sonucunda ortaya çıkan farklılıkların kaynağının çeşitlerin genetik özellikleri ve ekolojik farklılıklardan dolayı olabileceği düşünülmektedir. Özellikle yağış rejiminin farklı olması yanında toprak özelliklerinin de farklı olması nohut çeşitlerin yörelere göre farklı performans göstermelerine neden olmaktadır.

Yazlık ekimlerde vejetasyon süresinin kısa olması bakla sayısının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yeşilgün, (2006), bakla sayısının fazla olmasının, çalışmanın yapıldığı sene çiçeklenme ve bakla bağlama döneminin denk geldiği Mayıs ayında sıcaklık ve nemin uygun olmasından dolayı olabileceğini bildirmiştir. Benzer durumun Kırşehir ekolojik koşullarda da 2020 yılında ortaya çıktığı Tablo 2' deki iklim verilerinden görülebilir.

Bitkide Tane Sayısı (adet/bitki): Çalışmada, çeşitlere ait bitkide tane sayısı (adet/bitki) ortalamaları ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 5.'de verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitleri arasında bitkide tane sayısı 14.08 adet/bitki ile 30.20 adet/bitki arasında değiştiği saptanmıştır. En fazla bitkide tane sayısı ile en az bitkide tane sayısına sahip çeşit arasında ortalama 16 adet/bitki fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en fazla bitkide bakla sayısına sahip nohut çeşidi 30.20 adet/bitki ile İnci nohut çeşidi olup, bunu 25.52 adet/bitki ile Yaşa 05 nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en az bitkide tane sayısına sahip çeşit 14.08 adet/bitki ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. En az bitkide tane sayısı bakımından Hasanbey nohut çeşidini 14.64 adet/bitki ile Sarı 98 nohut çeşidi takip etmiştir. Tüm nohut çeşitlerinin Kırşehir ilinde ortalama bitkide tane sayısı 19.85 adet/bitki olarak belirlenmiştir.

Bitkide tane sayısı, bakla sayısı ve baklada tane sayısından etkilenebilen, verime önemli ve pozitif etkisi olan bir karakterdir. Çalışmada elde edilen ortalama değerler daha önce yapılan bazı çalışmalar ile kıyaslandığında, Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için yaptığı çalışmada bitkide tane sayısını 15.9-29.8 adet olarak

elde etmiştir. Pang ve diğ. (2017), yürüttükleri çalışmada yaptıkları gözlem ve ölçümlerde, su stresi yaşayan bitkilerde ortalama bitkide tane sayısını 28 ile 38 adet/bitki olarak bulduklarını bildirmişlerdir. Demircioğlu ve Yağmur (2020), bitkide tane sayısını 9.05-22.22 adet/bitki olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Karadavut ve Sözen (2020b), Kırşehir ekolojik koşullarında Hasanbey, Aksu, Seçkin, Damla 89, Gülümser, Çağatay, Sezenbey, İnci, Gökçe, Uzunlu 99 çeşitleri ile yürüttükleri çalışmada; bitkide tane sayısını 11.3-24.3 adet olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Karasu ve Vural (2006), Isparta’da yürüttükleri çalışmada, bitkide tane sayısını 8.04 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Kağan (2012), nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde verim ve verim kriterlerine etkisini belirlemeyi amaçladığı çalışmada, hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol parsellerinde elde edilen ortalama bitkide tane sayısının 60.52 adet olarak tespit edildiğini rapor etmiştir. Topçu (2019), Edirne-Uzunköprü ilçesi ekolojik şartlarında yöreye uygun nohut çeşitlerin belirlenmesi amacı ile 34 adet tescilli, 2 adet yerel nohut çeşidi ile 2017-2018 vejetasyon döneminde yürüttükleri çalışmada bitkide tane sayısını 33.63-281.33 adet olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Karadavut ve Sözen (2020a), Kırşehir’de Azkan ve Çağatay çeşidi ile farklı ekim tarihlerinde yetiştirilen nohut çeşitlerinin, bazı agronomik ve fizyolojik karakterlerini belirlemek amacıyla 2016 ve 2017 yıllarında yürüttükleri çalışmada, Çağatay çeşidi için farklı ekim zamanlarında elde ettikleri bitkide tane sayısını 35.8-46.1 adet olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Literatürde belirtilen bazı çalışmalarda elde edilen bitkide tane sayısını değerleri ile bu çalışmalarda elde edilen değerlerden daha düşük olurken, bazı çalışmalarda daha yüksek değerler bulunmuştur.

Bitkideki tane sayısı üzerine bitkilerin genetik yapısının etkisinin yanında, çevre ve iklim şartlarının da etkilerinin olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır. Çalışma, ile aynı bölgede yapılan araştırmalarda bile elde edilen değerlerin farklı olduğu görülmekte olup bunun farklı kültürel uygulamalar ve meteorolojik verilerin farklı yıllara göre farklılık göstermesinden kaynaklandığı, diğer çalışmalar ile ortaya çıkan farklılığın ise çeşitlerin genetik yapısı ve ekolojik koşullardan dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Bitkide Tane Ağırlığı (g): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ile ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 5.’de verilmiştir Denemeye alınan nohut çeşitlerinde bitkide tane ağırlığının 5.83 g ile 12.95 g arasında değiştiği saptanmıştır. En fazla bitkide tane ağırlığına sahip nohut çeşidi ile en az

bitkide tane ağırlığına sahip nohut çeşidi arasında ortalama olarak yaklaşık 7 g fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en fazla bitkide tane ağırlığına sahip nohut çeşidi 12.95 g ile Çağatay nohut çeşidi olup bunu 12.44 g ile İnci nohut çeşidi ve 11.30 g ile Sezenbey nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en düşük bitkide tane ağırlığına sahip nohut çeşidi 5.83 g ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. En düşük bitkide tane ağırlığı bakımından Hasanbey nohut çeşidini 6.54 g ile Akça nohut çeşidi ve 6.56 g ile Azkan nohut çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama bitkide tane ağırlığı 8.80 g olarak belirlenmiştir.

Çalışmada bitkide tane ağırlığının, verimin yanında 100 tane ağırlığı ve biyolojik verim ile olumlu ve önemli ilişki gösteren bir karakter olduğu görülmüştür. Çalışmada elde edilen bitkide tane ağırlığı değerleri diğer çalışmalar ile kıyaslandığında; Altınbaş ve Sepetoğlu (2001), Bornova’da yeni geliştirilen nohut hatları ve kontrol çeşitleri ile yürüttükleri çalışmalarında; genotiplerde bitkide tane verimini 11.1-13.9 g arasında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Karaköy (2008), Orta Anadolu ve Çukurova bölgelerinden elde edilen yerel nohut (*Cicer arietinum* L.) genotiplerinin tarımsal ve bitkisel özelliklerini tespit edebilmek için, iki tescilli nohut çeşidi (İnci, İzmir-92) ve 43 nohut yerel genotipi kullanarak, 2005-2006 ve 2006-2007 yetiştirme dönemlerinde yürüttüğü çalışmasının iki yıl birleşik analiz sonuçlarına göre; bitkide tane veriminin 6.6-16.1 g olarak tespit edildiğini rapor etmiştir. Sözen ve Karadavut (2019), Kırşehir ekolojik koşullarında 14 nohut çeşidi (Azkan, Akçin-91, Çağatay, Gökçe, Zuhale, Aksu, Uzunlu-99, Yaşa-05, Çakır, Akça, Sezenbey, İnci, TAEK-Sagel, Hasanbey) ile 2017-2018 yıllarında yürüttükleri çalışmada, bitkide tane veriminin 8.14-15.84 g arasında değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Yukarıda belirtilen bu çalışmalar da elde edilen bitkide tane verimi değerleri ile çalışmamızda elde edilen değerler kısmen benzerlik göstermektedir. Yeşilgün (2006), Çukurova ekolojik koşullarına uygun bazı kışlık nohut çeşitleri ile hatların tane verimi ve verim ile alakalı karakterlerini belirlemek amacı ile 14 nohut çeşidi ve hattı ile kıraç arazi şartlarında 2004/2005 yılında yaptığı çalışmada; bitkide tane ağırlığını 20.87-47 g/bitki arasında tespit etmiştir. Atalay (2009), bazı nohut genotipleri ve tescilli çeşitlerin, genetik akrabalık seviyeleri ile demir uygulamalarına karşı tepkilerini tespit etmeyi amaçlayarak sera koşullarında yürüttüğü çalışmasının kontrol uygulamasında, bitkide tane ağırlığı için elde ettiği ortalama değerin 3.77 g/bitki olduğunu bildirmiştir. Kağan

(2012), Eskişehir’de 2011 yılında, bakteri aşılama ve azot uygulamasının nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde verim ve verim kriterlerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttüğü çalışmada hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol parsellerinde bitkide tane verimi için elde edilen ortalama değerlerin 24.88 g olarak tespit edildiğini rapor etmiştir. Çerikci (2017), Kahramanmaraş’ta bölge şartlarına uygun kışlık nohut çeşitlerini tespit etmek amacıyla yaptığı çalışmada, bitkide tane ağırlığını 27.718-19.367 g olarak tespit etmiştir. Çalışmada elde edilen değerler ile literatürdeki çalışmaların farklılık göstermesinin nedenlerinin bitkilerin genetik özellikleri yanında, kışlık ekimlerde bitkilerin yağışlardan daha fazla yararlanması nedeni ile yazlık ekimlere oranla daha fazla baklaya sahip olabilmesi, farklı ekolojik şartlar ve kültürel uygulamalar nedeni ile kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kırşehir ilinde 2020 yılında yürütülen bu çalışmada, 100 Tane Ağırlığı (g), Biyolojik Verim (kg/da) ve Tane Verimi (kg/da) bakımından değerlendirmeye alınmış olan 16 farklı nohut çeşidi arasında istatistiki bakımdan önemli farklılıklar belirlenmiştir.

100 Tane Ağırlığı (g): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 6.’da verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitlerinde 100 tane ağırlığının 36.56 g ile 58.94 g arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek 100 tane ağırlığına sahip nohut çeşidi ile en düşük 100 tane ağırlığına ait nohut çeşidi arasında ortalama olarak yaklaşık 22 g fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en yüksek 100 tane ağırlığına sahip nohut çeşidi 58.94 g ile Sarı 98 nohut çeşidi olup bunu 57.34 g ile Zuhale nohut çeşidi ve 57.21 g ile Çağatay nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en düşük 100 tane ağırlığına sahip nohut çeşidi 36.56 g ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. En düşük 100 tane ağırlığı bakımından Hasanbey çeşidini 38.94 g ile Yaşar nohut çeşidi ve 39.62 g ile Azkan nohut çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama 100 tane ağırlığı 45.18 g olarak belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen 100 tane ağırlığı ortalamaları diğer çalışmalar karşılaştırıldığında, Cinsoy ve diğ. (1997), Manisa, Çanakkale, İzmir, Balıkesir, Aydın, Muğla şehirlerinden topladıkları 117 nohut örneği ile 8 tescilli nohut çeşidini değerlendirdikleri çalışmalarında, 100 tane ağırlığını 16.7-48.5 g arasında tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Babagil (2010), tarafından Muş ekolojik koşullarında Aziziye-94, Işık, Yaşar, Çağatay çeşitleri ile kışık şartlarda

yürüttüğü çalışmada, 100 tane ağırlığını 40.7- 43.9 g olarak bulduğunu rapor etmiştir. Babagil (2011), tarafından yürütülen bir çalışmada, 100 tane ağırlığının 42.8-46.2 g arasında olduğunu bildirmiştir. Biçer ve Anlarsal (2004), Diyarbakır dolaylarından elde ettikleri 43 kabulü tip, 3 desi tip yerel nohut çeşidi ve iki adet tescilli nohut çeşidi ile 1999 ve 2000 seneleri ilkbahar yetiştirme sezonunda yürüttükleri çalışmada 100 tane ağırlığını 9.61-39.81 g olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Karakan Kaya (2014), Elazığ ekolojik şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve adaptasyon kabiliyetlerini tespit etmek amacıyla yürüttüğü çalışmada 100 tane ağırlığını 25.6-38.5 g olarak tespit ettiğini bildirmiştir.

Nohutta 100 tane ağırlığı çeşitlerin genetik yapısının yanında yağış miktarı, nem ve sıcaklık gibi ekolojik faktörlerden de etkilenmektedir. Çalışmamız ile literatürdeki bazı çalışmaların farklılık göstermesinin bitkilerin genetik yapısı yanında ekolojik faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 6. Farklı Nohut Çeşitlerinde 100 Tane Ağırlığı (g), Biyolojik Verim (kg/da) ve Tane Verimi (kg/da) İlişkin Ortalama Değerler ve Ortalamalar Arası Farkın Duncan Testi Sonuçları.

Çeşit Adı	100 Tane Ağırlığı (g)	Biyolojik Verim (kg/da)	Tane Verimi (kg/da)
ILGAZ	45.41 c	273.33 cde	103.85 defgh
HASANBEY	36.56 e	204.00 e	67.45 h
AZKAN	39.62 de	227.06 cde	78.45 gh
UZUNLU 99	43.55 cd	321.60 bcd	121.90 cdef
AKÇA	41.59 cd	194.87 e	78.05 gh
AKSU	43.73 cd	215.27 de	83.20 fgh
TAEK-SAGEL	40.21 de	213.07 de	84.45 efgh
İNCİ	41.16 cde	412.00 ab	166.55 ab
SARI 98	58.94 a	289.00 cde	109.20 cdefg
ÇAKIR	42.44 cd	328.40 bcd	123.70 cdef
ÇAĞATAY	57.21 a	450.00 a	174.25 a
GÖKÇE	45.20 c	267.60 cde	108.43 cdefgh
YAŞA 05	38.94 de	334.20 bc	129.55 bcd
ARDA	40.81 cde	236.07 cde	89.00 defgh
SEZENBEY	50.27 b	416.40 ab	149.55 abc
ZUHAL	57.34 a	334.73 bc	125.25 bcde

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (Duncan, $p \leq 0.01$)

Biyolojik Verim (kg/da): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 6.'de verilmiştir. Denemeye alınan nohut çeşitlerinde biyolojik veriminin 194.87 kg/da ile 450 kg/da arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek biyolojik verime sahip nohut çeşidi ile en düşük biyolojik verime sahip nohut çeşidi arasında ortalama olarak yaklaşık 255 kg/da fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en yüksek biyolojik verime sahip nohut çeşidi 450 kg/da ile Çağatay nohut çeşidi olup, bunu 416.40 kg/da ile Sezenbey nohut çeşidi ve 412 kg/da ile İnci nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en düşük biyolojik verime sahip nohut çeşidi 194.87 kg/da ile Akça nohut çeşidi olmuştur. En düşük biyolojik verim bakımından Akça nohut çeşidini 204.00 kg/da ile Hasanbey ve 213.07 kg/da ile TAEK-Sağel nohut çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama biyolojik verimin 294.85 kg/da olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen biyolojik verim ortalamaları ile diğer çalışmalar karşılaştırıldığında, Bıçaksız (2010), ortalama olarak çeşitlerin birim alan biyolojik verimini 194.67 g/m² ile 301.87 g/m² arasında tespit ettiğini bildirmiştir. Yaşar (2010), Güneydoğu Anadolu Bölgesi ekolojik şartlarında yetiştiriciliği yazlık olarak yapılan bazı nohut çeşit ve hatlarının tane verimi ve verimle ilgili karakterlerini tespit etmek amacıyla Diyarbakır ilinde 9 hat ve 6 çeşit (İnci, Çağatay, Gökçe, Diyar-95, Yaşa-05, ILC-482) ile 2009 yılı yetiştirme sezonunda yürüttüğü çalışmada, biyolojik verimin 312.4-446.0 kg/da aralığında değerler gösterdiğini saptamıştır. Dinç (2014), Van ekolojik şartlarında yazlık olarak yetiştiriciliği yapılabilecek nohut çeşitleri ile bunların önemli tarımsal ve bitkisel özelliklerini tespit edebilmek için, 14 nohut çeşidi (Yaşa-05, Hisar, Azkan, Işık-05, Seçkin, İnci, Diyar-95, Taek, Çağatay, Hasanbey, Aksu, Çakır, Zühal, Ilgaz) ile 2013 yılı yetiştirme döneminde yaptığı çalışmada ortalama biyolojik verimi 171.96-313.33 kg/da olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Sarımurat (2017), Van ekolojik şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve teknolojik karakterlerini belirlemek amacıyla tescil edilmiş 12 nohut çeşidi (Azkan, Arda, Aydın, Çağatay, Diyar-95, Gülümser, Hasanbey, İzmir-92, İnci, Zühal, Seçkin, Sezenbey) ile yürüttüğü çalışmasının sonucunda, biyolojik verimin 319.30-466.06 kg/da olarak tespit edildiğini rapor etmiştir. Tetik (2019), Bolu ekolojik koşullarında Türkiye'de tescil edilmiş bazı nohut çeşitlerinin adaptasyon yeteneklerini ve verim potansiyellerini belirlemek için tescilli 16 nohut çeşidi (Akça, Akçin-91, Arda, Azkan, Çakır, Diyar-95, Gökçe, Hasanbey, Ilgaz, İnci,

İzmir-92, Sarı-98, Seçkin, Sezenbey, TAEK-Sağel, Yaşa-05) ile 2018 yılında yürüttüğü çalışmada biyolojik verimin 236.1-587 kg/da arasında değiştiğini bildirmiştir. Bakoğlu ve Ayçiçek (2005), biyolojik verimin 151.80-201 kg/da aralığında değişim gösterdiğini tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Beysarı (2012), Bingöl şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve verim öğelerini belirlemek için yürüttüğü çalışmasının sonucunda biyolojik verimi 176.9-214.1 kg/da olarak elde ettiğini bildirmiştir. Karakan Kaya (2014), Elazığ ekolojik şartlarında bazı nohut çeşitlerinin verim ve adaptasyon kabiliyetlerini tespit etmek amacıyla yürüttüğü çalışmada, biyolojik verimi 123.1-214.9 kg/da olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Aydın (2019), Harran Üniversitesi araştırma deneme alanında 2015-2016 yetiştirme döneminde kışlık olarak gerçekleştirdiği çalışmada biyolojik verimi 80-237.67 g olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Literatürde gösterilen bu çalışmalarda elde edilen biyolojik verime ait üst değerler çalışmamızda elde edilen değerlere yakın olsa da alt değerler elde ettiğimiz değerlerden daha düşük olmuştur.

Toprakta bulunan nem ve besin maddelerinden dolayı bitki sıklığının doğal olarak biyolojik verimi etkilemekte, bununla birlikte birim alandaki bitki sayısının belirli bir sayıya kadar artırıldığında biyolojik verimin arttığı ancak optimum değerden sonra bitki sıklığının biyolojik verimle ters orantılı ilişki gösterebilmektedir (Sarımurat, 2017). Çalışmada biyolojik verime dair elde edilen verilerin literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermesinin nedeninin bitkini genetik yapısı, farklı ekolojik koşullar ve farklı kültürel uygulamalar nedeni ile olduğu düşünülmektedir.

Tane Verimi (kg/da): Çalışmada, çeşitlere ait ortalamalar ve ortalamalar arasındaki Duncan testi sonuçları Tablo 6.'de verilmiştir. Nohut çeşitlerinde, tane veriminin 67.45 kg/da ile 174.25 kg/da arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek tane verimine sahip nohut çeşidi ile en düşük tane verimine sahip nohut çeşidi arasında 107 kg/da fark olduğu bulunmuştur. Çalışmada en yüksek tane verimine sahip nohut çeşidi 174.25 kg/da ile Çağatay nohut çeşidi olup, bunu 166.55 kg/da ile İnci nohut çeşidi ve 149.55 kg/da ile Sezenbey nohut çeşidi takip etmiştir. Çalışmada en düşük tane verimine sahip nohut çeşidi 67.45 kg/da ile Hasanbey nohut çeşidi olmuştur. En düşük tane verimi bakımından Hasanbey nohut çeşidini 78.05 kg/da ile Akça nohut çeşidi ve 78.45 kg/da ile Azkan nohut

çeşidinin takip ettiği bulunmuştur. Tüm çeşitlerin Kırşehir ilinde ortalama tane verimi 112.05 kg/da olarak belirlenmiştir.

Bitki ıslahçılarının üzerinde durdukları en önemli özelliklerden biri olan tane verimi yeni çeşit geliştirilmesinde dikkate alınan kriterlerin başında gelmektedir. Çalışmada elde edilen tane verimi değerleri ile Bayrak ve Önder (2017), yürüttükleri çalışmada, tane veriminin 78.14-154.12 kg/da aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Biçer ve diğ. (2017), yürüttüğü çalışmalarında, kışlık ekimlerde tane veriminin 92.2-195.4 kg/da, ilkbahar ekimlerinde 81-140.3 kg/da olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Sarımurat (2017), yürüttüğü çalışmasının sonucunda tane verimini 111.73-162.83 kg/da olarak tespit ettiğini rapor etmiştir. Yiğit (2018), Kırşehir ekolojik koşullarında bazı nohut çeşitlerinin farklı tohum iriliği ve ekim zamanlarında verim ve kalite performanslarının belirlenmesi amacıyla yürüttüğü çalışmada; tane verimini 113.15-146.99 kg/da olarak elde ettiğini bildirmiştir. Aydoğan (2019), bazı nohut çeşitlerinin Eskişehir ekolojik şartlarında tarımsal özelliklerinin ve özellikler arası ilişkilerini belirlemek amacıyla 12 nohut çeşidi (Akça, Azkan, Gökçe, Uzunlu 99, Hasanbey, Çakır, Akçin 91, İnci, Çağatay, Sezenbey, Zuhal, TAEK-Sağel) ile 2018 yılında yürüttüğü çalışmada, tane verimini 72-197 kg/da arasında tespit ettiğini bildirmiştir. Karadavut ve Sözen (2020b), Kırşehir ekolojik koşullarında Hasanbey, Aksu, Seçkin, Damla 89, Gülümser, Çağatay, Sezenbey, İnci, Gökçe, Uzunlu 99 çeşitleri ile yürüttükleri çalışmada; birim alan tane verimini 118.7-185.5 kg/da olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Bunun yanında Ceran (2015), Konya-Sarayönü koşullarında verim ve kalite özelliklerini belirlemek amacıyla 3 nohut çeşidi (Akçin, Azkan, Gökçe) ile 2014 yılında iki farklı ekim zamanında (16 Mart ve 17 Mayıs) yürüttüğü çalışmada tane veriminin 182.63-277.77 kg/da arasında farklılık gösterdiğini rapor etmiştir. Demirci (2019), Şanlıurfa'da 14 adet nohut çeşidi (Azkan, Işık-05, Aksu, Çakır, Akça, Hisar, Yaşa-05, Gökçe, İnci, Çağatay, Canitez, Diyar-95, Tavas, Arda) ile yürüttüğü çalışmada tane verimini 140.66-398.70 kg/da arasında değiştiğini tespit ettiğini bildirmiştir. Karadavut ve Sözen (2020a), Kırşehir'de Azkan ve Çağatay çeşidi ile yürüttükleri çalışmada Çağatay çeşidi için farklı ekim zamanlarında tane veriminin 62.3-86.8 kg/da arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarda elde edilen bulgulara göre kışlık ekimlerde tane veriminin daha yüksek olduğu görülürken, yazlık ekimlerde tane veriminin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yürütülen çalışma sonuçlarının çoğunlukla yazlık ekimlerde

elde edilen ortalama değerler ile benzerlik göstermektedir. Tane veriminin çeşitlerin genetik yapısı, iklim, toprak gibi faktörlerden etkilendiğini, yazlık yetiştiricilik yapılan koşullarda bitkiler kış yağışlarından yararlanamadığı için yetiştirme süresi kısa olduğunu bundan dolayı da tane veriminin düşük olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER: Çalışmada en yüksek tane verimine sahip Çağatay nohut çeşidini İnci ile Sezenbey nohut çeşitleri takip etmiştir. Sonuç olarak çalışmanın tek yıllık olmasına rağmen Çağatay, Sezenbey ve İnci nohut çeşitleri Kırşehir ekolojik koşullarında ümitvar nohut çeşitler oldukları belirlenmiştir. Çalışmanın iki yada üç yıl daha tekrarlanması sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akçin, A., 1988, Yemeklik Dane Baklagiller, Selçuk Üniversitesi Yayınları:43, Ziraat Fakültesi Yayınları:8. 1988, Konya.
- Anonim, (2020a), biruni.tuik.gov.tr/medas
- Anonim, (2020a), Kırşehir Meteoroloji Müdürlüğü.
- Atalay, E., 2009, Türkiye’deki Tescilli Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin ve Bazı Nohut Genotiplerinin Demir Uygulamalarına Gösterdikleri Tepkilerin ve Genetik Akrabalık Derecelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, B., 2019, Siirt, Şırnak ve Hakkari İllerinde Toplanan Yabani Nohut Türlerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydoğan, Y., 2019, Eskişehir Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Tarımsal Özelliklerinin ve Özellikler Arası İlişkilerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Babagil, G.E., 2010, Muş Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Değerlendirilmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7 (3), sayfa, 181-186.
- Babagil, G.E., 2011, Erzurum Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerinin İncelenmesi, Anadolu Tarım Bilim Derg., 26 (2), 122-127.
- Bakoğlu, A., Ayçiçek, M., 2005, Bingöl Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Öğeleri Üzerine Bir Araştırma, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 107-113.
- Basha, S. J., Lakshmi, V. J., Reddy, A.T., Kamakshi, N., Ahammed S.K., 2018, Estimate of Growth and Yield Parameters of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars Amenable to Mechanical Harvesting, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(5): 2089-2091.
- Bayrak, H., 2010, Konya Ekolojisinde Tarımı Yapılan Yerel Nohut Popülasyonları ve Çeşitlerin Tarımsal, Teknolojik ve Besinsel Karakterlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Bayrak, H., Önder, M., 2017, Konya Ekolojisinde Tarımı Yapılan Yerel Nohut Popülasyonları ve Çeşitlerinin (*Cicer arietinum* L.) Tarımsal, Teknolojik ve Besinsel Karakterlerinin Belirlenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26 (Özel Sayı): 52–61.
- Beysarı, V., 2012, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Bingöl Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bıçaksız, Y., 2010, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Orta Anadolu Koşullarına Adaptasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Biçer, B.T., Albayrak, Ö., Akıncı, C., 2017, Farklı Ekim Zamanlarının Nohutta Verim ve Verim Unsurlarına Etkisi, ADÜ Ziraat Derg.14 (1), 51-57.
- Biçer, B.T., Anlarsal A.E., 2004, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Köy Çeşitlerinde Bitkisel ve Tarımsal Özelliklerin Belirlenmesi, Tarım Bilimleri Dergisi 10 (4), 389-396.
- Cinsoy, A.S., Açıkgöz, N., Yaman, M., Kıtık, A., 1997, Ege Bölgesinden Toplanan Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genetik Kaynakları Materyalinin Karakterizasyonu: I-Kantitatif Karakterler, ANADOLU J.of. AARI, 7,(1), 43-59.
- Çerikci, M.Ç., Kahramanmaraş Koşullarına Uygun Kışlık Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çokkızgın, A., 2012 Botanical Characteristics of Chickpea Genotypes (*Cicer arietinum* L.) Under Different Plant Densities İn Organic Farming, Scientific Research and Essays Vol. 7(4), Pp. 498-503.
- Dar, J.S., Pushpa, Rehmani, M.I.A., Abbassi, Z.A., Magsi, A.G., 2016, Effect of Starter Nitrogen on Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) at Dokri, Larkana. Pure and Applied Biology. Vol. 5, Issue 4, pp. 1296-1303.
- Demir I. 2020. Inter and intra row competition effects on growth and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under rainfed conditions. J. Anim. Plant Sci 30, 147-153
- Demirci, Ö., 2019, Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının

- Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirci, Ö., Bildirici, N., 2020, Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı 20, Sayfa 656-662.
- Demircioğlu, K., Yağmur, M., 2020, Farklı Gama Işını Dozları Uygulanmış Bazı Nohut Çeşitlerinin M₂ Generasyonunda Morfo-Agronomik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Derg.* 24(4): 447-457.
- Dinç, A., 2014, Türkiye’de Tescil Edilmiş Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Van Koşullarında Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, Y., Doğan S., Kendal, E., 2019, Bazı Kışlık Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Mardin Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi, *ISPEC Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi*, 10-12 Haziran 2019, Siirt, ISPEC Yayın Evi, ISBN 978-605-7811-02-8, 820-873.
- Erdemci, İ., 2012, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Koşullarında Farklı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genotiplerinin Yazlık ve Kışlık Ekimlerinde Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erden, Z., 2014, Siirt Ekolojik Koşullarında Nohut'un (*Cicer arietinum* L.) Çeşit ve Adaptasyon Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertem, T., 2019, Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genotiplerinin Adaptasyon Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fiaz, S., Aslam, M., Wattoo, F.M., Riaz, A., Bashir, I., 2016, Interrelationships Among Yield and Yield Contributing Traits in Chickpea (*Cicer arietinum* L.), *International Journal of Biosciences* Vol. 9, No. 2, p. 49-57. ISSN: 2220-6655.
- Gul, R., Ahmad, G., Khan, S.A., Ullah, H., Shah, K., Safi, M.I., Kakakhel, A., Hussain, S., Khan, Y., Ali, A., 2015, Effect of Seeds Size on Yield and

- Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum*), *Journal of Bio-Molecular Sciences (JBMS)* 3(2): 56-65.
- Gündoğdu Gürbüz, L., 2018, Bingöl Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Janmohammadi, M., Abdoli, H., Sabaghnia, N., Esmailpour, M., Aghaei, A., 2018, The Effect Of Iron, Zinc and Organic Fertilizer on Yield of Chickpea (*Cicer artietinum* L.) in Mediterranean Climate. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1): 0049–0060.
- Kağan, S., 2012, Bakteri Aşılama ve Azot Uygulamasının Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Ögelerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karadavut U., Sözen, Ö., 2020b, Multivariable Analysis Of Characters Affecting Yield In Chickpea Plants, *J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci.*, 8(3): 155-160.
- Karadavut, U., Sözen, Ö., 2020a, Farklı Ekim Zamanlarında Yetiştirilen Nohut Bitkilerinin (*Cicer arietinum* L.) Bazı Agronomik ve Fizyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 7(4): 904–912.
- Karakan Kaya, F., 2014, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Elazığ Koşullarındaki Verim ve Adaptasyon Yeteneklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaköy, T., 2008, Çukurova ve Orta Anadolu Bölgelerinden Toplanan Bazı Yerel Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genotiplerinin Verim ve Verimle İlgili Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karasu, A., Vural H., 2006, Bazı Nohut Genotiplerinin (*Cicer arietinum* L.) Isparta Şartlarında Adaptasyonu Üzerine Kantitatif Bir Yaklaşım, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Sayı:2 Cilt, 21, Sayfa, 9-13.
- Keskin, S.B., 2020, Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Organik Toprak Karışımlarının Nohut Bitkisinde Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kumar, A., Kumar, N., Preeti, Kumar, S., 2019, Evaluation of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes through Phenological Traits under Different Sowing Dates, *Ind. J. Pure App. Biosci.* 7(6), 221-225.
- Kumar, K., Sardana, S., Singh, M., Gautam, N.K., 2016, Management of Germplasm Collections in Chickpea, *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, Vol-1, Issue-3, Sept-Oct. ISSN: 2456-1878.
- Millan, T., Clarke, H.J., Siddique K.H.M., Buhariwalla H.K., Gaur, P.M., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., Winter, P., 2006, Chickpea Molecular Breeding: New Tools and Concepts, *Euphytica* 147: 81–103.
- Pang, J., Turner, N.C., Khan, T., Du, Y., Xiong J., Colmer, T.D., Devilla, R., Stefanova, K., Siddique, K.H.M., 2017, Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 68, No. 8 pp. 1973–1985.
- Patan, F., 2014, Tescilli Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Erzurum Ekolojik Koşullarına Adaptasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sarımurat, M.Ş., 2017, Van Ekolojik Koşullarında Yetiştirilen Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sohu, I., Gandahi A.W., Bhutto, G.R., M.S., Sarki, M.S., Gandahi, R., 2015, Growth And Yield Maximization of Chickpea (*Cicer arietinum*) Through Integrated Nutrient Management Applied To Rice-Chickpea Cropping System, *Sarhad Journal of Agriculture*, 31(2): 131-138.
- Sönmez, V., Kumlay, A.M., (2021), Adıyaman Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Sayı, (23), Sayfa, 656-665.
- Sözen, Ö., Karadavut, U., 2018, Yerel Nohut Genotiplerinde Erken Generasyon Döneminde Tane Verimi ve Verim Komponentleri İçin Seleksiyon Üzerine Bir Araştırma, Uluslararası Katılımlı Türkiye 6. Tohumculuk Kongresi, 10-13 Eylül 2018, Niğde.

- Sözen, Ö., Karadavut, U., 2019, Statistical Analysis Of Some Characters Affecting Yield In Chickpea Varieties Which Can Be Breeded In Arid Climate Conditions, J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci., 7(4):145-149.
- Steel, R.G., Torrie, J.H., 1960. Principles and procedures of statistics. Mc-Oraw-Hill Book Comp. Inc. New York.
- Şahiner A, İ Demir, 2020.Kırşehir ekolojik koşullarında bazı şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences 10 (2), 71-75
- Şehirali, S., 1988, Yemeklik Tane Baklagiller, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1089, Ders Kitabı 314.
- Tetik, S., 2019, Türkiye’de Tescil Edilmiş Bazı Nohut Çeşitlerinin Bolu Şartlarında Verim ve Bazı Öğelerinin Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topçu, M., 2019, Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinin Edirne Koşullarında Verim ve Verim Unsurlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uzun, A., Özçelik, H., Yılmaz, S., 2012, Seçilmiş Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hatlarının Agronomik ve Kalite Özellikleri Bakımından Değerlendirilmesi, Akademik Ziraat Dergisi 1(1): 29-36.
- Ünlüyurt E, İ Demir 2020. Farklı azot dozlarının Kırşehir sulu şartlarında yağlık ayçiçeğinde verim ve verim öğelerine etkileri. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences 10 (2), 65-70
- Yalçın, F., 2017, Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaşar, M., 2010, Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hat ve Çeşitlerinin Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeşilgün, S., 2006, Çukurova Bölgesinde Bazı Kışlık Nohut (*Cicer arietinum* L.) Hat ve Çeşitlerinin Bitkisel ve Tarımsal Özelliklerinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Yıldırım, İ., 2006, Uygun Çeşit Geliştirmek Üzere Seçilen Nohut (*Cicer arietinum* L.) Genotiplerin Performanslarının Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yiğit, M., 2018, Bazı Nohut Çeşitlerinin Farklı Tohum İriliği ve Ekim Zamanlarında Verim ve Kalite Performanslarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zeren, Y., Özcan, T., Işık, A. 1991. Nohut hasat ve harman mekanizasyonu üzerinde bir araştırma. *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık dergisi*, 15:215-223

BÖLÜM 12

TARIMDA YAPAY ZEKA İLE UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANIMI

Prof. Dr. Halil GÜNEK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16778940>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü Kırşehir, Türkiye. halil.gunek@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2005-2743

GİRİŞ

Nüfus artışı artık yavaşlamaktadır, özellikle gelişmiş ülkelerde düşük doğurganlık nedeniyle bazı bölgelerde nüfus durağanlaşmakta olmasına rağmen Sahra Altı Afrika ve Güney Asya gibi bölgelerde nüfus artışı hızlı olduğu için halen artmaktadır. Artan nüfusla birlikte, özellikle tahıl, sebze, et ve süt ürünlerine olan talep artmaktadır. Verimli tarım arazilerinin azalması, iklim değişikliği, su kıtlığı ve biyolojik çeşitlilik kaybı bu artan talebi karşılamayı zorlaştırmaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde gıda güvensizliği riski atmaktadır. Ayrıca, mevcut üretimin yaklaşık %30'unun israf edilmesi de gıda güvenliği için önemli bir probleme sebep olmaktadır. (FAO, 2019). Tarımda yapay zeka, bu israfın azaltılması, artan nüfusu beslemek için önemli bir stratejilerin, tekniklerin ve uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Artan dünya nüfusu için, hızlı, doğru, depolanır ve sorgulanabilir veri üretmenin yollarında biri uzaktan algılama ile uydu görüntülerinin analizidir. Uydu görüntülerinin yapay zeka ile kullanımı, tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için son derece önemli bir araç haline gelmiştir. Bu alanda yapılan araştırmalar, tarımsal üretimin optimizasyonu, kaynak yönetimi ve küresel gıda güvenliğinin sağlanması açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. Tarımda yapay zeka ile uydu görüntülerinin kullanımı, tarımsal verimliliği ve kaynak verimliliğini artırmak için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu teknolojilerin entegrasyonu, küresel gıda güvenliği sorunlarına çözüm üretebilir ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyebilir.

Yapay zekanın (AI) ve uydu görüntülerinin entegrasyonu, hassas tarım uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. AI algoritmaları ve derin öğrenme teknikleri, uydu görüntülerinin analizi ile birlikte kullanılarak, tarımsal üretim süreçlerinin her aşamasında verimlilik artışı sağlayabilir. Bu entegrasyon, üretim optimizasyonu, kaynak yönetimi, hastalık ve zararlı tespiti, mahsul tahminleri ve ürün kalitesi izleme gibi alanlarda fayda sağlamaktadır (Guntuka, 2024, Singh, 2024). Ayrıca, uydu görüntülerindeki bulutlar ve gölgeler tarafında örtülen alanlar, derin sinir ağları kullanılarak temizlenebilir, böylece tarımsal bilgi sistemlerinde daha çok sayıda uydu verilerinin etkinliği ve doğruluğu artırılabilir (Nikolaev, 2025). Yapay zeka (AI) ve uydu görüntülerinin entegrasyonu, tarımsal verimliliği, verim optimizasyonunu ve kaynak verimliliğini iyileştirebilir (Guntuka, 2024, Singh, 2024). Bu

entegrasyon, hassas tarım uygulamalarını, tahmine dayalı analitiği, otomatik ekipmanları ve kaynak yönetimini mümkün kılarak, tarımsal üretkenliği artırabilir ve kayıpları azaltabilir (Singh, 2024, Qarawy, 2023). Ayrıca, AI destekli, uzaktan algılama yardımıyla bitkilerin su eksikliğini belirleyerek, akıllı sulama sistemleri teknikleri, suyun doğru ve yerinde kullanımını çevresel sürdürülebilirliği sağlayabilir.

Bitki indislerinin yapay zeka ile kullanımları, tarım, bahçecilik ve hassas ıslah uygulamalarında büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bitki fenotipi belirleme sürecinde yapay zekanın rolü, birçok alanda kendini göstermektedir. Çok sayıda biyolojik sistemlerin kapsamlı analizi olarak ifade edilmektedir, bitki fenotipleme araştırmalarını ve uygulamalarında yüksek ayır ediciliğinden dolayı devrim niteliğinde dönüştürmektedir (Cembrowska-Lech, 2023). Ayrıca, AI, küresel tarımsal ve çevresel zorlukların üstesinden gelmek için hayati önem taşıyan bitki fenotiplenmesi sırasında veri analizi verimliliğini ve doğruluğunu artırmaktadır. Hassas bitki fenotiplemelerine yardımcı olmak için güvenilir bir AI sistemi tasarlamak AI uzmanları arasındaki işbirliğini içeren yüksek kaliteli fenotipik özellik açıklayan çalışmalara yol açacaktır. (Guo, 2024).

Yapay zeka tarımsal ve çevresel sistemlerdeki küresel değişiklikler, doğal kaynakların ve gıda güvenliğinin daha verimli kullanılmasını sağlamak ve bitkilerdeki karmaşık özellikleri yüksek doğrulukla değerlendirmek için temeldir Algılama cihazlarının uygulanması ve yüksek boyutlu verilerin elde edilmesi, yeni nesil tarımın ihtiyaçlarını karşılamak ve mahsullerde üremeyi artırmak için kilit bir rol oynayacaktır. (Tripodi, 2022).

Teknolojik ilerleme ile çok sayıda bitki örtüsü endeksleri (VIs) geliştirilmiştir. AI ve çeşitli uzaktan algılama uygulamaları ile VI indisleri, özellikle hassas tarım alanında yüksek verimli değerlendirmeler sağlar. VIs, bitki örtüsünün farklı nicel ve nitel yönlerini analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılabilir. Genellikle mahsul veya bitki örtüsü değerlendirmesi için kullanılanlar, mahsul klorofil, sağlık, nem ve üretim tahminlerinde sıklıkla kullanılırlar. (Tayade, 2022). Ayrıca, görüntü tabanlı bitki fenotiplemede derin öğrenme teknikleri, bitkilerin agronomik özelliklerini değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Ürün sağlığını korumak küresel gıda güvenliği için gereklidir, ancak manuel bitki izleme yöntemleri, stres faktörlerinin ve hastalıkların tespiti için

genellikle yetersizdir. Bu zorluğu aşabilmek için, sıralı uydu görüntüleri kullanarak, bitki sağlığı değerlendirmesi için derin bir öğrenme algoritmaları kullanılır. (Fuentes, 2025). İnsansız hava araçları ile görüntüleme sistemlerinin ve derin öğrenme tekniklerinin birleştirilmesi, bitki sağlığı değerlendirmesini tamamen dönüştürebilmekte ve çiftçilere, agronomistlere ve araştırmacılara önemli bir destek sağlamaktadır (Sundravadivelu, 2023). Bu yaklaşım, mahsul verimini artırırken, kaynak girdilerini ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Ayrıca, IoT tabanlı sistemler, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri, nem, sıcaklık, ışık yoğunluğu ve toprak nemi gibi çevresel parametreleri izleyerek bitkilerin sağlık durumunu tahmin edebilmektedir (Meena, 2023). Bu akıllı tarım uygulamaları, azalan tarım kaynaklarına ve artan nüfusa karşı mücadele etmede önemli bir rol oynamaktadır

Bitki çeşitliliğinin sınıflandırılması için destek vektör makineleri (SVM) ve karar ağaçları (DT) gibi makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılması, bu alanda önemli bir araştırma konusudur. (Assegie, 2020). SVM'ler, uydu görüntülerini, referans veri setlerini ve orman kaynaklarına ilişkin bilgileri sınıflandırmada, DT'lerden daha yüksek doğruluk ve verimlilik sergilemektedir. SVM'lerin karar ağacı tabanlı destek vektör makineleri gibi diğer tekniklerle birleştirilmesi, bitki çeşitliliği sınıflandırmasının performansını daha da artırabilmektedir ((Mulay, 2010). Bu hibrit yaklaşım, gelecekteki görülmemiş verilerde daha iyi genelleme ve büyük ölçekli sınıflandırma görevlerine uygulanabilirlik sağlamaktadır.

Bu da SVM'lerin, farklı bağlamlarda bitki çeşitliliği sınıflandırması için çok yönlü ve etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. SVM ve DT kullanımı, bitki çeşitliliği bilgilerinin daha verimli ve doğru bir şekilde elde edilmesini sağlayarak, bilimsel yönetim ve kaynakların etkin kullanımına olanak tanımaktadır (Zhang, 2023). Bu durum, koruma çalışmaları, ekosistem yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma açısından önem taşımaktadır.

Bitki hastalıklarının teşhisinde, makine öğrenmesi algoritmaları ve karmaşık ağ analizinin uygulanması, erken tespit ve mahsul kayıplarının önlenmesine büyük katkı sağlamaktadır ((Singla, 2023, S, 2023). Lojistik regresyon, sinir ağları, destek vektör makineleri ve evrişimli sinir ağları (CNN) gibi çeşitli makine öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır.

Yapay zeka (AI) sistemleri, hava koşulları, mahsul sağlığı ve toprak koşullarını belirlemek için sensörlerden, uydu görüntülerinden ve diğer

kaynaklardan gelen büyük miktarda veriyi analiz eder. Yapay zeka uygulamaları, öngörücü analitik, otomatik ekipman ve kaynak yönetimi yoluyla mahsul optimizasyonuna odaklanarak ayrıntılı bir değerlendirmesi yoluyla, sürdürülebilirliği sağlamak ve verimleri artırmak için tarımsal operasyonları mümkün kılar (Perumallapalli, 2025). Çoklu uydu platformlarından gelen verilerin bütünleştirilmesi, tarım alanlarında verimliliği artırmaya yardımcı olabilir. Veri füzyonu yöntemleri, uydu gözlem verilerinin entegrasyonunu ve daha eksiksiz ve doğru coğrafi veri setlerinin oluşturulmasını sağlayabilir.

Yeni nesil derin öğrenme algoritmaları, tarımsal verimliliği artırmada önemli bir etkiye sahiptir. Bu algoritmaların etkinliği, bölgesel destek, yağış miktarı ve veri seti özelliklerine bağlı olarak Derin öğrenme algoritmaları, üretim sürelerini etkileyen faktörleri belirlemek ve üretim süreçlerini iyileştirmek için kullanılabilir. Ayrıca, tarım sektöründe destek ve verimlilik arasındaki ilişkinin incelenmesi, politika yapıcılar için değerli bilgiler sağlayabilir.

Bitki Islah Sistemleri (BIS) ve AI entegrasyonu, tarımsal sistemlerin verimliliğini ve etkinliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu entegrasyon, iklim değişikliği, nüfus artışı ve gıda güvenliği endişelerine karşı uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamaya yardımcı olabilir. AI teknolojilerinin tarımda benimsenmesi, kaynak dağılımının optimize edilmesine, çevresel etkinin en aza indirilmesine ve sürdürülebilirliğin artmasına yol açabilir. AI'nın tarımdaki uygulamaları, hassas tarım, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve yapay zekânın (YZ) entegrasyonu, hassas tarım, gerçek zamanlı izleme ve veriye dayalı karar almayı mümkün kılarak modern tarımı yeniden şekillendirmiştir. (Miller, 2025).

Nesne tanıma algoritmaları ve makine öğrenmesi teknikleri, uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında ve tarımsal uygulamalarda kullanılabilir. Farklı algoritmaların karşılaştırmalı değerlendirmesi, seçilen algoritmanın ve veri özelliklerinin doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, uydu görüntülerinin analizi, mahsul zararlılarının ve hastalıkların tanımlanması ve izlenmesi tarımsal üretim için çok önemlidir. Çünkü bu olumsuzluklar mahsul büyümesini ve tarım ürünlerinin kalitesini doğrudan etkilerler. (Yang, 2024). Ayrıca, derin öğrenme mimarileri ve otomatik sınıflandırma yöntemleri, tarımsal alanların belirlenmesi ve izlenmesinde önemlidir.

Uydu görüntülerinin zaman serisi analizi, tarım verimliliğini artırmak için önemli bir araçtır. Bu analizler, bitki örtüsü üretkenliğinin izlenmesini ve mahsul sağlığı dinamiklerinin değerlendirilmesini kolaylaştırabilir ([Zacharia, 2025](#)). Ayrıca, tarımsal ürün tahminlerinin doğruluğunu artırmak için zaman serisi analizi yaklaşımları kullanılabilir geniş alanlarda kullanılmaktadır.

Tarımsal alanlarda uydu görüntülerinin sürekli izlenmesi için otomatik sınıflandırma yöntemleri kullanılabilir. Farklı kaynaklardan (örn. Sentinel-1 ve Sentinel-2) gelen uydu görüntülerinin birleştirilmesi, tarım alanlarındaki mahsul türü sınıflandırma performansını artırabilir ([Moumni, 2021](#)). İnsansız hava araçları ve uydu görüntüleri, tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için kullanılabilir. Derin öğrenme mimarileri, Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) gibi, tarımsal alan dinamiklerini karakterize etmek ve büyük ölçekli tarım alanlarının izlenmesini sağlamak için kullanılabilir. Otomatik arazi örtüsü sınıflandırması, çevre koruma, afet yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma için destek sağlayabilir ([Lakshmi, 2024](#)). Modern derin ağlar, uzaktan algılama verilerinden tarım arazilerini güvenilir bir şekilde çıkarabilir ([Bonagiri, 2025](#)).

Uydu görüntülerinden elde edilen verilerin zaman serisi analizi, tarım verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir. Bu analiz, bitki örtüsü üretkenliği izlemenin doğruluğunu artırarak ve mahsul sağlığı dinamiklerini bütünsel olarak değerlendirerek fayda sağlayabilir ([Kooistra, 2024](#), [Zacharia, 2025](#)). Uydu görüntüsü zaman serileri, mahsul sağlığı dinamiklerini analiz etmek ve gelecekteki bitki örtüsü koşullarını tahmin etmek için kullanılabilir ([Zacharia, 2025](#), [Singh, 2023](#)). Makine öğrenmesi teknikleri, karar ağacı ve ekstra ağaç regresyon modelleri gibi, toprak kalitesi değerlendirmesi ve toprak nemi tahmin modellerinde yüksek doğruluk elde etmek için kullanılabilir ([Alshaya, 2025](#)). Uydu görüntülerinin zaman serisi analizi ayrıca tarımsal kuraklık ve çölleşme gibi çevresel ve ekonomik zorlukların tarım verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılabilir ([A.Khalaf, 2024](#)).

Sonuç olarak, yapay zeka ve uydu görüntülerinin tarımda entegrasyonu, tarımsal verimliliği ve kaynak verimliliğini artırmak için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanması için, teknolojik, finansal ve sosyal engellerin aşılması gerekmektedir ([Agarwal, 2024](#)). Ayrıca, çiftlik yönetiminin optimizasyonu için AI, bilgisayarlı görü ve uydu görüntülerinin entegrasyonu, hassas tarımın daha verimli, sürdürülebilir ve üretken hale gelmesini sağlayabilir ([Jain, 2025](#), [Akintuyi, 2024](#)). Bu

bölümde geniş alanların kısa zamanda değerlendirmesinde ve büyük kolaylıklar sağlayan, uydu görüntülerinin analizi ve uydu görüntülerinin yapay zeka ile tarımda uygulamaları ele alınacaktır.

2 - UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN ANALİZİ

Uydu görüntülerinin analizi, günümüzde birçok alanda yoğun olarak kullanılmakta ve kritik öneme sahiptir. Uydu görüntülerinin analizleri sırası ile veri toplama, ön işleme, özellik çıkarma, sınıflandırma, segmentasyon ve zaman serisi analizi adımlarını kapsamaktadır. Bu adımların her biri, uydu görüntülerinden maksimum faydayı elde etmek için özellikle yapay zeka kullanılarak sağlanmaktadır.

Uydu görüntü analizi, yapay zeka destekli hassas tarımın önemli bir bileşenini oluşturur. Gelişmiş makine öğrenimi modelleri, özellikle Evrimsel Sinir Ağları (CNN'ler), yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini işlemek ve analiz etmek için kullanılır ve büyük ölçekte ürün sağlığı ve büyüme kalıpları hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu teknoloji, çiftçilerin geniş tarım alanlarını verimli bir şekilde izlemelerini, hasare istilasını, besin eksikliği veya su stresi gibi sorunları çıplak gözle görülebilir hale gelmeden önce tespit etmelerini sağlar (Guntuka, 2024).

2.1. Veri toplama

Yüksek çözünürlüklü multispektral uydu görüntüleri Sentinel-2 veya Landsat-8 gibi kaynaklardan elde edilmektedir. Bu uydular, görünür ışık, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi dahil olmak üzere birden fazla spektral bantta veri yakalayarak 10 ila 30 metre arasında değişen mekansal çözünürlüklerle görüntüler sağlar. Uzaktan algılama uygulamalarında sıkça kullanılan Landsat 8 ve Sentinel-2A uyduları, yüksek çözünürlüklü optik görüntüler sağlayarak tarım, çevre izleme, arazi kullanım analizi gibi pek çok alanda veri kaynağı sunmaktadır. Bu iki uydu sisteminden veri toplama süreci temel olarak benzer adımları içermektedir. 5-16 günlük tekrar ziyaret sürelerine sahip bu uyduların zamansal çözünürlüğü, büyüme sezonu boyunca mahsul gelişiminin düzenli olarak izlenmesine olanak tanır (Guntuka, 2024)

Veri toplama süreci ilk olarak, kullanıcının çalışma alanı ve tarih aralığını belirlemesiyle başlar. Bu bilgiler ışığında ilgili uydu görüntülerine erişmek için çeşitli platformlar kullanılır. **Landsat 8** verileri genellikle **USGS**

Earth Explorer veya **Google Earth Engine** üzerinden temin edilirken, **Sentinel-2A** verilerine **Copernicus Open Access Hub**, **ESA SNAP Toolbox** ya da yine Google Earth Engine gibi portallar aracılığıyla ulaşılır. Bu platformlar, kullanıcıya görüntüleri bulut oranı, tarih, sensör tipi gibi çeşitli filtrelerle daraltarak uygun veriyi seçme imkânı tanır.

2.2. Önışleme

Uzaktan algılama görüntülerinin kalitesini artırmak veri ön işleme aşaması ile başlatır. Analizden önce uydu görüntüleri, veri kalitesini ve tutarlılığını sağlamak için çeşitli ön işleme adımları uygulanır.

Atmosferik Düzeltme: Atmosferik koşullar, uydu sensörlerine ulaşan sinyallerin spektral özelliklerini bozarak, yeryüzü hakkında doğru bilgi edinilmesini engelleyebilir. Bu nedenle, uydu görüntülerinde ilk uygulanması gereken işlem atmosferik düzeltmedir. Bu işlem sayesinde top-of-atmosphere (**TOA**) yansıtım değerleri, yüzey yansıtımına (bottom-of-atmosphere, **BOA**) dönüştürülerek analizlerin güvenilirliği artırılır (Chander et al., 2009).

Landsat 8 için geliştirilen LaSRC (Land Surface Reflectance Code) ve önceki Landsat uyduları için kullanılan LEDAPS, atmosfere bağlı saçılma ve soğurma etkilerini düzeltmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Vermote et al., 2016). Sentinel-2A görüntülerinde ise Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen Sen2Cor aracı, atmosferik düzeltmenin yanı sıra bulut maskeleme ve gölge tespiti de yapabilmektedir (Main-Knorn et al., 2017).

Atmosferik düzeltme yapılmadan elde edilen NDVI gibi bitki indeksleri, atmosferik değişkenlik nedeniyle güvenilirliğini kaybedebilir. Bu nedenle özellikle zaman serisi analizleri ve çoklu uydu karşılaştırmalarında atmosferik düzeltme kritik öneme sahiptir (Song, et al., 2001).

Bulut Maskeleme: Optik uydularla elde edilen görüntülerde bulutlar ve gölgeleri, yersel nesnelerin algılanmasını ve analizini önemli ölçüde engeller. Bu nedenle bulut maskeleme, görüntü analizine geçilmeden önce uygulanması gereken zorunlu bir ön işleme adımıdır. Bulut ve gölgelerin doğru şekilde maskelenmemesi, özellikle sınıflandırma ve indeks hesaplamalarında hatalara neden olabilir. Bu nedenle, yüksek kaliteli analizler için güvenilir bulut maskeleme yöntemlerinin kullanılması zorunludur. Optik uydu görüntülerinde bulutlar ve bunların gölgeleri, yüzey hakkında bilgi alınmasını engellediğinden

analizlerde ciddi sorunlara yol açabilir. **Bulut maskeleme**, görüntüdeki bulut ve bulut gölgesi piksellerinin tespit edilerek analiz dışı bırakılmasını ifade eder. Bu işlem, görüntü kalitesini artırmak ve analiz sonuçlarını güvenilir hale getirmek açısından kritiktir.

Yaygın olarak kullanılan yöntemlerde biri **Fmask** (Function of mask) algoritması, Landsat ve Sentinel görüntülerinde bulut, gölge ve kar alanlarını otomatik olarak tespit ederek maskeleme işlemi gerçekleştirir (Zhu & Woodcock, 2012). Bu algoritma, bulut parlaklığı, termal bant bilgisi ve bitki indeksleri gibi parametreleri kullanarak bulut olasılığı hesaplar.

Sentinel-2 verileri için s2cloudless gibi yapay zeka tabanlı algoritmalar, derin öğrenme yöntemleriyle bulut tespiti yaparak daha hassas sonuçlar üretebilmektedir (Frantz et al., 2018). Ayrıca Sen2Cor aracı da bulut maskesi üretme yeteneğine sahiptir.

Mekansal Kayıt: Farklı tarihlerden veya sensörlerden gelen uydu görüntülerinin birbiriyle karşılaştırılabilir hale gelmesi için mekansal kayıt (co-registration) işlemi uygulanır. Bu işlem, görüntülerin aynı koordinat sistemine ve piksellerin birebir örtüşmesine sağlar (Lunetta et al., 1998).

Mekansal kayıt işlemi sırasında sabit referans noktaları (örneğin yol kesişimleri, nehir kıyıları, yapılar) kullanılarak görüntüler yeniden hizalanır. Genellikle yeniden örnekleme yöntemleri (nearest neighbor, bilinear interpolation, cubic convolution) bu aşamada uygulanır (Jensen, 2005). Çoğu uzaktan algılama çalışmasında UTM-WGS84 projeksiyonu kullanılmaktadır. Zaman serisi analizleri, değişim algılama, sınıflandırma gibi işlemler için piksel bazlı örtüşme sağlanması gerekir. Literatürde önerilen kayıt hatası sınırı, genellikle **<0.5 piksel** olarak belirtilmektedir (Roy et al., 2014). Bu seviyede hassasiyet sağlanmadığı takdirde, mekansal farklardan kaynaklanan analiz hataları kaçınılmaz hale gelir.

2.3.Özellik Çıkarım

Uydu görüntülerinden özellik çıkarma (feature extraction), uzaktan algılama uygulamalarında yüzey örtüsüne dair anlamlı bilgi elde etme sürecidir. Bu süreçte, ham görüntü verileri analiz edilerek; arazi örtüsü sınıfları, nesneler (örneğin yollar, bitki örtüsü, su kütleleri), spektral indeksler veya mekânsal yapılar gibi tanımlı özellikler ortaya konur. Özellik çıkarma işlemi, temelde

görüntüdeki piksellerin veya nesnelerin sayısal olarak tanımlanmasına ve sınıflandırılmasına olanak tanır (Lu & Weng, 2007).

Spektral Özellikler: Spektral özellikler, her pikselin belirli bantlardaki yansıma (reflectance) değerlerinden elde edilir. Uydu sensörleri, görünür, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) gibi farklı spektral bantlardan veri toplar. Bu bant kombinasyonları, farklı yüzey örtüsü tiplerini ayırt etmeye olanak tanır.

- NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Farkı Endeksi): $NDVI = (NIR - Kırmızı) / (NIR + Kırmızı)$, burada NIR yakın kızılötesi yansımayı, Kırmızı ise kırmızı yansımayı ifade eder. NDVI klorofil içeriğine duyarlıdır ve bitki örtüsünün canlılığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır.

- EVI (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü Endeksi): $EVI = G * ((NIR - Kırmızı) / (NIR + C1 * Kırmızı - C2 * Mavi + L))$, burada G, C1, C2 ve L, atmosfer koşulları ve arka plan gürültüsünü düzeltmek için kullanılan katsayılardır. EVI, NDVI'ye kıyasla yüksek biyokütle bölgelerinde doygunluğa daha az duyarlıdır. Bu endeksler, ham spektral bant verileriyle birlikte, sonraki makine öğrenimi modelleri için girdi özellikleri olarak hizmet eder.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index): Bitki örtüsü ve çıplak toprak karışımlarında kullanılır (Huete, 1988). $SAVI = (NIR - RED) / (NIR + RED + L) * (1 + L)$ Özellikle toprak etkisinin güçlü olduğu alanlarda bitki örtüsünü daha doğru değerlendirmek için kullanılan bir vejetasyon indeksidir. Genellikle $L=0.5$ olarak kullanılır. Spektral özellikler, genellikle sınıflandırma öncesi öznitelik olarak kullanılır ve yüksek doğruluk sağlar (Thenkabail, 2012).

Metinsel (Texture) Özellikler: Metinsel özellikler, görüntüdeki piksellerin komşuluk ilişkilerini tanımlar ve yüzey desenlerini ortaya koyar. Özellikle homojen olmayan alanların (orman, şehir) analizinde önemlidir.

Yaygın kullanılan yöntemlerden biri Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) tekniğidir. Bu yöntemle şu Entropi, Kontrast, Homojenlik ve Korelasyon özellikler hesaplanabilir (Haralick, 1973): Bu özellikler, özellikle nesne tabanlı sınıflandırma (Object-Based Image Analysis - OBIA) çalışmalarında etkilidir (Blaschke, 2010).

CNN gibi algoritmalar, karmaşık örüntüleri öğrenerek yüksek doğrulukta sınıflandırmalar yapabilir (Ma, 2019). CNN'ler, bitki örtüsünün

sağlığı ve üretkenliğini gösteren spektral endekslere odaklanarak, önceden işlenmiş görüntülerden ilgili özellikleri çıkarır.

Geometrik ve Şekil Özellikleri: Nesne tabanlı yöntemlerde (OBIA), uydu görüntüleri önce segmentasyon yoluyla homojen bölgelere ayrılır. Ardından bu segmentlerin şekil, alan, çevre, yuvarlaklık, kompaktlık gibi geometrik özellikleri çıkarılır. Örneğin; Tarımsal parseller genellikle düzenli ve geometrik şekillere sahiptir. Doğal bitki örtüsü parçaları daha düzensiz ve kompleks şekillidir. Bu farklar, sınıflandırma algoritmalarının daha isabetli kararlar vermesini sağlar. Geleneksel dijital sınıflandırma algoritmalarını kullanan bir araştırmacı, yüksek çözünürlüklü veriler kullanarak kentsel arazi örtüsü sınıflarını belirlemede genellikle ciddi sorunlarla karşılaşır. (Myint et, 2011).

Zaman Serisi Özellikleri: Uydu verileri farklı zamanlarda tekrar tekrar elde edilebildiğinden, zaman serisi analizleri ile dönemsel özellik çıkarımı mümkündür. Bu yöntem özellikle: Uydu görüntüleri, uzun zamandır ölçümler yapmakta ve tekrarlanan görüntülerinin toplanması nedeniyle Dünya yüzeyini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bitki büyüme döngüsünün takibi, Ürün tespiti, Anormal değişimlerin izlenmesi gibi uygulamalarda kullanılır (Zhu & Woodcock, 2014). Örneğin, Sentinel-2 verileri ile 10 günlük aralıklarla NDVI değişimi incelenerek tarımsal ürün sınıflandırması yapılabilir.

Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme ile Özellik Çıkarımı: Geleneksel yöntemlerin yanı sıra, makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmaları da yüksek boyutlu görüntü verilerinden otomatik olarak özellik çıkarabilir. Özellikle: Rastgele ormanlar (Random Forest), Destek vektör makineleri (SVM) ve Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) gibi algoritmalar, karmaşık görüntüleri öğrenerek yüksek doğrulukta sınıflandırmalar yapabilir (Ma, 2019).

2.4. Sınıflandırma ve Segmentasyon

Uzaktan algılama çalışmalarında uydu görüntülerinden anlamlı bilgi üretmek için uygulanan en temel analizlerden biri sınıflandırma (classification), diğeri ise segmentasyon (segmentation) işlemleridir. Bu işlemler, arazi örtüsü ve arazi kullanımı gibi kategorilerin belirlenmesi, değişim tespiti ve tematik haritaların oluşturulmasında kritik rol oynar (Campbell & Wynne, 2011).

2.4.1. Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması

Sınıflandırma, her bir pikselin spektral özelliklerine dayanarak önceden belirlenmiş tematik sınıflara (örneğin tarım alanı, orman, su, yerleşim) atanması işlemidir. Bu işlemde amaç yüzey örtüsünü temsil eden bir tematik harita üretmektir. Bu haritalar, çevresel izleme, arazi planlaması ve doğal kaynak yönetimi gibi pek çok alanda kullanılır. Görüntü sınıflandırmada kullanılan yöntemler:

A. Denetimli Sınıflandırma (Supervised Classification) Kullanıcının belirlediği eğitim alanları üzerinden algoritma eğitilir. Sık kullanılan algoritmalar: Maximum Likelihood, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Networks (ANN)

B. Denetimsiz Sınıflandırma (Unsupervised Classification) Görüntüdeki spektral benzerliğe göre algoritma kendi sınıflarını oluşturur. Yaygın kullanılan yöntemler: K-means, ISODATA algoritmalarında oluşur.

C. Derin Öğrenme Yöntemleri Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) gibi modeller, özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerde sınıflandırma başarısını artırmaktadır (Zhu, 2017).

Sınıflandırma sonucunun güvenilirliğini değerlendirmek için confusion matrix (karışıklık matrisi) ve kappa katsayısı gibi metrikler kullanılır (Foody, 2002).

2.4.2. Uydu Görüntülerinin Segmentasyonu

Segmentasyon, görüntüyü piksel bazında değil, homojen bölgelere (nesnelere) ayırarak analiz etme işlemidir. Her bölge; renk, doku, şekil ve boyut gibi kriterlere göre oluşturulur. Amaç özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerde gerçek dünya nesnelerini daha doğru temsil edebilmek. Uydu görüntüleri segmentasyonunda başlıca iki yöntem kullanılmaktadır.

A. Piksel Tabanlı Segmentasyon (Pixel-Based Segmentation) Görüntüdeki piksellerin gruplandırılmasıdır. Ancak görüntüye duyarlıdır ve karmaşık sahalarda sınırlı başarı sağlar.

B. Nesne Tabanlı Görüntü Analizi (Object-Based Image Analysis – OBIA) Görüntü segmentlere bölünür, ardından her segment bir nesne gibi değerlendirilir. Her nesneye ait spektral, metinsel (doku), şekil ve konumsal

bilgiler çıkarılır. Bu yöntem özellikle çok yüksek çözünürlüklü (VHR) verilerde önerilir (Blaschke, 2010). Genellikle tarımsal parsel tespiti, şehirleşme analizi, orman parçası izleme, Hassas tarım gibi uygulamalarda kullanılır.

2.5. Zaman Serisi Analizi

Zaman serisi analizi, belirli bir coğrafi alan için farklı zamanlarda elde edilen uydu görüntülerinin sıralı olarak analiz edilmesi sürecidir. Bu yöntemle, yüzeydeki değişimlerin zamansal dinamikleri takip edilir; örneğin, mevsimsel bitki örtüsü değişimi, arazi kullanımındaki dönüşüm veya çevresel bozulmalar gibi olgular detaylı olarak izlenebilir (Verbesselt, 2010).

Zaman serisi analizinin temel amacı, zamana bağlı değişiklikleri saptamak, bu değişimleri nicel olarak değerlendirmek ve anlamlı desenleri ortaya koymaktır. Yaygın kullanım alanları şunlardır: Tarımsal ürün takibi ve rekolte tahmini, Orman değişimlerinin izlenmesi (kesim, yangın, hastalık), Arazi örtüsü / kullanımındaki değişikliklerin tespiti, Su kaynakları ve göl alanlarının zamansal izlenmesi, İklimsel etkilerin ve ekstrem olayların (kuraklık, sel) analizi gibi konulardır.

Uydu zaman serilerinin, **veri kaynakları**, **optik** (Landsat, Sentinel-2, MODIS, VIIRS) ve **radar** (Sentinel-1, ALOS) verilerinden oluşturulur. Bu veriler, Sabit mekânsal çözünürlükte, Farklı tarihlerde, Aynı coğrafi konumu temsil eden, Atmosferik olarak düzeltilmiş ve bulutlardan arındırılmış verilerdir (Zhu & Woodcock, 2014). Zaman serisi analiz yöntemlerini, istatistiksel analizler, Harmonik (mevsimsel) Modelleme, Değişim tespiti, Fenolojik analiz, Makine öğrenme tabanlı yöntemler olarak beş başlık altında toplamaktadırlar.

3. UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN YAPAY ZEKA İLE TARIMDA UYGULAMA ALANLARI

Tarımda dijital dönüşümün en kritik araçlarından biri olan uydu görüntüleri, yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükleri sayesinde tarımsal faaliyetlerin izlenmesinde, analizinde ve karar destek süreçlerinde büyük rol oynamaktadır. Uydu verilerinin yapay zeka ile entegrasyonu, bu bilgilerin anlamlı çıktılara dönüştürülmesini ve otomatik karar süreçlerine uyarlanmasını mümkün kılar (Xie, Zhang & Li, 2021). Uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü indeksleri (VI), yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi (ML)

teknikleriyle birleştirildiğinde, çeşitli alanlarda önemli uygulamalar sunmaktadır. Bu veriler, hassas tarım uygulamaları, çevresel izleme ve sürdürülebilir arazi kullanımı gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

3.1. Yapay Sinir Ağlarıyla Bitki Örtüsü VI İndekslerinin Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları (YSA), bitki örtüsü indekslerinin sınıflandırılmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle, derin öğrenme ve bilgisayarlı görme modellerinin özel bir türü olan Evrişimli Sinir Ağları (CNN'ler), uydulardan, uçaklardan veya karasal kameralardan elde edilen ürün görüntülerini analiz etmede olağanüstü bir yetkinlik gösterdi. Bu ağlar, analitik yeteneklerini geliştirmek için genellikle bitki örtüsü endekslerinden ve çok bantlı görüntülerden yararlanır. Bu yaklaşım, çok spektrumlu görüntüleme ve makine öğrenmesi algoritmalarının eklenmesiyle daha da geliştirilebilir (El Sakka,atl, 2024). Ayrıca, Sana'a şehrinin 2016 yılı haritasında, Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak YSA ve Rastgele Orman sınıflandırıcılarıyla doğru bir arazi kullanımı/arazi örtüsü sınıflandırması elde edilmiştir (Alshari,al,2023).

3.2. Derin Öğrenme Algoritmalarıyla VI İndekslerinin Zamansal Analizi

Derin öğrenme algoritmaları, NDVI gibi bitki örtüsü indekslerinin zamansal analizinde kullanılarak, mevsimsel bitki örtüsü koşullarının ve mahsul sağlığı dinamiklerinin tahmini için etkili bir araç haline gelmektedir (Zacharia, 2025). Bu teknikler, uydu görüntüleri ve iklim verilerini kullanarak, gelecekteki bitki örtüsü eğilimlerini tahmin edebilen modeller oluşturmaktadır. Ayrıca, derin öğrenme teknikleri, arazi ölçümleri ve mahsul, çeşit, toprak ve yönetim gibi bağlamsal faktörlerle birleştirildiğinde, verim tahmini ve mahsul izleme doğruluğunu artırmaktadır. Bu araştırma, Sentinel-2 L2A zaman serisi verilerinden elde edilen bitki örtüsü indeksi zaman serisi verileri, tarlada ölçülen verimler ve derin öğrenme tekniklerini birleştirerek bir verim tahmin sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bir sezon boyunca uzaktan algılama verileri, genel olarak, gürültülü olabilir ve hava koşulları nedeniyle değişken bir yoğunlukla karakterize edilebilir. Bu sorun, İşlevsel Temel Bileşen Analizi (FPCA) kullanılarak hafifletildi. (Mancini,2024).

3.3. Hibrit Görüntü İşleme ve Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle VI Analizi

Hibrit görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri, VI analizinde de kullanılmaktadır.

Bu yaklaşım, artırılmış zeka ile derin öğrenme ve görüntü işlemeyi birleştirerek, bitkilerdeki hastalıklarının tespit kabiliyetleri geliştirilmiş ve insan-makine işbirliğini ile desteklenmiştir (Kamilaris, 2018). Derin öğrenme, özellikle yaprak görüntülerindeki karmaşık yapıları ve lekeleri öğrenmede çok başarılı olmuş, geleneksel sınırlayıcılardan daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Ayrıca, bu hibrit yöntemler, üretim verimliliğini ve kalite kontrolünü iyileştirmek için de kullanılabilir (Kamilaris, 2018).

3.4. Bitki Örtüsü VI Verilerinin Uzaktan Algılama Teknikleriyle Entegrasyonu

Uzaktan algılama teknolojileri ve bitki örtüsü indekslerinin entegrasyonu, ekosistem koruması ve çevresel izleme ve yönetim için kritik önem taşımaktadır. Jagannathan, Ponmalar ve Pandiarajan (2024), çok bantlı (multispektral) uzaktan algılama verilerinin işlenmesinde ileri düzey görüntü işleme tekniklerini uygulayarak, farklı ekosistemlerde çevresel izleme kapasitesini artırmayı amaçlamıştır. Bu uygulamada, spektral bantların optimize edilmesi, ön işleme (atmosferik düzeltme, gürültü filtreleme) ve mekânsal analiz yöntemleriyle, doğal ve tarımsal alanlarda daha doğru sınıflandırmalar elde edilmektedir. Geliştirilen yöntemler, özellikle orman, su ve tarım alanlarındaki çevresel değişimlerin izlenmesinde etkili sonuçlar vermektedir. Uzaktan algılama uygulamalarında çok bantlı görüntü analizinin doğruluk ve güvenilirliğinin artırması açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Kadam, et al. (2024) ise tarım arazilerinde ürün sınıflandırması ve sağlık takibi amacıyla yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri geliştirmiş, Sentinel-2 verileri ile NDVI ve EVI gibi vejetasyon indekslerinin desteklendiği derin öğrenme modelleriyle ürün sağlığının erken tespiti ve stres izleme konusunda %90'ın üzerinde doğruluk elde etmiştir. Çok spektrumlu ve çok zamanlı uydu görüntüleri ile yer tabanlı verilerin birleştirilmesi, arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesini ve arazi kabiliyetinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, NDVI ve ARVI gibi bitki örtüsü indeksleri, toprak, hava nemi, gölgeleme ve

güneş ışığının değişken geliş açısı gibi faktörleri dikkate alarak, herhangi bir bölgedeki bitki örtüsünü tahmin etmede kullanılabilir (Chirkhare, 2022).

3.5. Çok Kaynaklı Veri ve İleri Analitik Yöntemlerle Bitki Örtüsü İzleme ve Haritalama Doğruluğunun Artırılması

Çok yıllık veri entegrasyonu ve yıllık zaman serileri, MODIS bitki örtüsü indeksi, spektral bantlar, yükselti, L-band Radar ve yağış gibi çeşitli kaynaklardan gelen verilerin birleştirilmesiyle, hatta tropikal bölgelerdeki veri boşluklarında bile doğru arazi örtüsü haritaları üretebilmektedir (Anaya, 2015). Bu çok kaynaklı yaklaşım, bitki örtüsü izleme ve haritalama doğruluğunu artırmakta ve sürdürülebilir arazi kullanımı kararlarına destek olmaktadır.

3.6. Sürdürülebilir Arazi Kullanımı ve Karar Verme için VI ve Uzaktan Algılama Verilerinin Kullanımındaki Fırsatlar ve Zorluklar

Bitki örtüsü indeksleri ve uzaktan algılama verilerinin entegrasyonu, sürdürülebilir tarım ve arazi yönetimi uygulamalarını desteklemektedir. Ancak, bu verilerin tam potansiyelinden yararlanmak için, teknolojik gelişmelere ve araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, hızlı şehirleşme bölgelerinde, bitki örtüsü indeksleri ve yer yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkinin incelenmesi, sürdürülebilir tarım planlaması, ekosistem yönetimi ve iklim değişikliğine uyum stratejilerini bilgilendirmede önemli rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü indekslerinin yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleriyle entegrasyonu, çeşitli alanlarda önemli faydalar sunmaktadır. Bu entegrasyon, hassas tarımdan çevresel izlemeye, şehir planlamasından iklim değişikliğine uyum stratejilerine kadar geniş bir yelpazede uygulamalar bulmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin tam potansiyelinden yararlanmak için, araştırma ve teknolojik gelişmelere devam edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, çok kaynaklı verilerin ve ileri analitik yöntemlerin entegrasyonu, bitki örtüsü izleme ve haritalama doğruluğunu artırmakta ve sürdürülebilir arazi kullanımı kararlarına destek olmaktadır.

4. SONUÇ

Dünya nüfusunun hızla artması, iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve tarım alanlarının daralması gibi küresel sorunlar, gıda güvenliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu bağlamda, uydu görüntüleri ile desteklenen

yapay zekâ (AI) teknolojileri, tarımsal üretkenliğin artırılması, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması açısından stratejik bir araç haline gelmiştir. Özellikle bitki sağlığının izlenmesi, verim tahmini, hastalıkların erken tespiti ve akıllı sulama gibi alanlarda AI tabanlı sistemler, geleneksel yöntemlere göre çok daha etkili, hızlı ve hassas çözümler sunmaktadır.

Çalışmada yer alan güncel literatür ve örnekler göstermektedir ki; vejetasyon indeksleri (NDVI, EVI, ARVI gibi) uzaktan algılama verilerinden elde edilerek, derin öğrenme algoritmalarıyla işlenmekte ve zamansal analizlerle desteklenerek tarımsal karar destek sistemlerine entegre edilmektedir. Bu entegrasyon, mahsul verimliliğinin artırılması, girdi kullanımının azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi gibi somut faydalar sağlamaktadır. Aynı zamanda, U-Net, CNN, SVM, LSTM gibi yapay öğrenme tekniklerinin kullanımı, bitki türlerinin sınıflandırılmasından ürün hastalıklarının teşhisine kadar çok çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmaktadır.

Gelişmiş derin öğrenme mimarileri ve nesne tanıma algoritmalarının, farklı spektral uydu görüntüleri (örneğin Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2, MODIS vb.) ile entegrasyonu sayesinde, tarım alanlarının otomatik sınıflandırılması, izlenmesi ve yönetimi daha sistematik ve ölçeklenebilir hale gelmiştir. Ayrıca zaman serisi analizleri, mahsul sağlığı dinamiklerinin izlenmesinde ve iklim değişkenliğine karşı dirençli üretim modellerinin geliştirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

Uydu görüntülerinin analizi, günümüzde sadece görsel bilgi üretiminin ötesine geçerek, tarım, çevre, kent planlaması ve afet yönetimi gibi birçok alanda karar destek sistemlerinin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Bu analiz süreci; veri toplama, ön işleme, özellik çıkarma, sınıflandırma, segmentasyon ve zaman serisi analizi gibi birbirini takip eden aşamalardan oluşmaktadır. Bu süreçlerin her birinde yapay zekâ, özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri, analiz kalitesini ve doğruluğunu artırmak adına kritik bir rol üstlenmektedir.

Veri toplama aşamasında Sentinel-2 ve Landsat-8 gibi multispektral uydu platformları, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükleri sayesinde tarımsal alanların hassas takibine olanak tanımaktadır. Ön işleme sürecinde, atmosferik düzeltme, bulut maskeleyme ve mekânsal kayıt gibi işlemler, analiz doğruluğunu artırmak ve farklı zaman dilimlerinden gelen verilerin

karşılaştırılabilirliğini sağlamak için zorunludur. Bu adımlar, NDVI, EVI, SAVI gibi bitki örtüsü endekslerinin güvenilir biçimde hesaplanmasına da olanak tanımaktadır.

Özellik çıkarımı aşamasında hem spektral hem de metinsel (doku) ve geometrik verilerden yararlanılmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları (CNN, LSTM) ve klasik yöntemler (SVM, RF), yüksek boyutlu uydu verilerinden anlamlı örüntülerin çıkarılması ve otomatik sınıflandırma yapılması konusunda etkili sonuçlar sunmaktadır.

Sınıflandırma ve segmentasyon aşamaları, tematik haritaların üretilmesini ve arazi örtüsü değişimlerinin izlenmesini mümkün kılmaktadır. Zaman serisi analizi ise, tarımsal üretim döngüsünün takibi, rekolte tahmini, arazi kullanım değişimlerinin belirlenmesi ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi için güçlü bir araçtır.

Tarımda dijital dönüşüm süreci, yapay zekâ ve uzaktan algılama teknolojilerinin entegrasyonu ile derinleşmekte, bu dönüşümün merkezinde ise bitki örtüsü indekslerinin (Vegetation Indices - VI) analizi yer almaktadır. Uydu görüntüleri üzerinden elde edilen VI değerlerinin, yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi (ML) algoritmalarıyla işlenmesi, yalnızca tarımsal faaliyetlerin değil; aynı zamanda çevresel izleme, sürdürülebilir arazi kullanımı ve iklim değişikliğine adaptasyon gibi çok boyutlu alanlarda da güçlü karar destek araçları üretmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) ve özellikle derin öğrenme algoritmaları, NDVI, EVI ve SAVI gibi endeksleri kullanarak bitki sağlığı, stres tespiti ve ürün sınıflandırması konularında yüksek doğrulukta analizler yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Zamansal analizlerde derin öğrenmenin kullanımı, mahsul gelişim döngüsünün daha hassas izlenmesini sağlamakta, verim tahmin sistemlerinin doğruluğunu artırmakta ve arazi üzerindeki anomalilerin erken teşhisini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, VI verilerinin uzaktan algılama teknikleriyle entegre edilmesi, orman, su ve tarım alanlarındaki çevresel değişimlerin daha kapsamlı izlenmesini mümkün kılar.

Uydu görüntülerinin analizi, yapay zekâ ile desteklendiğinde yalnızca tarımsal üretkenliği değil, aynı zamanda doğal kaynak yönetimi, iklimsel etkilerin değerlendirilmesi ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çok yönlü alanlarda da etkili ve yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu süreçlerin bütüncül

ve otomasyon odaklı bir yaklaşımla yönetilmesi, geleceğin akıllı tarım ve çevre sistemlerinin temelini oluşturacaktır. Bu nedenle, uydu verileri ile AI tabanlı karar destek sistemlerinin entegrasyonu, modern izleme teknolojilerinin en stratejik bileşenlerinden biri olmaya devam edecektir.

Ancak bu teknolojilerin yaygın ve etkin kullanımı için sadece teknik yeterlilik değil; aynı zamanda finansal destek, politika geliştirme, çiftçi eğitimi ve altyapı yatırımları gibi çok boyutlu destek mekanizmaları da gereklidir. AI ve uzaktan algılamanın başarılı entegrasyonu, sadece yüksek verim ve ekonomik kazanç sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve sosyal kalkınmayı da destekleyecektir.

KAYNAKÇA

- Akintuyi, A. (2024). *Integrating AI and Remote Sensing for Precision Agriculture Optimization*. *International Journal of Smart Farming*, 8(2), 103–118.
- Alshari EA, Abdulkareem MB, Gawali BW. Classification of land use/land cover using artificial intelligence (ANN-RF). *Front Artif Intell*. 2023 Jan 6;5:964279. doi: 10.3389/frai.2022.964279. PMID: 36686849; PMCID: PMC9853425.
- Alshaya, M. (2025). *Soil Moisture Prediction Using Machine Learning Regression Models*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 134–145.
- Anaya, J. A., Colditz, R. R., & Valencia, G. M. (2015). Land cover mapping of a tropical region by integrating multi-year data into an annual time series. *Remote Sensing*, 7(12), 16274–16292. <https://doi.org/10.3390/rs71215833>
- Assegie, A. A. (2020). Comparative analysis of SVM and decision trees for plant variety classification using satellite data. *Journal of Agricultural Informatics*, 11(3), 75–84.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65*(1), 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Bonagiri, V. (2025). *Extracting Agricultural Fields Using Deep Neural Networks from Remote Sensing Data*. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 101–112.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing* (5th ed.). Guilford Press.
- Cembrowska-Lech, D. (2023). Integration of multi-omics data and artificial intelligence in plant phenotyping. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1123456.
- Chirkhare, G., Hablani, R., & Balamwar, S. (2022). Prediction of regional vegetation cover using spatial image features and semantic segmentation. *International Journal of Health Sciences*, 6(S4), 5425–5435. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS4.9980>

- El Sakka, M., Mothe, J., & Ivanovici, M. (2024). Images and CNN applications in smart agriculture. *European Journal of Remote Sensing*, 57(1), Article 2352386. <https://doi.org/10.1080/22797254.2024.2352386>
- FAO, (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Food and Agriculture Organization.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment*, 80*(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Fuentes, A. (2025). Deep learning and image analytics for scalable plant health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108054.
- Guntuka, 2024 A. (2024). **Barriers to AI Adoption in Agriculture: Technological, Financial and Social Dimensions**. *Journal of Agricultural Innovation*, 12(1), 55–72.
- Guntuka, V. (2024). **Satellite-Based AI Techniques for Agricultural Decision Making**. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 107895.
- Guo, M. (2024). AI-powered annotation systems in plant phenotyping: Applications and challenges. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 9(2), 87–101.
- Jagannathan, J., Ponmalar, A., & Pandiarajan, R. (2024). Advanced multi spectral image processing techniques for enhanced remote sensing and comprehensive environmental monitoring in diverse ecosystems. In *2024 International Conference on Recent Advances in Science and Engineering Technology (ICRASET)* (pp. xxx–xxx). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRASET63057.2024.10895822>
- Jain, R. (2025). **Optimizing Farm Management with AI and Computer Vision Technologies**. *Agricultural AI Research Journal*, 14(1), 12–29.
- Kadam, V. V., Patil, S. S., & Shelar, A. N. (2024). AI-based decision support systems for crop monitoring using remote sensing and vegetation indices. In *2024 International Conference on Mechatronics, Automation and Computing (MAC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MAC61551.2024.10837040>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>

- Kooistra, L. (2024). *Vegetation Productivity Monitoring with Satellite Time Series Analysis*. *Remote Sensing of Environment*, 292, 113026.
- Lakshmi, G. (2024). *Automated Land Cover Classification in Agriculture Using LSTM Networks*. *Geocarto International*, 39(3), 225–242.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105*(2), 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018>
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., & Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152*, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Mancini, A., Solfanelli, F., Coviello, L., Martini, F. M., Mandolesi, S., & Zanolì, R. (2024). Time Series from Sentinel 2 for Organic Durum Wheat Yield Prediction Using Functional Data Analysis and Deep Learning. *Agronomy*, 14(1), Article 109. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010109>
- Meena, R. (2023). Smart agriculture using IoT and machine learning for real-time plant health prediction. *Journal of Precision Agriculture and Environment*, 10(1), 33–47.
- Miller, T., Mikiciuk, G., Durlik, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., & Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in agriculture: The time is now—A systematic review of smart sensing technologies. *Sensors*, 25(1), 3583. <https://doi.org/10.3390/s25093583>
- Moumni, M. (2021). *Multisource Satellite Data Fusion for Crop Type Classification*. *International Journal of Remote Sensing*, 42(17), 6579–6600.
- Mulay, S. (2010). Hybrid SVM-based decision trees for large-scale plant variety classification. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8453–8462.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover: A comparison study. *International Journal of Remote Sensing*, 32*(10), 2311–2335. <https://doi.org/10.1080/01431161003698231>

- Nikolaev, I. (2025). *Cloud and Shadow Removal in Satellite Imagery Using Generative Neural Networks*. Journal of Geoinformation, 15(2), 78–93.
- Perumallapalli, R. (2025). *Resilient Agriculture through AI-Driven Predictive Analytics and Resource Optimization*. Journal of Climate-Smart Agriculture, 5(1), 45–60.
- Qarawy, M. (2023). *Improving Crop Productivity with Predictive Analytics and AI-Based Resource Management*. AI in Agriculture, 7(3), 145–162.
- Roy, D. P., Li, J., Zhang, H. K., & Irons, J. R. (2014). Radiation-based Landsat-8 atmospheric correction and land surface reflectance validation. *Remote Sensing of Environment*, 140*, 490–503. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.007>
- Singh, A. (2024). *AI-Enhanced Satellite Image Analysis in Precision Agriculture*. Agricultural Data Science Review, 10(1), 33–50.
- Singh, R. (2023). *Time Series Analysis of Vegetation Health Using Machine Learning*. Remote Sensing for Agriculture, 6(4), 189–202.
- Singla, A. (2023). Early detection of plant diseases using complex network analysis and machine learning. Computers in Biology and Medicine, 164, 107448.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75*(2), 230–244. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)
- Sundravadivelu, R. (2023). UAV-based imaging and deep learning for advanced crop health assessment. Remote Sensing in Agriculture, 14(2), 144–158.
- Tayade, L. (2022). Role of spectral indices in high-throughput plant phenotyping using deep learning. Journal of Agronomy and Crop Science, 208(4), 299–310.
- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., & Huete, A. (Eds.). (2012). *Hyperspectral remote sensing of vegetation*. CRC Press.
- Tripodi, P. (2022). Artificial intelligence and phenotyping: Bridging the gap with omics in plant breeding. Molecular Breeding, 42, 56–67.
- UN., 2023. World Population Prospects 2023. United Nations Population Division.

- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment*, 114*(1), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment*, 185*, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>
- Xie, C., Zhang, J., & Li, R. (2021). A review of remote sensing image classification based on deep learning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(2), 020901.
- Yang, Z. (2024). **Spectral Analysis for Early Detection of Crop Diseases Using Satellite Imagery**. *Plant Health and Remote Sensing*, 12(3), 250–267.
- Zacharia, R. (2025). **Monitoring Crop Health Dynamics with Satellite Time Series Data**. *Precision Agriculture*, 26(2), 98–114.
- Zacharia, S., Radhakrishnan, T., Nikhil, P., Oommen, R. E., & Kumar, R. A. (2025). Deep learning based seasonal NDVI forecasting for enhanced agricultural sustainability: A case study in the Kuttanad region, Kerala, India. In S. Narayanan, P. Kishore, R. P. Abhijith, & C. M. Renju (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference in Civil Engineering for a Sustainable Planet (ICCESP 2024)* (pp. xx–xx). AIJR Publisher. <https://doi.org/10.21467/proceedings.179.15>
- Zhang, Y. (2023). Decision tree and SVM algorithms for enhanced biodiversity management and conservation. *Environmental Informatics*, 15(3), 201–218.
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5*(4), 8–36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>

BÖLÜM 13

MAKRO VE MİKRO BESİN DENGESİ İLE ÜZÜM KALİTESİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ: BAĞCILIKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR

Doç. Dr. Cüneyt UYAK¹

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779063>

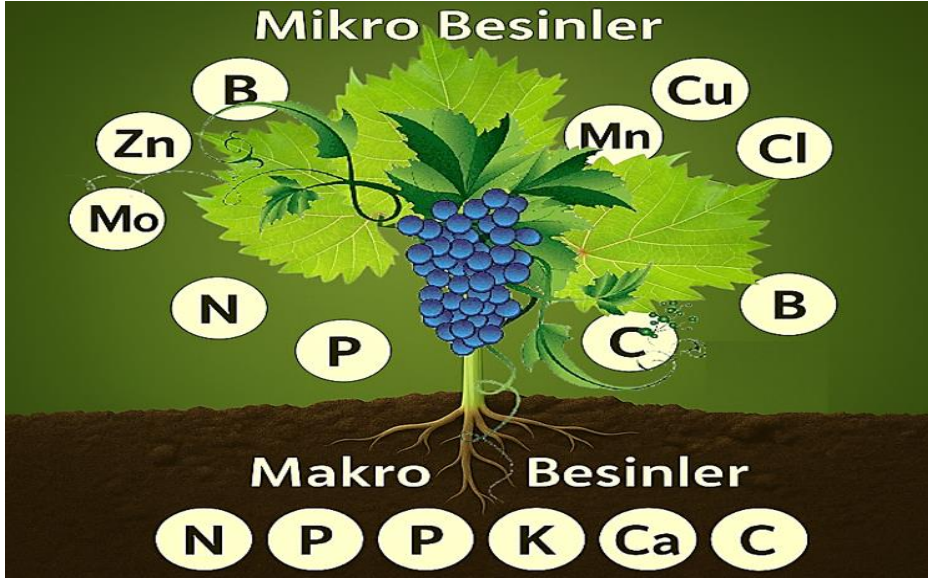
¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-6101-6845, cuneytuyak@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-0349-3846, adnandogan@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Dengeli ve yeterli beslenme, üzüm bağlarında yüksek verim ve üstün kalite elde etmek için vazgeçilmez bir faktördür. Asmanın sağlıklı büyümesi, fotosentez kapasitesi, çiçeklenme başarısı, meyve tutumu ve salkım gelişimi gibi tüm fizyolojik süreçler; makro ve mikro besin elementlerinin doğru zamanda, uygun dozlarla ve fenolojik ihtiyaçlara göre sağlanmasına bağlıdır. Bu temel gereklilik, besin yönetiminin yalnızca standart uygulamalardan ibaret olmaması; toprak ve yaprak analizleri ile görsel gözlemlere dayalı, fenolojiye özgü bir planlama anlayışıyla yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (Christensen, 1984; Keller, 2010). Bu hassas ve dinamik yaklaşım sayesinde bağda verimlilik ve meyve kalitesi sürdürülebilir bir şekilde artırılabilir. Besin yönetimi, bağıcılıkta statik ve takvime dayalı bir uygulama olmaktan çıkmakta; bunun yerine sürekli izleme, teşhis araçları ve adaptif stratejilerle yürütülen bir süreç hâlini almaktadır. Bu durum, yetiştiricilerin yalnızca gübre uygulamakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel faktörleri (toprak tipi, iklim) ve bitkinin içsel taleplerini (fenolojik dönemler, gelişim evreleri) birlikte değerlendirmesi gerektiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, yalnızca toplam besin miktarını değil; uygulama zamanlamasının da bitkinin metabolik talepleriyle eşzamanlı olmasını hedeflemektedir. Örneğin, çiçeklenme öncesinde fosfor veya ben düşme döneminde potasyum uygulanması, asmanın o gelişim aşamasındaki özgül enerji ve yapı taleplerini karşılayarak hem besin alım etkinliğini hem de fizyolojik etkiyi maksimize etmektedir. Bu bütünsel yaklaşım, bağıcılıkta daha bilimsel, veri temelli ve klasik gübreleme kalıplarının ötesine geçerek, bağıcılıkta metabolizma-temelli, gelişimsel süreç odaklı bir stratejiyi zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, üzüm bağlarında makro ve mikro besin elementlerinin fizyolojik rollerini, uygulama zamanlarını, uygulama şekillerini, doz aralıklarını, gelişme, verim ve kalite üzerindeki etkilerini literatüre dayalı olarak detaylı bir şekilde ortaya koymaktır. Aynı zamanda yaprak gübrelemesi ve fertigasyon gibi modern uygulama yöntemleri de kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bağıcılıkta besin yönetimi stratejilerinin yeniden yapılandırılmasına katkıda bulunarak; ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel sorumluluk ve kalite odaklı üretim ekseninde araştırmacı ve üreticilere bilimsel dayanak sunmak hedeflenmiştir.



Şekil1: Bağlarda besin yönetiminde üzerinde durulması gereken besinler

2. BAĞLARDA BESİN YÖNETİMİ

2.1. Makro Besin Elementleri

Makro besin elementleri, bitkilerin büyük miktarlarda ihtiyaç duyduğu besinlerdir. Bunlar, bitki büyümesi ve gelişimi için temel yapı taşlarını ve enerji metabolizması için gerekli bileşenleri sağlarlar. Birincil makro besinler azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) iken; ikincil makro besinler kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) olarak sınıflandırılır (Şekil 1).

2.1.1. Azot (N)

Azot (N), asmanın klorofil, protein, amino asit ve nükleik asit sentezi gibi hayati metabolik süreçlerinde görev alan birincil makro besin elementidir. Bitkinin vegetatif gelişimi, yaprak alanı, fotosentez kapasitesi ve ürün kalitesi, azot düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Ancak fazla veya yanlış zamanlamalı azot uygulamalarının, salkım bölgesinde gölgelenmeye, şeker birikimini azalmasına, renklenmenin gecikmesine ve hastalık riskini artmasına neden olacağı bildirilmiştir (Conradie, 1992; Keller, 2010; Marschner, 2012; Schreiner, 2016). Şaraplık çeşitlerde özellikle ben düşme sonrası yapılan uygulamalar, şeker-asit dengesi ve aroma profili üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Keller ve Hrazdina, 1998). Bu nedenle azot uygulamaları, mutlaka ürün tipi (şaraplık/sofralık), fenolojik dönem, toprak yapısı, verim beklentisi ve

analiz sonuçlarıyla uyumlu biçimde planlanmalıdır. Genel olarak azotun topraktan temel gübreleme olarak 30-90 kg/ha/yıl dozunda uygulanması tavsiye edilmektedir (Conradie, 1992; Keller, 2010; Marschner, 2012). Azot uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1: Azot uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Gözlerin patlamasından önce / İlkbahar sürgün gelişimi	30-60 kg N/ha (Toprakdan)	Vegetatif büyümeyi ve sürgün gelişimini teşvik eder. Optimal büyüme ile %10-20 verim artışı sağlar.	Sultani Çekirdeksiz, Kalecik Karası, Cabernet Sauvignon	Conradie (1992); Jackson (2008)
Çiçeklenme öncesi	10-20 kg N/ha (fertigasyon)	Çiçeklenme ve meyve tutumu için enerji sağlar, salkım gelişimini destekler. Meyve tutumunda %5-15 iyileşme sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Christensen (1984)
Ben düşme (veraison) sonrası - Sofralık üzümler	10-20 kg N/ha (fertigasyon)	Tane iriliğini ve gelişimini artırır, tane ağırlığında %5-10 artış sağlar.	Red Globe, Alphonse Lavallée	Keller (2010)
Çiçeklenme dönemi	2-5 kg N/ha (yapraktan)	Yaprak analizine dayalı uygulama ile meyve tutumunda %5-10 iyileşme sağlar.	Pinot Noir, Kalecik Karası	Schreiner (2016)
Ben düşme sonrası - Şaraplık üzümler	0-10 kg N/ha*	Şeker birikimini geciktirebilir, kaliteyi olumsuz etkileyebilir. Bu doz maksimum sınırdır.	Cabernet Sauvignon, Syrah	Keller ve Hrazdina (1998)

*Bu değer şaraplık çeşitler için uygulama sınırıdır. Temel gübreleme amacıyla değil, analizle belirlenmiş zorunlu hallerde uygulanabilir.

Fertigasyon ve Yaprak Gübrelemesi

- Fertigasyonla uygulama, 5-20 kg/ha doz aralığında, çözelti içeriği ve bitkinin ihtiyacına göre haftalık parçalı dozlar şeklinde uygulanmalıdır (Dry vd., 1996).
- Yapraktan uygulama için, genel olarak 2-5 kg/ha doz aralığı kullanılır, yüksek dozlar (8-10 kg/ha) yalnızca geniş yaprak alanlarında, seyreltik çözeltilerle ve ihtiyaç varsa uygulanmalıdır (Schreiner, 2016).
- Şaraplık çeşitlerde ben düşme sonrası yapılan azot uygulamaları, şeker birikimini geciktirebilir, bu nedenle 0-10 kg/ha doz aralığı

maksimum uygulama sınırı olarak kabul edilmelidir. Gübreleme amacıyla değil, yalnızca minimum ihtiyaç varsa dikkate alınmalıdır (Keller ve Hrazdina, 1998; Keller, 2010).

Uygulama Tavsiyeleri: Azot uygulamaları, mutlaka toprak ve yaprak analiz sonuçlarına göre şekillendirilmelidir. Aşırı azot, vegetatif-generatif dengeyi bozarak salkım kalitesi ve hastalık direnci üzerinde olumsuz etki yaratabilir. Bu nedenle:

- Organik azot kaynakları (çiftlik gübresi, kompost) tercih edilebilir. Yavaş salınım sayesinde sezon boyunca dengeli alım sağlanır.
- Fertigasyon sistemiyle parçalı uygulamalar, azotun yıkanmasını önler ve kök alım etkinliğini artırır (Treeby vd., 2000).
- Şaraplık üzümlerde özellikle çiçeklenme sonrası fazla azot uygulamasından kaçınılmalıdır. Aksi hâlde şarap kalitesinde düşüş, olgunluk gecikmesi ve fermentatif dengesizlikler oluşabilir (Keller ve Hrazdina, 1998).

2.1.2. Fosfor (P)

Fosfor, bitkilerde enerji transferi (ATP/ADP), fotosentez, solunum, kök gelişimi, çiçeklenme ve meyve tutumu gibi temel fizyolojik süreçlerde kilit rol oynayan bir makro besin elementidir. Eksikliği durumunda çiçek dökümü, yetersiz meyve tutum, generatif performansın düşmesi ve zayıf kök gelişimi gibi olumsuzluklar görülebilir (Marschner, 2012; Schreiner, 2016). Fosfor yönetimi yalnızca gübre uygulamasından ibaret değildir, aynı zamanda besin döngüsünü güçlendiren, biyoyararlanımı artıran ve toprak mikrobiyotasını canlandıran stratejik bir yaklaşımı da içerir. Toprakta düşük hareketliliğe sahip olması nedeniyle, özellikle pH ve kireç düzeyi yüksek topraklarda fosfor (P_2O_5) alımı sınırlı olabilir. Ancak, organik maddece zengin yapı, mikoriza mantarlarıyla simbiyoz, özellikle genç bağlarda fosfor alımını belirgin şekilde artırır (Trouvelot vd., 2015). Bu biyolojik destek sayesinde hem fosfor verimliliği artar hem de kimyasal girdilere olan bağımlılık azalır. Genel olarak fosforun topraktan temel gübreleme olarak 30-80 kg/ha/yıl dozunda uygulanması, uygulama dozunun organik madde düzeyi ve hedeflenen verime göre belirlenmesi, düşük hareketliliği nedeniyle erken uygulanması ve kök bölgesine yönlendirilmesi tavsiye edilmektedir (Conradie, 1992; Marschner,

2012). Fosfor uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2: Fosfor uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Kış dinlenmesi sonrası / Erken ilkbahar	30-80 kg P_2O_5 /ha (topraktan)	Kök gelişimini teşvik eder, çiçeklenme ve meyve tutumunu destekler. Meyve tutumunda %5-10 artış sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Conradie (1992); Marschner (2012)
Çiçeklenme öncesi	10-20 kg P_2O_5 /ha (fertigasyonla)	Çiçek gelişimi ve tozlaşmayı iyileştirir. Meyve tutumunda %3-7 ek artış sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Christensen (1984)
Çiçeklenme dönemi	5-10 kg P_2O_5 /ha (yapraktan)*	Çiçeklenme zamanlamasını dengeler, meyve tutumunu ve aroma bileşiklerini artırır.	Pinot Noir, Cabernet Sauvignon	Schreiner, (2016); Deluc vd. (2009)

*Doz aralıkları P_2O_5 formu esas alınarak verilmiştir. MAP (Mono Amonyum Fosfat) ve MKP (Mono Potasyum Fosfat) gibi suda çözünür formlar tercih edilmelidir.

Fertigasyon ve Yaprak Gübrelemesi

- Fertigasyonla uygulama, 10-20 kg P_2O_5 / ha doz aralığında, özellikle çiçeklenme öncesi dönemde uygulanmalı. Suda çözünürlüğü yüksek olan formlar Mono Amonyum Fosfat (MAP) ve Mono Potasyum Fosfat (MKP) tercih edilmelidir.
- Yapraktan uygulama, 5-10 kg P_2O_5 / ha doz aralığında, çiçeklenme dönemi uygulandığında meyve tutum ve aroma bileşikleri üzerinde olumlu etki yapabilir (Schreiner, 2016). Mikoriza destekli uygulamalar, özellikle genç bağlarda fosforun alınabilirliğini artırarak kök sisteminin derinleşmesini sağlar (Trouvelot vd., 2015).

Uygulama Tavsiyeleri

- Fosfor uygulamaları, toprakta düşük hareketliliği nedeniyle erken ilkbaharda, kök bölgesine yakın ve gömülü biçimde yapılmalıdır.
- Yaprak analizleri sezon içi fosfor eksikliğinin tanısında önemli bir araçtır. Özellikle çiçeklenme öncesi marjinal düşük değerlerin tespit

edilmesi durumunda fertigasyon ve yapraktan gübreleme desteği planlanmalıdır.

- Organik maddece zengin topraklar, fosforun biyoyararlanımını önemli ölçüde artırır.
- Mikoriza destekli uygulamalar, genç bağlarda kök hacmini artırarak fosfor alımını kolaylaştırır (Trouvelot vd., 2015).

2.1.3. Potasyum (K)

Potasyum, bitkide su dengesi, fotosentez, şeker taşınımı, enzim aktivasyonu ve abiyotik stres toleransı gibi çok sayıda fizyolojik süreçte rol alan temel bir makro besindir. Özellikle salkım gelişimi, tane iriliği ve şeker birikimi için kritik önemdedir. Potasyum yalnızca verimi değil, aynı zamanda meyve kalitesi, renklenme, aroma sentezi ve şeker-asit dengesini de doğrudan etkiler (Keller, 2010; Marschner, 2012). Şaraplık çeşitlerde ise potasyum sadece °Brix artışı değil, şarabın pH-asit dengesini, dolayısıyla tat ve raf ömrünü belirler. Aşırı potasyum, üzüm suyunun pH'sını yükselterek toplam asitliği düşürebilir, bu da şarabın aromatik profilini ve mikrobiyal stabilitesini olumsuz etkileyebilir (Villette vd., 2020). Bu nedenle potasyum uygulamaları verimden ziyade kalite odaklı ve dengeli bir yaklaşımla yürütülmelidir (Mpelasoka vd., 2003). Genel olarak potasyumun topraktan temel gübreleme olarak 30-80 kg/ha/yıl dozunda uygulanması, uygulama dozlarının toprak tipi ve kil içeriğine göre belirlenmesi gerektiği ve aşırı kil/ kireç içeren topraklarda potasyum alımının sınırlı olabileceği bildirilmiştir (Conradie, 1992; Keller, 2010). Potasyumun uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 3'de sunulmuştur.

Fertigasyon ve Yaprak Uygulaması

- Fertigasyonla uygulama, 20-50 kg K₂O/ha doz aralığında, özellikle ben düşme başlangıcında uygulanabilir. Yüksek çözünürlüğe sahip potasyum kaynakları (örn. KNO₃, K₂SO₄) tercih edilir.
- Yapraktan Uygulama: 10-30 kg K₂O/ha aralığında ben düşme sonrası şeker birikimini desteklemek ve pH artışını sınırlandırmak amacıyla uygulanabilir. Fazla potasyum uygulanması magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) alımını baskılayabilir (Marschner, 2012). Potasyum yönetimi yalnızca doz bazlı değil, Azot: Potasyum: Magnezyum

oranlarının senkronize yönetimiyle yapılmalıdır. Aksi takdirde denge bozulabilir (Keller, 2010; Marschner, 2012).

Çizelge 3: Potasyum uygulama dönemleri, dozlar ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Erken ilkbahar / Sürgün gelişimi	50-150 kg K ₂ O/ha (toprak analizine göre)	Fotosentezi ve besin taşınımını destekler, vegetatif büyümeyi düzenler. Verimde %15-25 artış sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Conradie (1992); Keller (2010)
Ben düşme başlangıcı	20-50 kg K ₂ O/ha (fertilizasyon veya yaprakтан)	Şeker birikimini hızlandırır, tane iriliğini ve renklenmeyi artırır. %10-20 tane ağırlığı ve %1-3 Brix artışı sağlar.	Sultani Çekirdeksiz, Merlot, Narince	Christensen (1984); Mpelasoka vd. (2003)
Ben düşme sonrası (şaraplık)	10-30 kg K ₂ O/ha (yapraktan)*	Şeker birikimini dengeler, pH artışını sınırlar, asitliği korur. Şarap kalitesinde iyileşme sağlar.	Cabernet Sauvignon, Syrah	Villette vd. (2020)

*Bu doz aralığı, ben düşme sonrası potasyum alımını desteklemek amacıyla yaprak uygulamasına yöneliktir. Uygulama formu ve zamanlaması pH-Brix dengesi dikkate alınarak ayarlanmalıdır

Uygulama Tavsiyeleri:

- Potasyum, toprakta kil minerallerine sıkı bağlandığı için taşınımı düşüktür. Özellikle kireçli/ağır bünyeli topraklarda alım etkinliği düşük olabilir.
- Ben düşme dönemi potasyum talebinin hızla arttığı bir evredir. Bu nedenle yaprak uygulamaları hızlı fizyolojik yanıt sağlar.
- Potasyum eksikliği belirtileri genellikle yaprak kenarı nekrozu, bronzlaşma ve uçlardan içe doğru sararma şeklinde görülür.
- Aşırı potasyum alımı, magnezyum ve kalsiyum alımını baskılayarak besin dengesini bozar. Bu durumda karşılıklı antagonistik ilişkiler dikkate alınmalıdır.
- Potasyum uygulamaları yalnızca verime değil, şarap kalitesine, pH dengelemeye ve aroma korunmasına etki edecek şekilde planlanmalıdır (Villette vd., 2020).

2.1.4. Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum, bitki hücre duvarının yapısal bütünlüğünü sağlayan, zar geçirgenliğini düzenleyen ve enzim aktivasyonlarına katılan temel makro besin elementidir. Üzümde tane sertliği, doku dayanıklılığı, çatlama azaltımı ve raf ömrü üzerinde belirleyici etkisi bulunur. Özellikle sofralık çeşitlerde ticarileşebilir ürün miktarını ve taşınabilirliğini doğrudan etkiler (Martins vd., 2021; Marschner, 2012). Ancak kalsiyumun bitki içinde taşınabilirliği sınırlıdır, ksilem yoluyla taşınsa da, meyve dokularına etkin taşınım zorlaşır. Bu nedenle meyve gelişim döneminde yapraktan uygulama, doğrudan meyveye etki açısından daha etkilidir. Uygulamalar çatlamayı azaltır, hasat edilebilir verimde artış sağlar ve fizyolojik bozuklukları minimize eder. Genel olarak kalsiyumun topraktan temel gübreleme olarak 40-100 kg/ha/yıl dozunda, yavaş çözünen karbonatlı kaynaklarla kışın uygulanması önerilmiştir. Bu uygulamanın kök bölgesindeki kalsiyum düzeyinin korunmasını sağladığı ve meyve dokularındaki etkisinin sınırlı olduğu bildirilmiştir (Marschner, 2012). Kalsiyum uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 4’de sunulmuştur.

Çizelge 4: Kalsiyum uygulama dönemleri, dozlar ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Tane tutumu sonrası – Tane gelişimi dönemi (2–3 tekrar)	2–4 kg Ca/ha (CaCl ₂ veya CaNO ₃ , yapraktan)	Tane sertliğini artırır, çatlamayı azaltır, raf ömrünü uzatır. Hasat edilebilir verimde %5–10 artış sağlar.	Li Xiu, Xiangfei	Shi vd. (2022); Yu vd. (2020)

*Kalsiyum formlarının çözünürlüğü ve fitotoksite riski dikkate alınarak, uygulama serin saatlerde yapılmalı, pH 5.5-6.5 aralığında tutulmalıdır.

Yapraktan Uygulama

- 2-4 kg Ca/ha doz aralığında, meyve büyüme döneminde 2-3 uygulama yapılması önerilir.
- Uygulama formu olarak Kalsiyum Nitrat (CaNO₃) veya Kalsiyum Klorür (CaCl₂) yaygındır.
- Yüksek olmayan sıcaklıkta, düşük pH’lı çözeltilerle uygulanmalı, yaprak yanıkları dikkatle izlenmelidir.

Uygulama Tavsiyeleri:

- Kalsiyumun sistemik taşınımı sınırlı olduğundan, meyve gelişim döneminde doğrudan yapraktan uygulama daha etkilidir.
- Toprak uygulamaları meyve dokusuna doğrudan etki sağlamaz, yalnızca kök çevresi kalsiyum düzeyinin düzenlenmesinde kullanılır.
- Kalsiyum eksikliği, yaprak kenarlarında nekroz, salkımda çatlama, meyve yüzeyinde çökme ve raf ömründe azalma ile kendini gösterebilir.
- Aşırı doz uygulamalarında yaprak yanığı riski nedeniyle konsantrasyon-uygulama zamanı-hava sıcaklığı mutlaka birlikte değerlendirilmelidir.

2.1.5. Magnezyum (Mg)

Magnezyum, klorofil molekülünün merkez atomu olarak fotosentezde merkezi bir rol oynar. Aynı zamanda enzim aktivasyonu, karbon metabolizması ve enerji transferi (ATP-ADP ilişkisi) gibi çok sayıda fizyolojik süreçte görev alır (Marschner, 2012). Bitki içinde hareketli bir element olmasına karşın, eksikliği sıklıkla yaşlı yapraklarda damar arası kloroz ile belirgin hale gelir. Bu, magnezyumun genç dokulara öncelikli olarak taşındığını ve yaşlı dokularda eksikliğin oluşabildiğini göstermektedir. Magnezyum yönetimi, özellikle potasyum ile olan antagonistik ilişkisi açısından dikkatle planlanmalıdır. Aşırı potasyum uygulamaları magnezyum alımını baskılayarak ikincil magnezyum eksikliklerine yol açabilir. Bu nedenle gübreleme stratejileri tekil element dozlarının ötesinde, besinler arası denge üzerine kurgulanmalıdır (Mpelasoka vd., 2003). Genel olarak magnezyum topraktan temel gübreleme olarak 10-20 kg/ha/yıl dozunda, magnezyum eksikliğine eğilimli topraklarda uygulanmalıdır (Marschner, 2012). Magnezyum uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 5’de sunulmuştur.

Yapraktan Uygulama

- Çiçeklenme öncesi dönemde 1-2 kg Mg/ha dozunda uygulanabilir. Hızlı etki sağlamak ve damar arası sararmayı baskılamak amacıyla, seyreltik $MgSO_4$ çözeltileri önerilir (Poposka vd., 2019).

Çizelge 5: Magnezyum uygulama dönemleri, dozlar ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Sürgün gelişimi dönemi	10-20 kg Mg/ha (topraktan) veya 1-2 kg Mg/ha (yapraktan)	Klorofil oluşumunu ve fotosentezi destekler, genel bitki sağlığını ve verim potansiyelini artırır.	Tüm üzüm çeşitleri	Christensen (1984); Marschner (2012)
Çiçeklenme öncesi	1-2 kg Mg/ha (yapraktan, MgSO ₄ formu)*	Damar arası klorozu azaltır, çiçeklenme ve meyve tutumunu destekler. Genç dokularda Mg düzeyini dengeleyerek metabolik aktiviteyi artırır.	Cardinal, Pinot Noir	Poposka vd. (2019)

*Yaprak uygulaması serin saatlerde ve düşük EC'li çözelti ile yapılmalı; pH 6.0 civarında tutulmalıdır. Gerekğinde 7-10 gün aralıklarla tekrar edilebilir.

Uygulama Tavsiyeleri:

- Mg eksikliği belirtileri yaşlı yapraklarda damar arası kloroz, sararma ve kıvrılma şeklinde belirginleşir.
- Magnezyum sülfat (MgSO₄) formu hem topraktan hem yapraktan etkili uygulanabilir.
- Aşırı potasyum uygulamaları, özellikle fertigasyon sistemlerinde, magnezyum alımını engelleyebilir.
- Yapraktan uygulamalarda 1-2 kg Mg/ha doz aralığı, çiçeklenme öncesi yapılırsa fotosentez performansı, meyve tutum oranı ve genel doku dengesi üzerinde olumlu etkiler sağlar (Christensen, 1984).
- Magnezyum uygulamaları mutlaka K:Mg dengesi gözetilerek yapılmalı, gerekirse bu oran 2:1 sınırında tutulmalıdır (Mpelasoka vd., 2003; Marschner, 2012).

2.1.6. Kükürt (S)

Kükürt, bitkide sistein ve metiyonin gibi kükürtlü amino asitlerin, vitaminlerin ve koenzimlerin yapısında görev alan temel bir makro besin elementidir. Kükürtün protein sentezi, redoks dengesi ve savunma bileşiklerinin üretimi açısından fizyolojik önemi büyüktür (Marschner, 2012). Eksikliğinde kloroz, büyüme geriliği ve verim düşüşü görülebilir.

Kükürt, yalnızca bir besin elementi değil, aynı zamanda fungal hastalıklara (örneğin külleme) karşı koruyucu etkisiyle fizyolojik ve

fitopatolojik katkıyı bir arada sunar (Considine vd., 2015). Ancak, aşırı uygulamalar yaprak yanıkları, toprak asitliği artışı ve mikroflora dengesinde bozulma gibi olumsuzluklara neden olabilir (Ateş ve Yağmur, 2019). Bu nedenle kükürdün besleme ve bitki koruma amacı birlikte planlanmalı, uygulama dozu ve zamanlaması dikkatle yönetilmelidir. Genel olarak kükürdün topraktan temel gübreleme olarak 20-40 kg/ha/yıl dozunda uygulanması, kükürt sülfat formunun kullanılması, toprağın kireç oranı ve mikrobiyal yapısının dikkate alınması, yüksek pH'lı topraklarda etkisinin yavaş olabileceği bildirilmiştir (Marschner, 2012; Ateş ve Yağmur, 2019). Kükürt uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 6'da sunulmuştur.

Çizelge 6: Kükürt uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Sürgün gelişimi dönemi	20-40 kg S/ha (topraktan)	Protein sentezini ve büyümeyi destekler. Yaprak klorofil içeriği yükselir, vegetatif denge sağlanır.	Sultani Çekirdeksiz, Kalecik Karası	Marschner (2012); Ateş ve Yağmur (2019)
Çiçeklenme öncesi	2-4 kg S/ha (yapraktan, elementel sülfür)*	Mikro element (özellikle Zn ve Mn) alımını artırır, çiçeklenme kalitesini destekler.	Sultani Çekirdeksiz	Ateş ve Yağmur (2019)
Ben düşmesi öncesi	2-3 kg S/ha (yapraktan)	Aroma bileşiklerinin sentezini destekler, renklenme kalitesini artırır	Cabernet Sauvignon, Merlot	Considine vd. (2015)

*Elementel sülfür yapraktan uygulandığında mikro elementlerin (Zn, Mn) yaprak içi mobilitesini artırabilir. Uygulama esnasında pH 6.0-6.5 aralığında tutulmalıdır.

Yapraktan Uygulama

- 2-4 kg S/ha, çiçeklenme öncesi dönemde elementel sülfür formunda uygulanabilir.
- 2-3 kg S/ha, ben düşme öncesi aroma bileşiği sentezini desteklemek amacıyla kullanılabilir.

- Mikro besin elementi alımını artırdığı ve fungal baskı yarattığı için entegre yönetim açısından stratejiktir. Aşırı yaprak uygulamaları fitotoksite yaratabilir.
- Fitotoksite riski nedeniyle uygulama serin saatlerde, nötr-pH'lı solüsyonlarla ve yavaş kuruma koşullarında yapılmalıdır (Considine vd., 2015).

Uygulama Tavsiyeleri:

- Kükürt toprakta genellikle sülfat formunda (SO_4) bulunur, ancak hareketliliği kısıtlıdır.
- Yapraktan uygulama, hızlı fizyolojik yanıt almak ve fungal etki sağlamak açısından avantajlıdır.
- Elementel sülfür uygulamaları mikro element sinerjisi yaratır, özellikle çiçeklenme ve aroma gelişimi evrelerinde etkilidir.
- Entegre bağ yönetiminde, besleme ve koruma hedefleri birlikte planlanmalı; uygulama dozları ve uygulama aralıkları dikkatle belirlenmelidir (Considine vd., 2015).

2.2. Mikro Besin Elementleri

Mikro besin elementleri, bitkiler tarafından çok düşük miktarlarda ihtiyaç duyulmalarına rağmen, enzimatik ve biyokimyasal süreçlerin sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmezdirler. Bağcılıkta özellikle bor (B), çinko (Zn), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), molibden (Mo) ve klor (Cl) öne çıkan mikro elementlerdir. Bu unsurlar; klorofil sentezi, oksidoredüktaz enzimleri, hormon üretimi ve elektron taşınımı gibi temel metabolik süreçlerde rol alırlar (Marschner, 2012; Havlin vd., 2014). Bu elementlerin bitki tarafından alımı, yalnızca topraktaki miktarlarına değil, aynı zamanda toprak pH'sı, organik madde içeriği ve besinler arası antagonistik ilişkilere de bağlıdır. Özellikle alkali ve kireçli toprak koşulları demir ve çinko gibi elementlerin alınamayan forma dönüşmesine neden olur (Christensen, 2005). Bu da kloroz, gelişim bozukluğu ve kalite kaybına yol açar. Bu nedenle mikro besin stratejileri bağcılıkta genellikle yapraktan uygulamalara dayanır. Bu yaklaşım sayesinde:

- Eksiklikler doğrudan giderilir.
- Alınabilirlik sınırlı olsa bile biyoyararlanım sağlanır.

Verim ve kalite bileşenleri kısa vadede iyileştirilebilir. Özellikle demir ve çinko eksikliklerinin yapraktan uygulamalarla düzeltilmesi, yüksek pH–kireçli topraklarda etkili, hızlı ve maliyeti düşük bir çözüm sunar (Cakmak, 2008).

2.2.1. Bor (B)

Bor, bitkilerde hücre duvarı stabilitesi, polen gelişimi, çiçeklenme ve meyve tutumu gibi süreçlerde görev alan hayati bir mikro besin elementidir. Bor özellikle çimlenme tüpü oluşumu, karbonhidrat taşınımı ve hücre bölünmesi gibi olaylarda rol oynar (Marschner, 2012). Üzüm bağlarında bor eksikliği, düşük meyve tutumu, salkım deformasyonu, uç kurumaları ve çiçek dökümü gibi belirtilerle kendini gösterir (Wimmer ve Eichert, 2013). Bor, bitki içinde hareketsiz bir elementtir, bu nedenle eksiklik durumunda yapraktan uygulama, hızlı ve etkili sonuçlar verir. Ancak borun yeterlilik-toksite aralığı çok dardır. Bu nedenle uygulamalar, analiz destekli ve dönem odaklı yapılmalıdır (Christensen, 2005). Bor uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 7’de sunulmuştur.

Çizelge 7: Bor uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Göz patlaması öncesi (dormansi sonu)	100-200 g B/ha	Çiçeklenme ve tutumu için bor rezervi oluşturur. Meyve tutumunda %8-15 artış sağlar.	Tüm çeşitler, özellikle tutumu zayıf olanlar	Wimmer ve Eichert, 2013
Çiçeklenme başlangıcı	50-100 g B/ha	Polen çimlenmesini ve tüp gelişimini artırır. Verimde %5-10 artış sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Christensen (1984)
Hasat sonrası (sonbahar)	250-500 g B/ha	Dormant gözlerde bor birikimini artırır. Ertesi sezon çiçeklenmesini destekler.	Thompson Seedless, Red Globe	Christensen vd. (2006); Christensen (2005)
Çiçeklenme öncesi	20-40 mg/L (borik asit)*	Salkım ağırlığı, TSS ve şeker içeriğinde artış. Yaprak alanı ve klorofil içeriğinde iyileşme sağlar.	Halawany	Lateef vd. (2022)

*Borik asit uygulamaları düşük pH’lı çözeltilerle, serin saatlerde yapılmalı; yaprak yanığı riski göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapraktan Uygulama

- 100-200 g B/ha, göz patlaması öncesi uygulanarak çiçeklenme dönemine bor rezervi sağlanabilir.

- 50-100 g B/ha, çiçeklenme başlangıcında polen canlılığını artırmak için uygulanır.
- 250-500 g B/ha, hasat sonrası uygulanarak dormant gözlerde bor birikimi desteklenir.
- 20-40 mg/L, borik asit formunda çiçeklenme öncesi uygulanarak salkım ağırlığı ve TSS artırılabilir. Bor eksikliği özellikle kumlu ve yüksek pH'lı topraklarda yaygındır. Ancak doz aşımı fitotoksiteye neden olabileceğinden, uygulamalar dikkatle planlanmalıdır (Christensen, 2005; Wimmer ve Eichert, 2013).

Uygulama Tavsiyeleri

Bor eksikliği, özellikle kumlu ve yüksek pH'lı topraklarda daha sık görülür. Bitki içinde hareketliliği oldukça sınırlı olduğu için yapraktan uygulamalar, hızlı ve etkili sonuçlar elde etmek açısından daha uygundur (Christensen, 2005). Ancak borun yeterlilik-toksisite aralığı dar olduğundan, doz aşımı fitotoksiteye neden olabilir. Bu nedenle uygulamalar, yaprak analizleriyle izlenmeli ve tür-dönem bazında dikkatle planlanmalıdır (Wimmer ve Eichert, 2013; Lateef vd., 2022).

2.2.2. Çinko (Zn)

Çinko, bitkilerde oksin sentezi, klorofil oluşumu, protein sentezi ve karbonhidrat metabolizması gibi temel fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde görev alan hayati bir mikro besin elementidir. Bağcılıkta çinko eksikliği; küçük yaprak gelişimi (rozetleşme), kısa boğum aralıkları, kloroz ve düşük meyve tutumu gibi belirtilerle kendini gösterir (Marschner, 2012). Çiçeklenme döneminde düşük çinko düzeyleri, polen canlılığını ve meyve tutum oranlarını düşürür (Gainza-Cortés vd., 2012). Günümüzde çinko yönetimi, klasik çinko sülfat/şelat formlarının yanı sıra, nano-teknolojik yaklaşımları da içerecek biçimde genişletilmiştir. Nano ZnO (çinko oksit) uygulamaları, çok düşük dozlarda bile yüksek biyolojik etkinlik sağlayarak hem besin kullanım verimliliğini artırmakta, hem de çevresel etkiyi azaltmaktadır (Masoud vd., 2025). Ancak bu gelişmelere rağmen, besin etkileşimleri hâlâ belirleyici bir faktördür; örneğin yüksek fosfor düzeyleri, çinko alımını baskılayarak ikincil eksikliklere yol açabilir. Çinko uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 8'de sunulmuştur.

Yapraktan ve Topraktan Uygulama

- Göz patlaması öncesi 200-400 g Zn/ha çinko uygulaması sürgün büyümesini teşvik eder.
- Çiçeklenme öncesi 100-200 g Zn/ha çinko uygulaması meyve tutumunu artırır.
- Çiçeklenme döneminde 25-50 ppm Nano ZnO uygulaması TSS ve irilikte artış sağlar.
- Sürgünler 10-15 cm olduğunda 2 ppm Nano ZnO uygulaması ve tane iriliği ve salkım ağırlığında artış sağlar.
- Tam çiçeklenme döneminde 23 kg Zn/ha (toprak) + %0.2 Zn (yapraktan) yapılan uygulama yapraktaki çinko, demir, bakır ve mangan düzeylerinde artış sağlar.
- Şelatlı çinko formları, alkali ve yüksek fosforlu topraklarda daha yüksek alınabilirlik sağlar. Nano çinko uygulamaları düşük dozda uygulanmalı ve analizle desteklenmelidir.

Çizelge 8: Çinko uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Gözlerin patlamasından önce	200-400 g Zn/ha (ZnSO ₄ veya şelatlı Zn)	Sürgün gelişimini ve fotosentezi destekler. Vegetatif gelişmede %10-15 iyileşme sağlar.	Tüm üzüm çeşitleri	Christensen (1984); Marschner (2012)
Çiçeklenme öncesi	100-200 g Zn/ha	Polen canlılığını ve meyve tutumunu artırır. Verimde %5-12 artış sağlar.	Zn eksikliği görülen bağlar	Conradie (1992); Gainza-Cortés vd. (2012)
Çiçeklenme dönemi	25-50 ppm Nano ZnO	Tane iriliği, TSS ve şeker artışı. Asitlikte azalma sağlar.	Thompson Seedless	Masoud vd. (2025)
Sürgünler 10-15 cm olduğunda	2 ppm (nano ZnO)	Tane iriliği, salkım ağırlığı ve TSS'de artış sağlar.	Thompson Seedless	Shaaban vd. (2024)
Tam çiçeklenme	23 kg Zn/ha (toprak) + %0.2 Zn (yapraktan)*	Yaprakta Zn, Fe, Cu, Mn artışı. Mikro element düzeylerinde genel iyileşme sağlar.	Flame Seedless	Özdemir vd. (2011)

*Toprak ve yapraktan birlikte uygulandığında mikro element sinerjisi oluşturur. Ancak doz artışı fitotoksite riski yaratabilir. Yaprak analizleriyle birlikte planlama yapılmalıdır.

Uygulama Tavsiyeleri

- Çinko eksikliği, genellikle yüksek pH'lı, fosforca zengin ve organik maddece fakir bağ topraklarında görülür.
- Bu durumda Zn-EDTA gibi şelatlı formlar, yapraktan uygulamalarda daha etkin alım sağlar.
- Nano ZnO partikülleri düşük dozlarda bile yüksek biyoyararlanım sunabilir; bu nedenle özellikle çiçeklenme döneminde tavsiye edilir.
- Fazla çinko uygulamaları demir, mangan ve bakır alımını baskılayabilir, uygulamalar besin etkileşimlerini dikkate alarak planlanmalıdır.

2.2.3. Demir (Fe)

Demir, bitkilerde klorofil sentezi, fotosentez, solunum ve oksidoredüktaz enzim sistemlerinde görev alan bir mikro besin elementidir. Bitki bünyesinde hareketliliği sınırlıdır; bu nedenle eksiklik belirtileri genellikle genç yapraklarda damar arası sararma (kloroz) şeklinde görülür. Bağcılıkta demir eksikliğine, özellikle kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda sıkça rastlanır ve fotosentez kapasitesinin düşmesiyle verim kaybı yaşanabilir (Marschner, 2012). Kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda demir, alınamayan forma dönüşerek “inatçı kloroz”a neden olabilir. Bu durumda, en etkili çözüm, Fe-EDDHA gibi şelatlı demir formlarının toprağa veya yaprağa uygulanmasıdır. Toprak uygulamaları uzun etki sağlarken, yapraktan uygulamalar hızlı ancak geçici etki sağlar (Keller, 2010). Fe-EDDHA gibi şelatlı demir formlarının toprak veya yaprak uygulamaları, demir eksikliğini gidermede etkilidir. Toprak uygulamaları uzun süreli etki sağlarken, yapraktan uygulamalar hızlı ancak geçici etki sunar (Keller, 2010). Ayrıca, anaç seçimi (ör. Fercal) ve $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ dengesi, demir alımını destekleyerek eksiklik semptomlarının azaltılmasında önemli rol oynar (Khalil vd., 2024). Demir uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 9'da sunulmuştur.

Uygulama Tavsiyeleri

- Demir eksikliği özellikle alkali ve kireçli topraklarda yaygındır.
- Toprak uygulamaları (Fe-EDDHA) kalıcı etki sunar, ideal pH <7.5 olan koşullarda uygulanmalıdır.

- Yapraktan demir uygulamaları, hızlı fizyolojik yanıt sağlar, ancak tekrarlayıcı dozlar gerekebilir.
- Ben düşme öncesi demir-üre kombinasyonları, TSS, şeker-asit dengesi, flavonoid profili ve amino asit kompozisyonunu iyileştirir (Fu vd., 2024).
- Fercal gibi kireç toleranslı anaçlar, demir ile kombine edildiğinde ferrik redüktaz enzim aktivitesini artırarak alımı destekler (Khalil vd., 2024).

Çizelge 9: Demir uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Topraktan/Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Erken ilkbahar (kloroz belirtilerinde)	50-100 g Fe/omca (Fe-EDDHA) veya 100-200 g Fe/ha (yapraktan)	Klorozu baskılar, fotosentezi artırır. Verim kaybı %10-30 oranında önlenir.	Chardonnay, Sultani Çekirdeksiz	Christensen (1984); Keller (2010); Marschner (2012)
Sürgünler 10-15 cm olduğunda	0.1% Fe-EDDHA (yapraktan, 2-3 tekrar)*	Genç yapraklarda kloroz baskılanır, klorofil artışı sağlanır.	Flame Seedless, Italia	Vannozzi vd. (2017)
Ben düşme öncesi	0.1% Fe-EDDHA + 0.5% üre (yapraktan)	Şeker-asit dengesi, flavonoid ve amino asit içeriğinde artış. Verimde %13-40 yükseliş.	Cabernet Sauvignon, Merlot	Fu vd. (2024)
Toprak: Fe + NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ (1:1)	50 g Fe/omca (Fe-EDDHA)	Fercal anacında kloroz baskılanır, FCR aktivitesi artar.	Fercal, 3309C	Khalil vd. (2024)

*Yaprak uygulamaları sabah serinliği ya da akşamüstü tercih edilmeli, solüsyon pH'ı 5.5-6.5 aralığında tutulmalıdır.

2.2.4. Mangan (Mn)

Mangan, fotosentezde görevli enzim sistemlerinin aktivasyonu, kloroplast gelişimi ve fenilpropanoid sentezi gibi birçok hayati fizyolojik süreçte rol oynayan bir mikro elementtir (Marschner, 2012). Eksikliği genellikle genç yapraklarda kloroz, damar arası sararma ve büyüme geriliği ile kendini gösterir (Christensen, 2005). Üzüm bağlarında mangan yetersizliği, çoğunlukla yüksek pH'lı kireçli topraklarda Mn²⁺ iyonlarının oksidatif fiksasyonu sonucu gelişir. Bu durumda topraktan uygulamalar etkisiz olabileceği için yapraktan uygulamalar öncelikli strateji haline gelmiştir

(Broadley vd., 2007). Mn uygulamaları, erken dönemde vegetatif gelişim, geç dönemde ise flavonoid sentezi ve uçucu aroma bileşikleri üzerine olumlu etkiler sağlar. Uygulama zamanları, dozları ve gözlenen etkiler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Mangan uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 10’da sunulmuştur.

Çizelge 10: Mangan uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Sürgün gelişimi (10–15 cm)	200–400 g Mn/ha (MnSO ₄ formu)	Fotosentez ve klorofil içeriği artar. Vegetatif gelişmede %8–12 iyileşme sağlar.	Sultani Çekirdeksiz, Italia	Christensen (2005); Marschner (2012)
Ben düşme öncesi	100–200 g Mn/ha	Flavonoid sentezi artar. Uçucu bileşikler ve aroma profili gelişir. Şaraplık kalite artışı olur.	Cabernet Sauvignon ('Xiangfei')	Broadley vd. (2007); Ren vd. (2024)

Uygulama Tavsiyeleri

- MnSO₄ formu, yaprak uygulamalarında yüksek biyoyararlanım sağlar (Christensen, 2005).
- Demir (Fe) uygulamalarıyla eş zamanlı yapılması önerilmez, çünkü toprakta ya da yaprak yüzeyinde anyon rekabeti sonucu etkinlik düşebilir (Broadley vd., 2007).
- Düşük dozlu tekrar uygulamaları, manganın kloroplast içi taşınımını kolaylaştırarak kalıcı etkiler sağlar (Marschner, 2012).
- Toprakdan uygulamalarda Mn²⁺, hızla Mn⁴⁺ formuna okside olarak bitki için kullanılmaz hale gelebileceğinden, sezon içi müdahalelerde yaprakdan uygulama önceliklidir (Ren vd., 2024).

2.2.5. Bakır (Cu)

Bakır, çok sayıda enzimatik sistemin kofaktörü olarak görev yapar. Özellikle lignin sentezi, plastosiyanin aracılığıyla elektron taşınımı, solunum zinciri ve fenolik savunma sistemlerinde önemli bir mikro elementtir (Marschner, 2012). Eksikliği çoğunlukla genç yapraklarda kıvrılma, uç kuruması ve zayıf sürgün gelişimi ile kendini gösterir (Kabata-Pendias, 2011).

Bağcılıkta bakırın önemi çift yönlüdür, hem esansiyel mikro besin elementi hem de fungal hastalıklara karşı kullanılan yaygın bir koruyucu ajandır. Bu durum, bakır yönetimini karmaşık hale getirir. Uygulamalarda, bakır yetersizliği verimi düşürürken, fazlalığı fitotoksiteye, yaprak yanığına ve mikrobiyal denge kaybına yol açabilir (Christensen, 2005; Marschner, 2012). Bu nedenle doz–formülasyon–uygulama sıklığı faktörlerinin dikkatle dengelenmesi gerekir. Özellikle organik bağcılıkta, bakır uygulamaları besin yönetimi ve fungusit programı ile uyumlu planlanmalıdır (de la Fuente vd., 2024). Bakır uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 11’de sunulmuştur.

Çizelge 11: Bakır uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Göz patlaması öncesi – yeni sürgünler	200–300 g Cu/ha (CuSO ₄ veya Cu-EDTA)	Lignin sentezini destekler, genç sürgün dayanımını artırır. Savunma enzimlerini aktive eder.	Thompson Seedless, Italia	Christensen (2005); Marschner (2012); Kabata-Pendias (2011)
Çiçeklenme öncesi – ben düşme (2 uygulama)	50–200 g Cu/ha (bordo bulamacı dahil)	Fungal enfeksiyonları sınırlar, polen canlılığını ve meyve tutumunu destekler. Raf ömrünü artırır.	Flame Seedless	Ren vd. (2022); de la Fuente vd. (2024)

*Bordo bulamacı uygulamaları, yaprak yüzeyinde kalıntı bırakabileceğinden doz ve uygulama sayısı sınırlandırılmalıdır.

Uygulama Tavsiyeleri

- Bakır eksikliği nadir görülür ancak, organik tarımda sık kullanılan fungusitler nedeniyle yaprak analizleriyle izlenmesi önerilir.
- Bakır toprakta kolayca bağlanabilir, Cu⁺² formu organik komplekslere tutunarak bitki tarafından alınamaz hale gelebilir. Bu nedenle yapraktan uygulama, fizyolojik etkiler açısından daha etkilidir (Marschner, 2012).
- Bakır fazlalığı fitotoksiteye, yaprak nekrozu ve kök inhibisyonu gibi sorunlara yol açabilir, bu nedenle uygulamalar analiz ve fenolojiye göre planlanmalıdır.

- Organik sistemlerde besleme programı ile fungusit takvimi birbiriyle formül ve zaman uyumu içinde olmalıdır (de la Fuente vd., 2024).

2.2.6. Molibden (Mo)

Molibden, nitrat redüktaz ve nitrogenaz gibi enzimlerin yapısında görev olarak azot metabolizmasında kilit rol oynayan, az miktarda ihtiyaç duyulan ama hayati öneme sahip bir mikro besin elementidir (Marschner, 2012). Eksikliği, nitratin indirgenememesine, buna bağlı olarak protein sentezinin yavaşlamasına, kloroza, gelişme geriliğine ve verim düşüklüğüne yol açabilir (Havlin vd., 2014). Bağcılıkta molibden yetersizliği, çoğunlukla pH'sı düşük asidik topraklarda ortaya çıkar. Özellikle yüksek azotlu gübreleme yapılan bağlarda, molibden yeterliliği verim-kalite dengesini doğrudan etkiler. Molibden içeren nitrat redüktaz enzimi olmadan bitki, aldığı nitrati metabolize edemez; bu da gizli azot eksikliği semptomlarına neden olabilir (Christensen, 2005). Molibden, azot verimliliğinde bir enzimatik kaldıraç olarak çalışır. Bu nedenle hem pH düzenlemesi (kireçleme) hem de yaprak uygulamaları, molibden alımını ve azot kullanımını artırmak için vazgeçilmez stratejilerdir. Molibden uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 12'de sunulmuştur.

Çizelge 12: Molibden (Mo) uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Sürgün gelişimi (erken ilkbahar)	50–100 g Mo/ha (sodyum molibdat)	Nitrat redüktaz aktivitesi artar, kloroz azalır. Fotosentez ve büyümede %5–10 iyileşme.	Sultani Çekirdeksiz, Italia, Flame Seedless	Christensen (2005); Marschner (2012); Havlin vd. (2014)
Çiçeklenme öncesi	25–50 g Mo/ha (yapraktan, pH 6.0 civarı)	Polen canlılığı ve meyve tutumu artar. Tane sayısı ve generatif gelişimde iyileşme sağlar.	Cardinal, Italia, Narince, Superior	Masi & Boselli (2011); Esteves Amaro Baron vd. (2022)

*Molibden yaprak uygulamaları düşük dozlarda (25-50 g/ha) etkili olup, serin saatlerde ve pH 6.0 civarında uygulanması önerilir.

Uygulama Tavsiyeleri

- Molibden alınabilirliği pH <6.0 topraklarda düşer. Gerektiğinde toprak kireçlenerek düzenlenmelidir (Christensen, 2005).

- Yaprak uygulamaları, sezon içi eksikliklerin hızlı giderilmesi için etkilidir. Sodyum molibdat formu hem güvenli hem biyoyararlanımı yüksektir.
- Molibden eksikliği sıklıkla azot eksikliğiyle karıştırılır, bu nedenle özellikle yüksek azotlu bağlarda gizli yetersizlikler analizle teşhis edilmelidir (Havlin vd., 2014).
- Petiyol analizi, sezon başı tanı ve müdahale planlaması için uygundur.

2.2.7. Klor (Cl)

Klor, bitkilerde iyon dengesi, ozmotik basınç kontrolü ve stomal hareketlerin düzenlenmesi gibi temel fizyolojik işlevlerde görev alan esansiyel bir mikro besin elementidir. Ayrıca su kullanım verimliliği, yaprak turgoru ve hastalıklara karşı direnç üzerinde de olumlu etkiler sağlayabilir (White ve Broadley, 2001; Marschner, 2012). Klor eksikliği nadir görülür ancak, yoğun yağış alan bölgelerde, kısıtlı klor döngüsüne sahip bağ alanlarında ya da toprakta yüksek yıkanma riski olan koşullarda görülebilir. Belirtileri arasında, soluk yeşil yapraklar, kenar nekrozu ve yaprak deformasyonları yer alabilir. En kritik işlevlerinden biri, stomal açıklık kontrolü ve hidrolik denge üzerinde oynadığı roldür. Bu özelliği sayesinde özellikle su stresi yaşayan bağlarda klor uygulamaları, bitkinin çevresel adaptasyon becerilerini ve verim istikrarını önemli ölçüde artırabilir. Klor uygulama dönemleri, dozları ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 13’de sunulmuştur.

Uygulama Tavsiyeleri

- Klor, genellikle potasyum klorür (KCl) veya kalsiyum klorür (CaCl_2) formlarında uygulanır.
- Yüksek tuzluluk riski olan alanlarda bu formlar dikkatle dozlanmalı, düşük tekstürlü ve drenaj sorunu olan topraklarda sınırlı kullanılmalıdır.
- Klor, stoma açıklığı ve yaprak turgoru üzerinden transpirasyon kontrolü sağlar, bu da kurak koşullarda su yönetimini iyileştirir. Sodyum içeriği düşük olan topraklarda, klorun bu fizyolojik avantajları daha güçlü gözlemlenir (Yu vd., 2020).

- Gerektiğinde sezonda 2 uygulamaya kadar çıkılabilir, ancak öncesinde toprak veya yaprak klor düzeyi analiz edilerek uygulamalara karar verilmelidir.

Çizelge 13: Klor uygulama dönemleri, dozları ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz (Yapraktan / Topraktan)	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Uygulanan Üzüm Çeşitleri	Kaynaklar
Sürgün gelişim dönemi	5-10 kg Cl/ha (KCl veya CaCl ₂ formu)	İyon ve su dengesi düzenlenir. Yaprak turgoru artar, verim potansiyeli yükselir.	Sultani Çekirdeksiz, Narince	White ve Broadley (2001); Marschner (2012)
Yağışlı bölgelerde sezon başı	3-5 kg Cl/ha (yapraktan, takviye amaçlı)*	Klor eksikliği riski azalır. Su dengesinde ve stomal işleyişte iyileşme sağlar.	Bornova Misketi, Yalova İncisi	Havlin vd. (2014); Yu vd. (2020)

*Yapraktan uygulamalarda düşük pH'lı çözelti (pH ≈ 6.0-6.5) kullanımı ve erken saatler önerilir.

2.3. Yaprak Gübrelemesi

Yaprak gübrelemesi, özellikle toprak koşullarının sınırlayıcı olduğu durumlarda (yüksek pH, tuzluluk, düşük organik madde) mikro besin elementlerinin bitkiye ulaşmasında etkili bir uygulama yöntemidir. Uygulanan besin maddeleri doğrudan yaprak kutikulasından absorbe edilerek metabolik süreçlere katılırlar (Eichert ve Burkhardt, 2001). Bu yöntem, besinlerin doğrudan absorpsiyonu sayesinde toprak koşullarından kaynaklanan bağlanma, yıkanma ve antagonistik etkileşimleri büyük ölçüde devre dışı bırakır. Kalsiyum ve bor gibi elementler, meyve gelişimi ve kalite parametreleri açısından kritik rol oynadığından, doğrudan meyve yüzeyine ulaşabilmeleri kalite üzerinde belirgin etki yaratabilir (Treeby vd., 2000; Eichert ve Burkhardt, 2001).

Yaprak gübrelemesi, besin kullanım etkinliğini artırmada, mikro besin eksikliklerinin hızlı giderilmesinde, toprakta hareketliliği sınırlı elementlerin (örneğin bor, kalsiyum, demir) hedef dokulara iletilmesinde, çevresel kayıpları azaltılmasında, bitkinin taleplerine hızlı yanıt vermede ve fenolojik olarak hassas dönemlerde stratejik avantaj sağlar. Bununla birlikte, yaprak uygulamalarının etkinliği, formülasyon tipi, pH, uygulama zamanı ve çevresel koşullar gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Fernández ve Eichert, 2009; Wimmer ve Eichert, 2013; Fernández vd., 2013). Farklı üzüm çeşitlerine yönelik yaprak gübrelemesi uygulama zamanları, önerilen

formülasyonlar ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 14’de sunulmuştur.

Çizelge 14: Yaprak gübrelemesi uygulama zamanları, önerilen formülasyonlar ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen formülasyonlar	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Kaynaklar
Sürgün gelişim başlangıcı (2-3 yaprak)	Makro ve mikro besin karışımları (N, P, K, B, Zn) düşük konsantrasyonlarda	Vegetatif büyümeyi destekler, erken dönem besin eksikliklerini giderir. Erken dönem verim potansiyelini %5-10 artırır.	Christensen (1984)
Çiçeklenme öncesi (salkımlar belirginleşince)	Bor ve Çinko içeren formülasyonlar	Çiçeklenme ve meyve tutumunu iyileştirir, polen canlılığını artırır. Meyve tutumunda %7-15 iyileşme sağlar.	Wimmer ve Eichert, (2013)
Tane tutumu sonrası (bezelye büyüklüğü)	Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Demir içeren formülasyonlar	Tane iriliğini ve gelişimini destekler, fotosentezi artırır. Tane ağırlığında %5-10 artış sağlar.	Keller (2010)
Ben düşme başlangıcı	Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Bor içeren formülasyonlar.	Şeker birikimini ve renklenmeyi hızlandırır, kaliteyi artırır. Şeker içeriğinde %0.5-1 Brix artış, hasat edilebilir verimde %2-5 iyileşme sağlar.	Treeby vd. (2000)

Önerilen Tavsiyeler: Yaprak uygulamaları toprak gübrelemesinin yerini almaz, ancak onu tamamlayıcı niteliktedir. En etkili uygulamalar, erken sabah saatlerinde ya da akşam serinliğinde, düşük ışık yoğunluğu altında yapılmalıdır (Keller, 2015). Uygulama öncesi ürün karışım uyumluluğu test edilmeli, konsantrasyonlara dikkat edilmeli ve üretici talimatlarına uyulmalıdır. Yaprak yanıklarının önlenmesi için özellikle yaz aylarında uygulama saatleri ve pH aralığı gözetilmelidir. Ayrıca, yaprak analizleri ile izlenen element düzeyleri, programın dinamik olarak güncellenmesine olanak tanır (Christensen, 1984; Marschner, 2012).

2.4. Fertigasyon

Fertigasyon, bitki besin elementlerinin sulama suyu ile entegre biçimde uygulanmasını sağlayan modern bir gübreleme yöntemidir. Bu yöntem, besin

çözültisinin homojen dağılımını, kök bölgesine verilmesini ve besin maddelerinin fazlara uygun verilmesini mümkün kılar (Keller, 2010). Bu sistem, su ve besin yönetimini aynı anda optimize ederek hem verim hem de kaynak kullanım verimliliği açısından önemli kazanımlar sunar.

Çizelge 15: Fertigasyon uygulama zamanları, önerilen dozlar ve etkileri

Uygulama Zamanı	Önerilen Doz ve Şekil	Etkisi ve Beklenen Verim Artışı	Kaynaklar
Tüm vejetasyon dönemi boyunca (haftalık veya fenolojik parçalı uygulama)	10–20 kg N/ha/y, 5–10 kg K/ha/y, 2–5 kg P/ha/y + mikro elementler (Fe, Zn, B)	Kök bölgesinde dengeli besin yoğunluğu sağlanır. Verimde %15–30 artış, besin kullanım veriminde %20–40 iyileşme	Howell vd. (2012); Treeby vd., (2001)
Veraison öncesi potasyum ağırlıklı fertigasyon	Potasyum nitrat veya kompleks gübre (KNO_3 , K_2SO_4): 5–10 kg K/ha/y	Tane iriliği, şeker birikimi ve fotosentez kapasitesinde artış	Hu vd. (2023)
Yoğun büyüme ve meyve gelişimi (salkım gelişimi, ben düşme)	Aynı formülasyon dozlarının uygulama sıklığı artırılır	Besin ihtiyacının en yüksek olduğu evrede hedefli takviye sağlar. Şeker birikimi ve tane iriliğinde artış sağlar.	Treeby vd., (2000); Keller (2010)
Organik ortamda (torf, cocopeat) yetiştirilen fidanlarda	EC: 2.4 dS/m, pH: 5.8; dengeli NPK + mikro element çözeltisi	İyon dengesi ve pH stabilitesi ile mikro besin alımı düzenlenir. N ve P birikiminde artış, oksidatif stres azalır	Tzortzakakis & Chrysargyris (2025)
Sıcak ve kurak dönemlerde (yüksek transpirasyon koşulları)	$\text{KCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + mikro elementler (özellikle Cl, B)	Stomal regülasyon ve turgor dengesini korur. Yaprak turgoru korunur, klorofil içeriği artar, verim düşüşü sınırlandırılır	Marschner (2012); Yu vd. (2020)
Fidanlık koşullarında genç aşamalarda	EC: 1.8–2.0 dS/m; düşük dozlu NPK + Fe-EDDHA	Kök gelişimi ve fotosentez kapasitesi desteklenir. Klorofil ve karotenoid içeriği artar, MDA seviyesi düşer	Tzortzakakis & Chrysargyris (2025)

Damla sulama sistemlerine entegre edilen fertigasyon, besin maddelerini doğrudan kök bölgesine ulaştırarak yıkanma kayıplarını minimize eder ve bitkinin ihtiyaç duyduğu anda, ihtiyaç duyduğu elementi almasını sağlar (Howell vd., 2012; Treeby vd., 2000). Özellikle kısıtlı su kaynaklarına sahip bağ alanlarında, fertigasyonun sunduğu hassas dozlama, hedefli mineral iletimi ve fazlara göre dinamik gübreleme olanakları, bitki gelişimini ve kalite standardizasyonunu doğrudan etkiler (Conradie, 1992; Yu vd., 2020). Bunun yanında fertigasyon sistemleri, geleneksel yüzeysel uygulamalara kıyasla hem çevreye duyarlı hem de ekonomik bir çözüm sunar. Araştırmalar, bu yöntemin sadece makro element alımını değil, mikro elementlerin alınabilirliğini ve biyoyararlılığını da artırdığını göstermektedir (Tzortzakakis ve Chrysargyris, 2025). Dolayısıyla fertigasyon, bağcılıkta sadece bir uygulama aracı değil aynı zamanda iklim uyumlu besin stratejisinin temel yapı taşlarından biridir. Farklı

üzüm çeşitlerine yönelik fertigasyon uygulama zamanları, önerilen dozlar ve etkilerine ilişkin değişik çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 15'te sunulmuştur.

Uygulama Tavsiyeleri

Fertigasyon sistemi, enjeksiyon tankı, filtreleme ünitesi ve basınç dengeleme mekanizması içerecek şekilde tasarlanmalıdır. Besin çözeltisinin pH'ı 5.5-6.5 aralığında tutulmalı, gerektiğinde fosforik veya nitrik asit ile ayarlanmalıdır (Keller, 2010; Havlin vd., 2014). Uygulamada tercih edilecek gübreler, suda tamamen çözünebilen formlarda olmalıdır, özellikle potasyum nitrat, amonyum fosfat, kalsiyum nitrat gibi yapılar, çözelti stabilitesi ve iyon dengesi açısından avantaj sağlarlar (Neilsen vd., 2004). Ancak fosfatlı formlar ile kalsiyum bazlı gübreler aynı anda uygulanmamalı, kristal çökeltiler ve damlatıcı tıkanıklıkları önlenmelidir. Filtrasyon sistemi en az 120 mesh hassasiyette çalışmalı ve sistem, her uygulama sonunda 10-15 dakika temiz suyla durulanmalıdır (Stoll vd., 2000). Programlama, yıllık toprak ve su analizlerine dayanarak hazırlanmalı, sezon boyunca EC ve pH takibi ile gübreleme senaryosu güncellenmelidir. Fertigasyon sadece bir uygulama yöntemi değil aynı zamanda, besin yönetimiyle su yönetimini eş zamanlı optimize eden bir strateji olarak, modern bağcılıkta kalite sürdürülebilirliğinin temel yapı taşlarından biridir.

3. SONUÇ VE TAVSİYELER

Bu çalışma, üzüm bağlarında makro ve mikro besin elementlerinin fizyolojik rollerini, uygulama zamanlarını, doz aralıklarını ve verim-kalite üzerindeki etkilerini sistematik biçimde ortaya koymuştur. Özellikle potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi anahtar elementler ile bor, çinko, demir ve molibden gibi mikro elementlerin, fotosentez, şeker birikimi, renklenme, doku dayanımı ve aroma sentezi üzerindeki doğrudan rolleri ve bu elementler arası antagonistik-sinergistik etkileşimler, bağcılıkta uygulanacak gübreleme stratejilerinde dengeli bir besin yönetim ihtiyacını ortaya koymuştur. Yapraktan uygulamalar, özellikle meyve kalitesini belirleyen bor, kalsiyum ve demir gibi elementlerde önemli fizyolojik kazanımlar sunarken, fertigasyon teknikleri, makro elementlerin fenolojiye göre hedefli aktarılmasında verimliliği artırmaktadır.

Uygulayıcıya Dönük Öneriler

- Toprak ve yaprak analizleri, gübreleme planının sabit değil, değişken ve gözlem odaklı yapılması açısından zorunludur.
- Özellikle potasyum-magnezyum-kalsiyum ve demir-çinko-mangan arasında oluşan antagonistik ilişkiler göz önünde bulundurularak uygulamalar planlanmalıdır.
- Fenolojik odaklı besleme (çiçeklenme öncesi bor ve çinko; ben düşme öncesi potasyum ve magnezyum; meyve tutumu sonrası kalsiyum gibi) hem verimi hem kaliteyi artırır.
- Nano teknolojik gübreler ve şelatlı formlar, düşük dozla yüksek etkinlik sunarak hem çevresel yükü azaltmakta hem fizyolojik kazanımı maksimize etmektedirler.
- Organik ve konvansiyonel üretim sistemlerine özgü formülasyonlar, bakır ve bor gibi elementlerde fitotoksite riskine karşı dikkatle seçilmeli, programlar sistem türüne göre yeniden tasarlanmalıdır.
- Gübreleme yalnızca “besin verme” değil, bitkinin çevresel streslere verdiği cevabın da biyokimyasal olarak yönlendirilmesidir. Bu nedenle biyolojik ihtiyaç-ekolojik koşul uyumu gözetilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ateş, F., & Yağmur, B. (2019). Effect of sulfur and soda (NaHCO_3) applications on plant nutrition content of grapevine in organic grape growing. *Journal of Food Health and Technology Innovations*, 2(4), 118-124.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, 173, 677-702.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1-2), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Christensen, L. P. (1984). Nutrient level comparisons of leaf petioles and blades in Twenty-Six grape cultivars over three years (1979 through 1981). *American Journal of Enology and Viticulture*, 35(3), 124-133.
- Christensen, L. P. (2005). Foliar fertilization in vine mineral nutrient management programs. In P. Christensen & D. R. Smart (Eds.), *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium* (pp. 83-90). American Society for Enology and Viticulture.
- Christensen, L. P., Beede, R. H., & Peacock, W. L. (2006). Fall foliar sprays prevent boron-deficiency symptoms in grapes. *California Agriculture*, 60(2), 100-104. <https://escholarship.org/uc/item/24v4w1kr>
- Conradie, W. J. (1992). Partitioning of nitrogen in grapevines during autumn and the utilisation of nitrogen reserves during the following growing season. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 13(1), 45-51.
- de la Fuente, M., Graça, A., Manso, J., Tomás, I., Fontes, N., Gouttesoulard, C., ... & Fernández Calviño, D. (2024). Copper application in organic viticulture represents a real challenge today. *IVES Technical Reviews – Vine & Wine*. <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/8242/39486>
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M.D., Schlauch, K. A., Merillon, J.M., Cushman, J. C., & Cramer, G. R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon. *BMC Genomics*, 10(1), 212. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-212>
- Dry, P. R., Loveys, B. R., During, H., & Botting, D. G. (1996). Effects of partial root-zone drying on grapevine vigour, yield composition of fruit and use

- of water. In C. S. Stockley, A. N. Sas, R. S. Johnstone, & T. H. Lee (Eds.), *Proceedings of the 9th Australian Wine Industry Technical Conference* (pp. 16–19). Winetitles.
- Eichert, T., & Burkhardt, J. (2001). Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system. *Journal of Experimental Botany*, 52(357), 771–781. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.771>
- Esteves Amaro Baron, A. C., Baron, D., Souza, E. R., Moreira, L. S., Ono, E. O., & Rodrigues, J. D. (2022). Effects of the plant growth regulators, cobalt and molybdenum on the physiology of ‘Crimson Seedless’ grapevines. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44, 63. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03394-7>
- Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36–68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. H. (2013). *Foliar fertilization: Scientific principles and field practices*. International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Fu, X., Chen, X., Chen, Y., Hui, Y., Wang, R., & Wang, Y. (2024). Foliar co-applications of nitrogen and iron on vines at different developmental stages impacts wine grape (*Vitis vinifera* L.) composition. *Plants*, 13, 2203. <https://doi.org/10.3390/plants13162203>
- Gainza-Cortés, F., Pérez-Díaz, R., Pérez-Castro, R., Tapia, J., Casaretto, J.A., Gonzalez, S., Pena-Cortes, H., Ruiz-Lara, S., & Gonzalez, E. (2012). Characterization of a putative grapevine Zn transporter, VvZIP3, suggests its involvement in early reproductive development in *Vitis vinifera* L. *BMC Plant Biology*, 12, 111. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-111>
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2014). *Soil fertility & fertilizers: An introduction to nutrient management* (8th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Indian reprint.
- Howell, C. L., Myburgh, P. A., & Conradie, W. J. (2012). Comparison of three different fertigation strategies for drip irrigated table grapes – Part III. Growth, yield and quality. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 33(2), 190–198. <https://doi.org/10.21548/33-2-1113>

- Hu, W., Wang, J., Deng, Q., Liang, D., Xia, H., Lin, L., & Lv, X. (2023). Effects of different types of potassium fertilizers on nutrient uptake by grapevine. *Horticulturae*, 9(4), 470. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040470>
- Jackson, R. S. (2008). *Wine science: Principles and applications* (3rd ed.). Academic Press.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants* (4th ed.). CRC Press.
- Keller, M. (2010). *The science of grapevines: Anatomy and physiology*. Academic Press.
- Keller, M. (2015). *The science of grapevines: Anatomy and physiology* (2nd ed.). Academic Press.
- Keller, M., & Hrazdina, G. (1998). Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(3), 341-349. <https://doi.org/10.5344/ajev.1998.49.3.341>
- Khalil, S., Strah, R., Lodovici, A., Sambo, P., Malagoli, M., Zanin, L., & Mimmo, T. (2024). The activation of iron deficiency responses of grapevine rootstocks is dependent on the availability of nitrogen forms. *BMC Plant Biology*, 24, Article 218.
- Lateef, M. A. A., Mustafa, S. A., Rashid, D. A., & Noorii, A. M. (2022). Effect of foliar application of calcium and boron on the growth and yield and quality attributes of grape cv. Halawany. *Biochem. Cell. Arch.*, 22(1), 3029-3033.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Martins, V., Cardoso, A. A., Rodrigues, M. Â. M., Pinto, A. C., & Pintado, M. (2021). Exogenous calcium delays grape berry maturation in the white cv. Loureiro while increasing fruit firmness and flavonol content. *Frontiers in Plant Science*, 12, 742887. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.742887>
- Masi, E., & Boselli, M. (2011). Foliar application of molybdenum: Effects on yield quality of the grapevine Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Advances in Horticultural Science*, 25(1), 37-43.

- Masoud, A. A. B., Ibrahim, R. S., Hamdy, F.A.M., & Hussein, A.S. (2025). Effect of some mineral and nano-fertilizers on yield and berry quality of Thompson Seedless grape cultivar. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 56(3), 1-12.
- Mpelasoka, B. S., Schachtman, D. P., Treeby, M. T., & Thomas, M. R. (2003). A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9(3), 154-168. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2003.tb00265.x>
- Neilsen, G. H., Neilsen, D., & Parchomchuk, P. (2004). Fertigation method affects performance and nutrient uptake of grapevines. *HortScience*, 39(5), 897–902.
- Özdemir, G., Bilir Ekbiç, H., Erdem, H., Torun, B., & Tangolar, S. (2011). Effect of different zinc application methods on leaf Zn, Fe, Cu and Mn concentrations of ungrafted and grafted Flame Seedless grapevine cultivar and rootstocks (*Vitis* sp.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(2), 217-222.
- Poposka, H., Mukaetov, D., & Nedelkovski, D. (2019). Yield and mineral composition of grapevine as affected by magnesium and iron foliar nutrition. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, 17(1), 141-148.
- Ren, R., Wang, M., Zhang, L., Ren, F., Yang, B., Chen, H., ... & Zeng, Q. (2024). Manganese biofortification in grapevine by foliar spraying improves volatile profiles of Cabernet Sauvignon grapes and wine sensory traits. *Food Chemistry*, 25, 102150.
- Schreiner, R. P. (2016). Nutrient uptake and distribution in young Pinot noir grapevines over two seasons. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(4), 436-448. <https://doi.org/10.5344/ajev.2016.16019>
- Shaaban, M. M., Mahboob, M. M. K., & Abou-Zaid, E. A. A. (2024). Effect of zinc applications on the productivity of Thompson Seedless grapevines. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 55(1), 169-180. <https://doi.org/10.21608/ajas.2024.251515.1312>
- Shi, X., Zhang, Y., Wang, Y., Li, M., Cai, B., Sun, J., Ma, W., Fang, Y., & Wei, P. (2022). Effect of CaCl_2 sprays in different fruit development stages on grape berry cracking. *Frontiers in Plant Science*, 13, 870959.
- Stoll, M., Loveys, B., & Dry, P. R. (2000). Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental*

- Botany*, 51(350), 1627–1634.
<https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1627>
- Treeby, M. T., Holzapfel, B. P., Pickering, G. J., & Friedrich, C. J. (2000). Vineyard nitrogen supply and Shiraz grape and wine quality. In J. V. Possingham & G. H. Neilsen (Eds.), *Proceedings of the XXV IHC – Part 2. Acta Horticulturae 512*: 77-92. International Society for Horticultural Science.
- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., van Tuinen, D., Adrian, M., & Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1449-1467.
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0329-7>
- Tzortzakakis, N. G., & Chrysargyris, A. (2025). Alternative growing media under the same fertigation scheme affected mineral accumulation and physiological parameters in grapevine cultivars. *Horticulturae*, 11(5), 479. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050479>
- Vannozzi, A., Donnini, S., Vigani, G., Corso, M., Valle, G., Vitulo, N., Bonghi, C., Zocchi, G., & Lucchin, M. (2017). Transcriptional characterization of a widely-used grapevine rootstock genotype under different iron-limited conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1994.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01994>
- Villette, J., Cuéllar, T., Verdeil, J.-L., Delrot, S., & Gaillard, I. (2020). Grapevine potassium nutrition and fruit quality in the context of climate change. *Frontiers in Plant Science*, 11, 123.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00123>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Annals of Botany*, 88(6), 967-988.
<https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>
- Wimmer, M. A., & Eichert, T. (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203-204, 25-32.
- Yu, J., Zhu, M. T., Bai, M., Xu, Y. S., Fan, S. G., & Yang, G. S. (2020). Effect of calcium on relieving berry cracking in grape (*Vitis vinifera* L.) 'Xiangfei'. *PeerJ*, 8, e9896. <https://doi.org/10.7717/peerj.9896>

BÖLÜM 14

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE YÜKSEK SICAKLIĞIN BUĞDAY HASTALIK STRESLERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Kadir AKAN¹

Zir. Yük. Müh. Kander KOÇ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779145>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir, E-mail: kadir.akan@ahievran.edu.tr, Orcid ID. <https://orcid.org/0000-0002-1612-859X>

² Hekagro Solutions A.Ş., Mersin, E-mail: kanderkoc33@gmail.com, Orcid ID. <https://orcid.org/0000-0002-6784-8423>

GİRİŞ

Küresel nüfus, öngörülenden daha hızlı artmaktadır. 2023 yılı itibarıyla dünya nüfusu 8 milyarı aşmış, yıllık büyüme oranı %1'in üzerine çıkmıştır (Dünya Bankası, 2025). Bu hızlı artış, gıda talebini sürekli artırmakta ve mevcut tarımsal üretim sistemleri üzerinde dikkat çekici bir baskı oluşturmaktadır. Artan nüfus, yalnızca tüketimi artırmakla kalmamakta; aynı zamanda bitkisel ve hayvansal üretimin sürdürülebilirliğini de tehdit etmektedir.

Tarımsal kaynakların verimli ve sürdürülebilir yönetimi, günümüzde her zamankinden daha kritik bir hale gelmiştir. Araştırmalar, ürün verimliliği ve kalite açısından önemli ilerlemeler sağlasa da, bu gelişmeler küresel gıda güvenliğini tek başına garanti edememektedir. Sürdürülebilir gıda güvenliği, yalnızca üretim miktarının artırılmasıyla değil, aynı zamanda üretimin devamlılığı ve kalitesinin korunmasıyla mümkündür (Arora, 2019).

Bu noktada, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri giderek daha belirginleşmektedir. Sıcaklık artışları, kuraklık, toprak tuzluluğu, sel, düzensiz yağışlar, sıcaklık ve nem dalgalanmaları, şiddetli rüzgarlar ve yeraltı su kaynaklarının azalması gibi çok boyutlu çevresel tehditler, üretim süreçlerini tehdit etmektedir (IPCC, 2014; del Pozo ve ark., 2019; Farhad ve ark., 2023). Özellikle gelişmekte olan ve tarımsal altyapısı sınırlı ülkelerde, bu olumsuz koşullar üretimin istikrarı, verimliliği ve kalitesi üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır (Correia ve ark., 2024; Dellal ve ark., 2025).

İklim Değişikliği, Sıcaklık Stresi ve Bitki Sağlığı

Son dönemde, insan kaynaklı faaliyetlerin etkisiyle atmosferde biriken sera gazı miktarındaki artış, iklim değişikliğinin hız kazanmasına yol açmaktadır. Nüfusun artışı, tüketim alışkanlıklarındaki dönüşüm, fosil yakıt kullanımındaki yükseliş ve orman alanlarının azalması, bu sürecin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Crimmins ve ark., 2016; Dellal & Ünüvar, 2019). Bu gelişmeler, atmosfer ve okyanus sıcaklıklarında artışa, küresel su döngüsünde önemli değişikliklere, kar örtüsü ve buzulların azalmasına, deniz seviyesinin yükselmesi ile farklı doğal afetlerin sıklık, süresi ve şiddetinde belirgin bir artışa yol açmaktadır (IPCC, 2023). 1800'lü yıllardan bu yana kaydedilen sıcaklık verileri incelendiğinde, en yüksek sıcaklıkların 2000'li

yıllarda yaşandığı görülmektedir. Küresel ortalama sıcaklıklar, 1800'lerden günümüze yaklaşık 1 °C artış göstermiş olup, bu yükselişin önümüzdeki yüzyılda da devam edeceği öngörülmektedir (IPCC, 2023). Türkiye'de ise 2023 yılı itibarıyla sıcaklık artışı, 1991-2020 dönemine göre 1,2 °C olarak kaydedilmiştir (Dellal ve ark., 2022).

2000'li yıllardan bu yana, yaşanan mevsim sapmaları, yağış rejimlerinde düzensizlikler ve kasırga, kuraklık ile sel gibi çeşitli doğal afetlerin daha sık meydana değerlendirilmektedir (Varanasi ve ark., 2016). Türkiye'de meteorolojik kökenli afetlerin sayısında da belirgin bir artış yaşanmış ve 2023 yılında bu sayı 1.475'e ulaşmıştır. Orta ve uzun vadeli projeksiyonlar, olası afetlerin gelecekte daha sıklıkla ve şiddetle yaşanabileceği göstermektedir. Ek olarak, sıcak bölge olarak kabul edilen alanların daha da ısınabileceği, yağışlı bölgelerde ise yağış miktarının artacağı; hava koşullarında daha fazla değişkenlik görüleceği ve coğrafi olarak homojenliğin sağlanamayacağı öngörülmektedir (Solomon ve ark., 2007; Pachauri ve ark., 2014; Dellal ve ark., 2025).

İklim değişikliği, çevresel boyutunun ötesinde, ekonomik, toplumsal ve siyasal alanlarda da kritik sonuçlar doğurmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik küresel politikalar, ülkelerin üretim ve kalkınma stratejilerini doğrudan etkilemektedir (Dellal, 2016). Bu doğrultuda, ülkelerin çevreye zarar vermeden kalkınmalarını sürdürebilmeleri için yeni politikalar üretmeleri gerekmektedir. İklim değişikliği, günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde politika yapım süreçlerinde belirleyici bir unsur haline gelmiş ve bu etkinin ilerleyen dönemlerde daha da artacağı tahmin edilmektedir. Bu çerçevede, iklim değişikliğinin sonuçlarının analiz edilmesi, gelecekteki etkilerinin öngörülmesi, olumsuz etkileri azaltmaya yönelik uyum stratejilerinin oluşturulması ve iklim değişikliğine yol açan insan faaliyetleriyle mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi, hem bilim insanlarının hem de politika yapıcılarının öncelikli gündemleri arasında yer almaktadır (del Pozo ve ark., 2019). Tarımsal üretim ise, doğal koşullara yüksek derecede bağımlı olması ve iklim değişikliğinin tüm boyutlarıyla doğrudan ilişkili olması nedeniyle, diğer sektörlere kıyasla daha fazla ön plana çıkmaktadır (Dellal ve ark., 2015).

Bitki gelişiminde belirleyici olan sıcaklık, yağış, nem ve rüzgâr gibi iklimsel parametrelerdeki olağan dışı değişimler, bitkilerin vejetasyon sürelerini, üretim miktarlarını, verim ve kalite düzeylerini, hasat zamanlarını

önemli ölçüde etkilemektedir. Nitekim sıcaklık ve yağış rejimlerindeki dalgalanmalar, hastalık ve zararlıların yayılımında artışa (Correia ve ark., 2024), sulama, gübreleme ve yabancı ot mücadelesi gereksinimlerinde artırmaya (Varanasi ve ark., 2016), tozlaşma süreçlerinde değişikliklere (Crimmins ve ark., 2016), ekim alanlarında daralmalara (del Pozo ve ark., 2019) ve su kaynaklarında azalmaya yol açmaktadır (Dellal ve ark., 2025). Bu olumsuzluklar, gıda arzını da doğrudan etkileyerek, Güney Afrika gibi kırılgan ülkelerde tarımsal üretim açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Correia ve ark., 2024).

Türkiye’de yapılan araştırmalar, iklim değişikliğinin bitkisel üretimde; tahıllar, yağ bitkileri, endüstri bitkileri ve baklagillerde verimi ülke genelinde ve tüm bölgelerde %5 ila %20 oranında azaltılabileceğini göstermektedir (Dellal & Ünüvar, 2019; Dellal ve ark., 2022). Küresel projeksiyonlar da benzer şekilde, mevcut sera gazı emisyonlarının ve iklim değişikliğinin devamı halinde, 2100 yılına kadar buğday veriminde %5-50, çeltik veriminde %20-30 ve mısır veriminde %20-45, ve oranında azalmaların yaşanabileceğini bildirilmiştir (Arora, 2019).

Sıcaklık, tarımsal üretimi etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. “Sıcaklık stresi” kavramı, bitkilerin gelişimi için kritik eşiklerin üzerinde seyreden sıcaklıkları ifade etmektedir. Bu stresin şiddeti, süresi ve sıcaklık artışının hızı, bitkiler üzerindeki etkilerin derecesini belirlemektedir. Eşik sıcaklık değeri, bitki türüne, gelişim evresine ve yetiştirme dönemine göre farklılık göstermektedir. Sıcaklık toleransı, canlıların doğal olarak ya da ekonomik verim sağlayacak şekilde, eşik sıcaklıkların üzerinde gelişim gösterebilme yeteneği olarak tanımlanır. Küresel ölçekte tarımsal verim ve kalite kayıplarının önemli bir nedeni, yüksek sıcaklıkların çeşitli bitkilerde farklı dokularda (kök, gövde, çiçek, tane vb.) zarara yol açmasıdır (Suzuki ve ark., 2012). Yüksek mevsimsel sıcaklıklar ile ürün verimi ve kalitesi arasında, sıcaklık stresine bağlı olarak, güçlü bir negatif ilişki olduğu farklı çalışmalarda tutarlı biçimde rapor edilmiştir (Akter & Rafiqul Islam, 2017; Gammans ve ark., 2017; Cui, 2020). Ağırlıklı Çin, Hindistan, Bangladeş, Nepal ve İran gibi Asya ülkelerinin taşkın ovası bölgeleri, küresel iklim değişikliğinden en olumsuz etkilenecek alanlar arasında gösterilmektedir (Braun ve ark., 2010). The National Oceanic and Atmospheric Administration (2025) verileri, iklim değişikliğinin küresel boyutunu ortaya

koymakta ve dünya yüzeyinin giderek daha büyük bir bölümünün ısındığını göstermektedir. Küresel ısınmanın tüm kıtalarda belirgin şekilde hissedildiği görülmektedir. Ayrıca, kışlık ekim yapılan ürünlerde, tane sayısı, tane ağırlığı ve tane büyüklüğü gibi verimi belirleyen birçok unsurun, bu dönemde şekillendiği ortaya konmuştur (Poudel & Poudel, 2020; Farhad ve ark., 2023).

İklim değişikliklerinin bir başka önemli etkisi ise bitki koruma alanında gözlemlenmektedir. Artan sıcaklık ve değişen iklim koşulları, zararlı organizmaların, hastalık etmenlerinin ve yabancı otların yayılımını kolaylaştırmakta, mevcut mücadele yöntemlerinin etkinliğini azaltabilmektedir. Bu durum, bitki sağlığının korunmasını ve sürdürülebilir tarımsal üretimi daha karmaşık hâle getirmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik bütüncül ve yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi, hem gıda güvenliğinin sağlanması hem de bitki koruma stratejilerinin etkinliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Buğdayda Sıcaklık Stresine Karşı Savunma Mekanizmaları ve Adaptasyon

Sıcaklık stresi, bitkilerde fenolojik evrelerden morfo-fizyolojik değişimlere, gelişimsel süreçlerden biyokimyasal reaksiyonlara ve hatta verim ile kaliteyi belirleyen genetik niteliklere kadar tüm büyüme ve gelişim sistemini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bitkilerin bu strese karşı geliştirdiği yanıt mekanizmalarında, terleme yoluyla sıcaklığın düşmesini sağlayan yaprak yüzeyindeki nemin miktarı ve süresi, bitkinin strese verdiği tepkinin derecesini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır (Braun ve ark., 2010). Sıcaklık artışının, fotosentetik etkinlikte azalmaya ve bunun sonucunda ürün veriminde düşüşe yol açtığı çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur (Mathur ve ark., 2011). Bilgisayar destekli modelleme çalışmaları, küresel ısınmanın buğday bitkisinde erken olgunlaşmayı tetiklediğini ortaya koymaktadır (Lobell ve ark., 2012). Gün içerisinde karşılaşılan yüksek sıcaklık değerleri, yapraklardaki fotosentez süreçlerinde görev alan bileşenlere zarar vererek, vejetatif fazda CO₂ asimilasyon hızının, ideal sıcaklık koşullarına kıyasla düşmesine neden olmaktadır.

Yüksek sıcaklık stresi, bitkilerin hem vejetatif döneminde hem de başaklanma aşamasında gelişim süreçlerini kısıtlamaktadır. Spesifik olarak fide döneminde, sıcaklık stresinin kök uzunluğu üzerinde olumsuz etkileri olduğu

ve bu etkinin farklı buğday genotipleri arasında belirgin farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Sıcağa toleranslı fideelerde, hassas olanlara kıyasla kök uzunluğunda daha az bir küçülme gözlenmiştir. Fide döneminde sıcağa dayanıklı olan buğday genotiplerinin, ilerleyen gelişim evrelerinde de tolere edilebilir sıcaklıklara maruz kaldıklarında daha yüksek verim sağladığı bildirilmektedir. Genel olarak buğday, sıcaklık stresine karşı hassas olup, büyümenin sınırlandırılması, morfo-fizyolojik değişiklikler ve bunun sonucu olarak önemli verim kayıpları ile karşı karşıya kalmaktadır; çoğunlukla uzun süreli yüksek sıcaklık maruz kalma sonrasında bu etkiler daha belirgin hale gelmektedir (McClung & Davis, 2010; Grant ve ark., 2011).

Bitkilerin, yüksek sıcaklık streslerine gösterdikleri reaksiyonlar; stresin şiddetine, süresine ve bulundukları gelişim evresine göre önemli ölçüde değiştirirler (Ruelland & Zachowski, 2010). Yüksek sıcaklık stresi, büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etkiler oluşturarak, ürünün yaşam döngüsünün neredeyse her aşamasında bu etkileri ortaya çıkarır (Cossani & Reynolds, 2012).

Aşırı sıcaklık, bitkilerde hücresel düzeyde hasara ve hücre ölümüne yol açarak, bitkinin yapısal bütünlüğünün ve organizasyonunun bozulmasına neden olabilmektedir. Yoğun sıcaklık stresi altında, bitki hücrelerinde meydana gelen hasar ve hücre ölümü, bitkinin normal fizyolojik işleyişinde aksamalara yol açar. Bu durum, bitkinin normalden uzaklaşmasına ve genel durumunun bozulmasına neden olmaktadır. Bu durumun sonrasında amaca uygun ürün elde edilmesinde problemler yaşanmaktadır. Sıcaklık stresi, fide döneminden tane olgunlaşmasına kadar tüm gelişim evrelerinde üretimi olumsuz etkileyebilmekle birlikte, dikkat çekici olarak tane bağlamdan itibaren başaklanma sürecinde verim ve kalite kayıplarına yol açma olasılığı daha yüksektir.

Buğday, sıcaklık stresine karşı kaçınma (escape), önleme (avoidance) ve tolerans (tolerance) olmak üzere üç temel mekanizma ile yanıt verebilmektedir. Kaçınma mekanizmasında, bitki yaşam döngüsünü stres baskısı başlamadan önce tamamlayarak sıcaklık stresinden etkilenmez. Önleme mekanizmasında ise bitki, su içeriğini kontrol altında tutar; stomalarını kapatır, gövde ve yapraklarında mumsu tabaka oluşturur, yapraklarını kıvrır, yapraklarını güneşe karşı yönlendirir, yaprak yüzeyinde tüylülük geliştirir ve olgun yapraklarını yaşlandırarak su kaybını sınırlar. Tolerans mekanizmasında ise bitki, düşük su

potansiyelinde gölgeli alanlarda daha serin kalır, fotosentez etkinliğini artırarak asimilatlarını korur, radyasyon kullanımında verimliliğini yükseltir ve yüksek sıcaklıklarda tane doldurma süresini uzatır (Farhad ve ark., 2023).

Sıcaklık Stresine Dayanıklı Buğday Islahına Yaklaşımlar

Buğday, hem kışlık hem de yazlık olarak yetiştirilebilen ve dünya genelinde özellikle kışlık ekimi yaygın olan temel bir tarım ürünüdür. İklim değişikliğinin, tüm bitkilerde olduğu gibi buğday üretimi üzerindeki olumsuz etkileri, küresel gıda güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Artan küresel sıcaklıkların, sürdürülebilir buğday üretimini giderek daha fazla zorlaştıracığı öngörülmektedir (Tripathi ve ark., 2016). Sıcaklık stresi, dünyanın farklı bölgelerinde buğdayın verim ve kalitesini olumsuz yönde etkilemekte olup, başaklanma döneminde bu etkinin daha belirgin olduğu rapor edilmiştir (Mondal ve ark., 2013). Küresel ısınma ve buğdayın tolere edemediği iklim koşullarındaki değişiklikler nedeniyle, sıcaklık stresinin etkileri ile buğdayda sıcaklık toleransının artırılmasına yönelik potansiyel yaklaşımlar, üretim kârlılığı açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Sıcaklık stresine karşı toleransın artırılması amacıyla geliştirilen stratejiler, doğrudan buğdayın verim ve kalite performansını etkilemektedir.

Yapılan araştırmalar, sıcaklığın her 1 °C artışında küresel buğday veriminde $6,0 \pm 2,9$ oranında bir azalma yaşanabileceğini göstermektedir (Zhao ve ark., 2017). Kışlık buğday yetiştiriciliği yapılan alanlarda, Ocak ve Şubat aylarında görülen yüksek sıcaklıklar, sapa kalkmadan hemen önceki dönemde (double ridge) başak taslağının oluşumunu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, tane doldurma döneminde karşılaşılan yüksek sıcaklıklar terminal sıcaklık stresi, ekim dönemindeki yüksek sıcaklıklar ise erken sıcaklık stresi olarak tanımlanmaktadır. Buğdayın gelişimi ve büyümesi, erken ve terminal sıcaklık şokları nedeniyle önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır. Sıcaklık stresinin etkisi, çevresel sıcaklık, tarımsal uygulamalar ve genetik faktörlerin belirlediği evaporatif soğutma kapasitesine bağlı olarak değişmektedir (Braun ve ark., 2010).

Son yıllarda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, hexaploid buğdayın sıcaklık stresine toleransını artırmak amacıyla, yabancı atalarında bulunan genetik çeşitlilikten yararlanmayı hedeflemiştir (Elbashir ve ark., 2017; Liu . ve ark., 2019; Ma'arup ve ark., 2020; Poudel & Poudel, 2020; Elhadi ve ark., 2021; Itam ve ark., 2021, 2022; Ullah ve ark., 2021). Yabancı emmer buğdayı

(*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*), makarnalık buğday (*T. durum*) ve ekmeklik buğdayın (*T. aestivum*) A ve B genomları ile olan yakın akrabalığı nedeniyle, önemli bir genetik kaynak olarak değerlendirilmektedir. Yabani emmer buğdayının genetik materyalinin kültür buğdayına aktarılmasının, buğday ıslahında iki farklı genetik kaynak üzerinden mümkün olduğu gösterilmiştir. Farklı araştırmacılar, yabani emmer buğdayını, buğdayın çevresel (abiyotik) streslere karşı tolerans ve dayanıklılığını geliştirme veya artırmada değerli bir genetik kaynak olarak nitelendirmektedir (Peng ve ark., 2013; Tsujimoto ve ark., 2015; El Haddad ve ark., 2021). Hedef türün sahip olduğu genetik çeşitlilik, sıcaklık stresine dayanıklılıkla ilişkili başta olmak üzere, önemli agronomik, fizyolojik, verim ve kalite özelliklerini içermektedir (Peng ve ark., 2013). Yabani emmer buğdayının çeşitliliğini korumak, buğdayda sıcaklık stresine karşı toleransın geliştirilmesi ve sürdürülebilmesi yönüyle büyük bir öneme sahiptir.

Günümüzde iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri giderek daha belirgin hale gelirken, buğdayda sıcaklık stresine dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir gıda güvenliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılığın artırılması amacıyla yürütülen ıslah çalışmaları, hem klasik hem de modern yaklaşımların entegrasyonunu gerektirmektedir.

Klasik ıslah yöntemleri, genetik çeşitliliğin değerlendirilmesi ve seçici melezleme yoluyla sıcaklık stresine toleranslı bireylerin elde edilmesini hedefler. Bu süreçte, özellikle yabani buğday türlerinden ve yerel çeşitlerden yararlanılarak, mevcut gen havuzuna yeni adaptasyon özellikleri kazandırılmaktadır. Geleneksel seleksiyonun yanı sıra, ıslah programlarında sıcaklık stresine dayanıklılıkla ilişkili morfolojik ve fizyolojik özelliklerin (örneğin, erken başaklanma, kök gelişimi, yaprak yüzey özellikleri) dikkate alınması, başarı şansını artırmaktadır.

Modern ıslah yaklaşımları ise, moleküler biyoloji ve biyoteknolojideki gelişmeler sayesinde önemli bir ivme kazanmıştır. Genomik seleksiyon, marker destekli seleksiyon ve gen düzenleme teknolojileri, sıcaklık stresine dayanıklılıkla ilişkili genlerin ve kantitatif özellik lokuslarının (QTL) hızlı ve hassas bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, ıslah süreci hem hızlanmakta hem de daha hedefe yönelik hale gelmektedir. Özellikle, genom düzenleme teknikleriyle (örneğin CRISPR/Cas9) buğday

genomunda istenen değişikliklerin yapılabilmesi, sıcaklık stresine karşı yeni ve etkili dayanıklılık mekanizmalarının geliştirilmesine imkan tanımaktadır.

Ayrıca, omik teknolojilerinin (transkriptomik, proteomik, metabolomik) kullanımı, sıcaklık stresine yanıt veren gen ağlarının ve biyokimyasal yolların daha iyi anlaşılmasını sağlamış, bu da ıslah programlarının bilimsel temellerini güçlendirmiştir. Islah çalışmalarında, çoklu stres faktörlerine (örneğin, sıcaklık ve kuraklık) aynı anda dayanıklılık gösteren çeşitlerin geliştirilmesi de öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Son dönemde, çeşitli omik yaklaşımlar, biyoteknoloji ve bitki ıslahı alanlarında stres toleransı ve hücrel homeostazın temel mekanizmalarının araştırılma biçimi önemli ölçüde dönüşmüştür (Yadav ve ark., 2022). Kış döneminde ortalama sıcaklığın artması, buğdayın verim, kalite ve üretim alanlarının büyüklüğü üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Sıcaklık stresinin insan refahı ile sürdürülebilir gıda güvenliği üzerindeki sonuçları, hem doğal ekosistemlerin dengesi hem de tarımsal üretimde üreticilerin ve diğer paydaşların uyguladığı stratejiler tarafından şekillenir.

Sıcaklık stresine dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesi, klasik ve modern ıslah yöntemlerinin bütüncül bir yaklaşımla birleştirilmesini gerektirir. Genetik kaynakların etkin kullanımı, yeni biyoteknolojik araçların entegrasyonu ve disiplinlerarası iş birliği, gelecekte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini güvence altına alacaktır.

Buğdayda Biyotik Stresler, İklim Değişikliği ve Dayanıklılık Islahı

Dünya buğday üretiminin geleceği, çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin etkisiyle ciddi bir tehdit altındadır. Esasen biyotik stresler arasında yer alan hastalıklar, verim kayıpları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Farklı araştırmalar, bitki hastalıklarının başlıca tarımsal ürünlerde küresel düzeyde yaklaşık %20 oranında verim kaybına yol açtığını göstermektedir (Thind, 2012). Oerke (2006) ile Bockus ve ark. (2010), buğday üretiminde fungus, virüs ve bakteri kaynaklı patojenleri temel biyotik stres unsurları olarak tanımlamıştır. Buğdayda fungal ve bakteriyel etmenler nedeniyle oluşan hastalıkların verim kaybı yaklaşık %10, virüs kaynaklı hastalıkların ise %2 düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir (Oerke, 2006).

Başlıca biyotrof bitki patojenleri arasında; sarı (çizgi) pas hastalığına neden olan *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*), kahverengi pas hastalığına neden olan *Puccinia triticina* (= *P. recondita* f. sp. *tritici*, *Pt*), kara pas hastalığına neden olan *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (*Pgt*) ve külleme hastalığına neden olan *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (*Bgt*) yer almaktadır. Nekrotrofik patojenler ise, sarı leke hastalığına neden olan *Pyrenophora tritici-repentis*, septorya leke hastalığına neden olan *Zymoseptoria tritici*, septorya nodorum lekesi hastalığına neden olan *Phaeosphaeria nodorum*, yaprak lekesi hastalığına neden olan *Cochliobolus sativus* ve *Fusarium* başak veya kök çürüklüğüne neden olan *Fusarium* türleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, farklı fungal etmenler buğdayda toprak kökenli kök çürüklüklerine de yol açmaktadır (Duveiller ve ark., 2007). *Tilletia caries* ve *Tilletia foetida* etmenlerinin neden olduğu yaygın sürme hastalığı ile *Tilletia indica* etmeninin neden olduğu Hint (Karnal) sürmesi, dünya genelinde farklı buğday üretim alanlarında değişen düzeylerde kayıplara neden olabilmektedir (Oerke, 2006; Bockus ve ark., 2010).

Küresel iklim değişikliği, buğday üretiminde yalnızca abiyotik stres faktörlerini değil, aynı zamanda biyotik stresleri de daha karmaşık ve öngörülemez hale getirmiştir. Özellikle sıcaklık artışları, yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve ekstrem hava olayları, patojenlerin ve zararlı organizmaların yayılımını, yaşam döngüsünü ve saldırganlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum, buğdayda hastalıkların ve zararlıların neden olduğu verim kayıplarının artmasına yol açmakta, mevcut bitki koruma stratejilerinin etkinliğini ise sınırlandırmaktadır.

Sıcaklık stresi, özellikle de yüksek sıcaklıklar, bitkilerin hastalık etmenlerinin enfeksiyonuna karşı daha duyarlı hale gelmesine ve hastalıkların yayılımının kolaylaşmasına neden olmaktadır. Bitki ve patojen arasındaki etkileşim, hem sıcaklık artışı hem de bu artışın süresi tarafından önemli ölçüde şekillenmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak, daha sıcak üretim alanlarında patojenlerin yaşam döngüsünde senkronizasyon, olumsuz çevre koşullarına dayanıklılık veya kışlama, çok döngülü hastalık devrine sahip (polycyclic veya multicyclic) patojenlerin aynı üretim sezonunda daha sık görülmesi, coğrafi dağılımda kaymalar ve patojen enfeksiyon başarısı ile salgın (epidemi) riskinin artması gibi çeşitli değişiklikler gözlenmektedir (Chakraborty ve ark., 2000; Ghini ve ark., 2012; West ve ark., 2012). Küresel

iklim değişikliği, bitkinin doğal savunma sisteminin yetersiz kalmasına yol açabilmekte; bu durum, normalin üzerindeki sıcaklıklarda savunma hormonu olan salisilik asit üretiminin azalması ile açıklanmaktadır (Farhad ve ark., 2023). Bitkinin fizyolojisi ve yaprak örtüsü mimarisi, değişen hava koşullarından etkilenmekte ve bu durum hastalık yaygınlığı ile şiddeti üzerinde belirleyici olmaktadır (Pangga ve ark., 2013). Toprak kökenli ve ekonomik açıdan önemli fungal patojenlerden *Alternaria*, *Fusarium* ve *Phoma* türlerinin enfeksiyon ve yaygınlığı da artan sıcaklıklarla birlikte desteklenmektedir (Delgado-Baquerizo ve ark., 2020). Ayrıca, bitkilerle beslenen böcekler (Miedaner, 2018), mikotoksin üreten *Fusarium* türlerinin enfeksiyonunu kolaylaştırmaktadır.

Avrupa'dan toplanan farklı sarı pas hastalığı izolatlarının, yüksek sıcaklıklarda daha saldırgan olduğu rapor edilmiştir (Mboup ve ark., 2012). Walter ve ark. (2016), Batı Avustralya ve Güneydoğu ABD'den toplanan iki sarı pas hastalığı izolatının (*PstS1* ve *PstS2*), yüksek sıcaklıklarda (28/12 °C) daha önce belirlenen ve test edilen hastalık ırklarına kıyasla 3 gün daha erken geliştiğini ve %370 daha fazla spor ürettiğini rapor etmiştir. *Sr6* kara pas dayanıklılık geni içeren buğday çeşitleri, 18 °C'de kara pas hastalığına dayanıklı olarak rapor edilirken, 27 °C'de yapılan testlerde hassas reaksiyon gösterdiği bildirilmiştir (Moerschbacher ve ark., 1989). *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, başaklanma öncesi 25 °C gibi daha yüksek sıcaklık koşullarına dayanıklı olarak rapor edilmiştir (Desaint ve ark., 2021). İngiltere'nin daha çok güney bölgelerinde, 2050'li yıllarda başaklanma döneminde *Fusarium* başak çürüklüğü yaygınlığının günümüze kıyasla %10–16 oranında artabileceği ve mikotoksin kontaminasyonu sonrası daha fazla verim kaybı riskinin oluşacağı öngörülmektedir (Madgwick ve ark., 2011). *Zymoseptoria tritici*'nin neden olduğu Septoria yaprak leke hastalığı üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, farklı sıcaklık koşullarının patojenin fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma bulgularına göre, sıcaklık optimum değeri olan 25°C'nin üzerine çıktığında, patojenin spor yoğunluğu, koloni çapı ve spor üretiminde azalma gözlenirken; yüksek sıcaklıklarda (30–35°C) protein miktarında düşüş, buna karşılık prolin, proteaz, melanin ve malondialdehit (MDA) seviyelerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca, izolatlar arasında sıcaklığa karşı farklı tolerans ve adaptasyon stratejileri bildirilmiştir; özellikle bazı izolatlar yüksek sıcaklıkta proteaz üretimini artırarak virülenslerini devam

ettirdiği rapor edilmiştir. Çalışma sonucu, kuraklık ve sıcaklık stresine dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesinde, bitki patojenlerinin yüksek sıcaklıklara adaptasyon yeteneğinin mutlaka dikkate alınması gerektiğini rapor edilmiştir (Kılınç ve ark., 2021).

Küresel iklim değişikliği koşullarında, buğdayda hastalıklara karşı dayanıklılık ıslahı çalışmaları önemli zorluklar içermektedir. Kahverengi pas ve *Fusarium* başak yanıklığı gibi fungal hastalıkların görülme ve yayılma riskinde artış, kara pas gibi halen sınırlı düzeyde görülen ve verim kayıplarına neden olan etmenlerin daha sık görülmesi, Ug99 kara pas ırkı örneğinde olduğu gibi yeni veya henüz tanımlanmamış ırkların ortaya çıkışı ve sarı pas hastalığı gibi etmenlerin yüksek sıcaklıklara adaptasyon yeteneği, dayanıklılık ıslahı stratejilerinde uzun vadeli sürdürülebilirlik ve istikrar gerektirmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak, küresel ısınma koşullarına adapte olmuş buğday çeşitlerinin geliştirilerek ekim alanlarının artırılması, orta vadede kaçınılmaz bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Sıcak yetiştiricilik koşullarında hastalıklara kabul edilebilir düzeyde dayanıklılık gösteren çeşitlerin, daha serin üretim alanlarında öngörülen koşulları da yansıtacak şekilde araştırmalara dahil edilmesi önerilmektedir (Butterworth ve ark., 2010; Farhad ve ark., 2023). Gelecekte gerçekleştirilecek araştırmaların, birden fazla hastalık veya stres etmenine karşı tolerans ya da dayanıklılık sağlayan gen/genler ya da QTL'ler (MDR'ler) üzerine odaklanması önem taşımaktadır. Ayrıca, ekim tarihi ile başaklanma ve çiçeklenme dönemlerindeki değişikliklerin, *Fusarium* türleri gibi çiçek enfeksiyonu yapan funguslarda, hastalığın görülme zamanı, şiddeti ve epidemisi üzerinde önemli sonuçlar doğurabileceği bildirilmektedir (West ve ark., 2012).

Buğdayda biyotik streslere karşı dayanıklılığın artırılması, sürdürülebilir üretim için vazgeçilmez bir hedeftir. Dayanıklılık ıslahı çalışmalarında hem geleneksel hem de modern yaklaşımlar bir arada kullanılmaktadır. Geleneksel ıslah yöntemleriyle, hastalıklara karşı dayanıklı genotiplerin seçilmesi ve melezleme yoluyla yeni çeşitlerin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Modern biyoteknolojik yaklaşımlar ise, dayanıklılıkla ilişkili genlerin ve kantitatif özellik lokuslarının belirlenmesi, marker destekli seleksiyon ve genom düzenleme tekniklerinin uygulanması gibi yenilikçi yöntemleri içermektedir. Ayrıca, çoklu hastalıklara karşı dayanıklılık sağlayan gen kombinasyonlarının geliştirilmesi, ıslah programlarının öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır.

Günümüzde, entegre hastalık yönetimi stratejileri de büyük önem kazanmıştır. Bu stratejiler; dayanıklı çeşitlerin kullanımı, uygun ekim zamanı ve münavebe uygulamaları, biyolojik ve kimyasal mücadele yöntemlerinin birlikte değerlendirilmesi gibi çok yönlü yaklaşımları kapsamaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkilerini öngörebilen ve hastalık riskini azaltmaya yönelik erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, tarımsal sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır.

İklim değişikliğinin biyotik stresler üzerindeki etkilerini azaltmak ve buğdayda verim ile kalite kayıplarını en aza indirmek için, dayanıklılık ıslahı ve entegre yönetim stratejilerinin birlikte ve bütüncül bir yaklaşımla uygulanması gerekmektedir. Bu sayede, gelecekte karşılaşılmaması muhtemel yeni hastalık risklerine karşı daha dirençli ve sürdürülebilir buğday üretim sistemleri oluşturulabilecektir.

Sonuç

Küresel iklim değişikliği, tarımsal üretim sistemleri üzerinde çok yönlü ve giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Buğday gibi temel gıda ürünlerinde sıcaklık stresinin yanı sıra hastalık gelişimlerinde yaşanan değişimler, hem verim hem de kalite açısından dikkat çekici tehditler ortaya çıkarmaktadır. Sıcaklık artışları, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz etkileyerek, büyüme ve gelişim evrelerinde önemli verim kayıplarına yol açmaktadır. Bununla birlikte, iklim değişikliğine bağlı olarak artan biyotik stres faktörleri, esasen fungal, bakteriyel ve viral hastalıkların yayılımı ve şiddetinde belirgin bir artışa neden olmaktadır. Bu durum, mevcut hastalık kontrol stratejilerinin etkinliğini sınırlandırmakta ve hastalıklara karşı dayanıklılık ıslahı çalışmalarının önemini daha da ön plana çıkarmaktadır.

Buğdayda sıcaklık stresine karşı geliştirilen kaçınma, önleme ve tolerans mekanizmaları ile genetik çeşitliliğin korunması ve yeni dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir buğday üretimi açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Yabani buğday türlerinden elde edilen genetik materyaller ve modern biyoteknolojik yaklaşımlar, sıcaklık ve hastalık stresine dayanıklı buğday çeşitlerinin ıslahında önemli fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, ekim tarihi, tarımsal uygulamalar ve kültürel önlemler gibi entegre yönetim stratejileri, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada tamamlayıcı bir işlev görmektedir.

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin buğday üretimi üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve gıda güvenliğinin sürdürülebilmesi için, disiplinlerarası ve bütüncül yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, politika yapıcılarının, iklim değişikliğine uyumlu tarım politikalarını teşvik etmesi, sürdürülebilir su ve toprak yönetimi uygulamalarını yaygınlaştırması ve üreticilerin stres faktörlerine karşı bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, ıslah programlarının iklim projeksiyonları ve stres faktörleriyle entegre edilerek, hem abiyotik hem de biyotik streslere karşı toleranslı, yüksek verimli ve kaliteli buğday çeşitlerinin geliştirilmesi, gelecekte tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanmasında anahtar bir unsur olacaktır.

Bununla birlikte, mevcut literatürde hâlâ önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Özellikle, sıcaklık ve hastalık streslerinin etkileşimi, buğdayda stres toleransının moleküler ve fizyolojik temelleri, yeni genetik kaynakların kullanımı ve entegre yönetim stratejilerinin uzun vadeli etkileri gibi konularda daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, çoklu stres faktörlerine karşı dayanıklılığı artıracak yenilikçi yaklaşımlara ve uygulamaya dönük çözümlere odaklanması, hem bilimsel hem de pratik açıdan büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akter, N., & Rafiqul Islam, M. (2017). Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0443-9>
- Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2(2), 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
- Bockus, W. W., Bowden, R. L., Hunger, R. M., Morrill, W. L., Murray, T. D., & Smiley, R. W. (2010). *Compendium of wheat diseases and pests*. American Phytopathological Society. ISBN: 978-0-89054-385-6
- Braun, H. J., Atlin, G., & Payne, T. (2010). Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In M. P. Reynolds (Ed.), *Climate change and crop production* (pp. 115–138). Wallingford: CABI International.
- Butterworth, M. H., Semenov, M. A., Barnes, A., Moran, D., West, J. S., & Fitt, B. D. L. (2010). North–South divide: Contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(42), 123–130. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/37/372051>
- Chakraborty, S., Tiedemann, A. V., & Teng, P. S. (2000). Climate change: Potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution*, 108(3), 317–326. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00210-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00210-9)
- Correia, C. D., Amraoui, M., & Santos, J. A. (2024). Analysis of the impacts of climate change on agriculture in Angola: Systematic literature review. *Agronomy*, 14(4), 783. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040783>
- Cossani, C. M., & Reynolds, M. P. (2012). Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiology*, 160(4), 1710–1718. <https://doi.org/10.1104/pp.112.207753>
- Crimmins, A., Balbus, J., Gamble, J. L., Beard, C. B., Bell, J. E., Dodgen, D., Eisen, R. J., Fann, N., Hawkins, M. D., Herring, S. C., Jantarasami, L., Mills, D. M., Saha, S., Sarofim, M. C., Trtanj, J., & Ziska, L. (2016). *The impacts of climate change on human health in the United States: A*

- scientific assessment* (pp. 1–22). US Global Change Research Program. <https://doi.org/10.7930/J0R49NQX>
- Cui, X. (2020). Beyond yield response: Weather shocks and crop abandonment. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 7(5), 901–932. <https://doi.org/10.1086/709859>
- del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. A., Jara-Rojas, R., & Molina-Montenegro, M. A. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-climate regions (MCRs). *Sustainability*, 11(10), 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>
- Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., Singh, B. K., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>
- Dellal, İ. (2016). İklim değişikliği Paris Anlaşması ve tarım. *TZOB Çiftçi ve Köy Dünyası Dergisi*, Ocak.
- Dellal, İ., & Ünüvar, F. I. (2019). Effect of climate change on food supply of Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2), 692–700.
- Dellal, İ., Engürülü, B., Ulukan, H., Özveren, Ş., & Ünal, M. (2015). İklim değişikliğinin tarım sektörüne ekonomik yansımaları. In TMMOB Ziraat Mühendisliği Odası (Ed.), *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1* (pp. 62–80).
- Dellal, İ., Ünüvar, F. İ., & Polat Çavuşoğlu, P. (2025). İklim değişikliği ve tarım sektöründe uyum ve azaltım politikaları. In TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası (Ed.), *Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1* (pp. 22–37). 13–17.01.2025, Ankara, Türkiye.
- Dellal, İ., Ünüvar, F. I., & Topçu, P. (2022). İklim değişikliğinin Türkiye’de tarım üzerine etkisi: Tahıllar, zeytin, bağcılık. *Türkiye Klinikleri Social Pediatrics-Special Topics*, 3(2), 96–102.

- Desaint, H., Aoun, N., Deslandes, L., Vailleau, F., Roux, F., & Berthomé, R. (2021). Fight hard or die trying: When plants face pathogens under heat stress. *New Phytologist*, 229(2), 712–734. <https://doi.org/10.1111/nph.16965>
- Dünya Bankası. (2025). World population data, 2023. <https://data.worldbank.org/> (Erişim Tarihi: 01.06.2025)
- El Haddad, N., Kabbaj, H., Zaïm, M., El Hassouni, K., Tidiane Sall, A., Azouz, M., ... & Bassi, F. M. (2021). Crop wild relatives in durum wheat breeding: Drift or thrift? *Crop Science*, 61(1), 37–54. <https://doi.org/10.1002/csc2.20223>
- Elbashir, A. A. E., Gorafi, Y. S. A., Tahir, I. S. A., Elhashimi, A. M. A., Abdalla, M. G. A., & Tsujimoto, H. (2017). Genetic variation in heat tolerance-related traits in a population of wheat multiple synthetic derivatives. *Breeding Science*, 67, 483–492. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.17048>
- Elhadi, G. M. I., Kamal, N. M., Gorafi, Y. S. A., Yamasaki, Y., Ban, Y., Kato, K., et al. (2021). Novel loci for kernel hardness appeared as a response to heat and combined heat-drought conditions in wheat harboring *Aegilops tauschii* diversity. *Agronomy*, 11, Article 1061061. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061061>
- Farhad, M., Kumar, U., Tomar, V., Bhati, P. K., Krishnan, J. N., Kishowar-E-Mustarin, Barek, V., Brestic, M., & Hossain, A. (2023). Heat stress in wheat: A global challenge to feed billions in the current era of the changing climate. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1203721. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1203721>
- Gammans, M., Mérel, P., & Ortiz-Bobea, A. (2017). Negative impacts of climate change on cereal yields: Statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*, 12, Article aa6b0c. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6b0c>
- Ghini, R., Hamada, E., Angelotti, F., Costa, L. B., & Bettiol, W. (2012). Research approaches, adaptation strategies, and knowledge gaps concerning the impacts of climate change on plant diseases. *Tropical Plant Pathology*, 37, 5–24. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000100002>

- Grant, R. F., Kimball, B. A., Conley, M. M., White, J. W., Wall, G. W., & Ottman, M. J. (2011). Controlled warming effects on wheat growth and yield: Field measurements and modeling. *Agronomy Journal*, 103, 1742–1754. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0158>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *The Fifth Assessment Report (AR5)*. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. <http://www.ipcc.ch> (Erişim Tarihi: 01.06.2025)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2023). *Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*. https://report.ipcc.ch/ar6syrr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf (Erişim Tarihi: 01.06.2025)
- Itam, M. O., Gorafi, Y. S. A., Tahir, I. S. A., & Tsujimoto, H. (2021). Genetic variation in drought resilience-related traits among wheat multiple synthetic derivative lines: Insights for climate resilience breeding. *Breeding Science*, 71, 435–443. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.20162>
- Kılınç, N., Dikilitaş, M., Kayım, M., Ünal, G. (2021). Septoria yaprak leke hastalığı etmeni *Zymoseptoria tritici* (Desm. Quaedvlieg & Crous)'ye ait izolatların farklı sıcaklıklardaki fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerin belirlenmesi. *Harran Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(4), 469-479. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.897692>
- Liu, H., Able, A. J., & Able, J. A. (2019). Genotypic performance of Australian durum under single and combined water-deficit and heat stress during reproduction. *Scientific Reports*, 9, Article 14986. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49871-x>
- Lobell, D. B., Sibley, A., & Ivan Ortiz-Monasterio, J. (2012). Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*, 2, 186–189. <https://doi.org/10.1038/nclimate1356>
- Ma'arup, R., Trethowan, R. M., Ahmed, N. U., Bramley, H., & Sharp, P. J. (2020). Emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank) improves water use efficiency and yield of hexaploid bread wheat. *Plant Science*, 295, Article 110212. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110212>

- Madgwick, J. W., West, J. S., White, R. P., Semenov, M. A., Townsend, J. A., Turner, J. A., et al. (2011). Impacts of climate change on wheat anthesis and fusarium ear blight in the UK. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 117–131. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9739-1>
- Mathur, S., Jajoo, A., Mehta, P., & Bharti, S. (2011). Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). *Plant Biology*, 13, 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00319.x>
- Mboup, M., Bahri, B., Leconte, M., De Vallavieille-Pope, C., Kaltz, O., & Enjalbert, J. (2012). Genetic structure and local adaptation of European wheat yellow rust populations: The role of temperature-specific adaptation. *Evolutionary Applications*, 5, 341–352. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00228.x>
- McClung, C. R., & Davis, S. J. (2010). Ambient thermometers in plants: From physiological outputs towards mechanisms of thermal sensing. *Current Biology*, 20, R1086–R1092. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.035>
- Miedaner, T. (2018). Wo hat der Anbau seine Grenzen? [Maize—Where are the limits of cultivation? in German]. *Innovations-Magazin Mais*, 3, 22–25.
- Moerschbacher, B. M., Witte, U., Königs, D., & Reisener, H.-J. (1989). Changes in the level of enzyme activities involved in lignin biosynthesis during the temperature sensitive resistant response of wheat (*Sr6*) to stem rust (P6). *Plant Science*, 65, 183–190.
- Mondal, S., Mason, R. E., Huggins, T., & Hays, D. B. (2015). QTL on wheat (*Triticum aestivum* L.) chromosomes 1B, 3D and 5A are associated with constitutive production of leaf cuticular wax and may contribute to lower leaf temperatures under heat stress. *Euphytica*, 201, 123–130. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1193-2>
- Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Ypersele, J. P. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth*

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). IPCC.
- Pangga, I. B., Hanan, J., & Chakraborty, S. (2013). Climate change impacts on plant canopy architecture: Implications for pest and pathogen management. *European Journal of Plant Pathology*, 135, 595–610. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0118-y>
- Peng, J., Sun, D., Peng, Y., & Nevo, E. (2013). Gene discovery in *Triticum dicoccoides*, the direct progenitor of cultivated wheats. *Cereal Research Communications*, 41, 1–22. <https://doi.org/10.1556/CRC.2012.0030>
- Poudel, P. B., & Poudel, M. R. (2020). Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. *Journal of Biology Today's World*, 9, 1–6.
- Ruelland, E., & Zachowski, A. (2010). How plants sense temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 69, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.011>
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., ... & Miller, H. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R., & Miller, G. (2012). ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*, 35, 259–270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02336.x>
- The National Oceanic and Atmospheric Administration. (2025). Sıcaklık – küresel yıllık, ortalamadan farkı. *NOAA Climate.gov*. <https://www.climate.gov/maps-data/data-snapshots/data-source/temperature-global-yearly-difference-average> (Erişim Tarihi: 01.06.2025)
- Thind, T. S. (2012). Presidential address-fungicides in crop health security—the road ahead. *Indian Phytopathology*, 65, 109–115.
- Tripathi, A., Tripathi, D. K., Chauhan, D. K., Kumar, N., & Singh, G. S. (2016). Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agriculture*,

- Ecosystems & Environment*, 216, 356–373. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.034>
- Tsujimoto, H., Sohail, Q., Matsuoka, Y., Ogihara, Y., Takumi, S., & Handa, H. (2015). Advances in wheat genetics: From genome to field. In *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*.
- Ullah, S., Randhawa, I. A. S., & Trethowan, R. (2021). Genome-wide association study of multiple traits linked to heat tolerance in emmer-derived hexaploid wheat genotypes. *Molecular Breeding*, 41, Article 29. <https://doi.org/10.1007/s11032-021-01222-3>
- Varanasi, A., Prasad, P. V., & Jugulam, M. (2016). Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. *Advances in Agronomy*, 135, 107–146.
- Walter, S., Ali, S., Kemen, E., Nazari, K., Bahri, B. A., Enjalbert, J., et al. (2016). Molecular markers for tracking the origin and worldwide distribution of invasive strains of *Puccinia striiformis*. *Ecology and Evolution*, 6, 2790–2804. <https://doi.org/10.1002/ece3.2069>
- West, J. S., Townsend, J. A., Stevens, M., & Fitt, B. D. L. (2012). Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 133, 315–331. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9932-x>
- Yadav, M. R., Choudhary, M., Singh, J., Lal, M. K., Jha, P. K., Udawat, P., et al. (2022). Impacts, tolerance, adaptation, and mitigation of heat stress on wheat under changing climates. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, Article 2838. <https://doi.org/10.3390/IJMS23052838>
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., et al. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>

BÖLÜM 15

MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI YAKLAŞIMLARIN ARAZI UYGUNLUK SINIFLAMASINDA KULLANIMI

Doç. Dr. Siyami KARACA ¹

Dr. Öğr. Üyesi. Bulut SARĞIN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779181>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-2434-1171, s.karaca@yyu.edu.tr

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-4752-4333, bulutsargin@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Arazi uygunluk sınıflaması, belirli bir amaca yönelik olarak (örneğin tarım, ormancılık, kentsel gelişim veya doğa koruma) bir alanın fiziksel, çevresel ve sosyoekonomik açıdan ne derece uygun olduğunu belirlemeyi amaçlayan çok disiplinli bir analiz sürecidir. Bu süreç; sürdürülebilir kaynak yönetimi, verimli toprak kullanımı, gıda güvenliği ve iklim değişikliğine uyum açısından giderek artan bir önem kazanmaktadır (FAO, 1976). Geleneksel yöntemler, uzman görüşüne dayalı derecelendirme sistemleri, ağırlıklı puanlama yöntemleri ve çok kriterli karar verme (MCDM) yaklaşımlarına odaklanmıştır. Ancak bu yöntemler, büyük ve karmaşık veri setlerini işleme kapasitesinin sınırlı olması, yorumlayıcı öznellik içermesi ve mekansal genelleme yetisinin düşük olması nedeniyle modern veri analiz gereksinimlerini tam olarak karşılayamamaktadır (Akinci, 2018). Bu bağlamda, Makine Öğrenmesi (MÖ) algoritmaları, çok sayıda biyofiziksel ve çevresel girdiyi bir arada analiz edebilme yetisi sayesinde arazi uygunluk değerlendirmelerinde umut vadeden alternatifler olarak öne çıkmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Makine Öğrenim Şeması (<https://www.fsm.ac.in/blog/an-introduction-to-machine-learning-its-importance-types-and-applications/>)

MÖ algoritmaları, özellikle yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerinin, toprak parametrelerinin, iklimsel göstergelerin ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) verilerinin entegre edilmesiyle arazi potansiyelini daha doğru ve ölçeklenebilir bir biçimde modelleyebilmektedir (Tehrany vd., 2019; Khosravani vd., 2024). Özellikle günümüzde yapay zeka, uzaktan algılama ve büyük veri teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, makine öğrenmesi yaklaşımları arazi değerlendirme süreçlerini sadece otomatikleştirmekle kalmamakta, aynı zamanda bu süreci nesnel, tekrar üretilebilir ve veri odaklı bir yapıya dönüştürmektedir. Bu sayede kullanıcıya farklı senaryolar altında çoklu çıktı sağlayabilen, uyarlanabilir ve dinamik bir planlama aracı sunulmaktadır (Wang vd., 2024; Meyer vd., 2025). Bu bölümde, makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların arazi uygunluk sınıflaması alanındaki yöntemsel temelleri, kullanılan algoritmalar, veri işleme teknikleri ve gelecekteki araştırma potansiyeli ele alınmaktadır. Temel amaç, tarımsal üretim planlamasından kentleşme politikalarına kadar çok çeşitli alanlarda uygulanabilen bu teknolojilerin arazi uygunluk sınıflamasındaki katkılarını ortaya koymaktır.

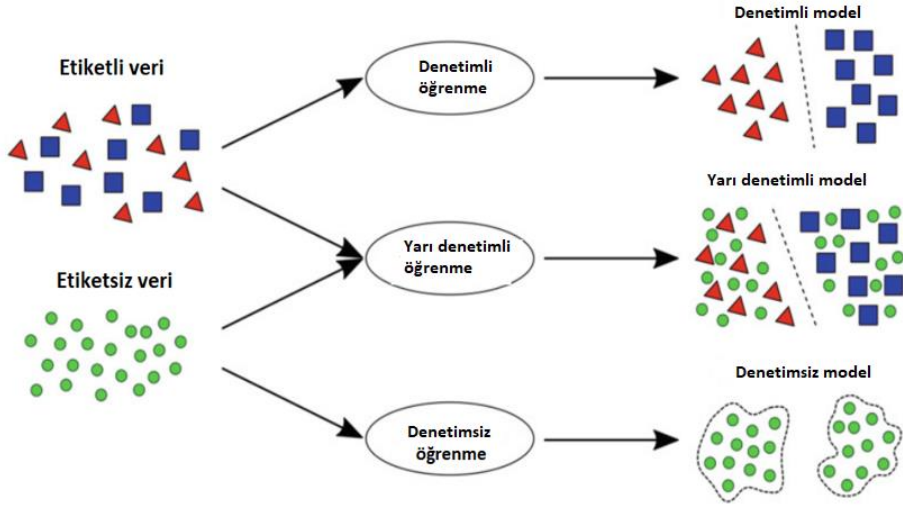
2. ARAZİ UYGUNLUK SINIFLAMASI VE KULLANILAN YÖNTEMLER

Arazi uygunluk sınıflaması, belirli bir kullanım amacı doğrultusunda (örneğin buğday yetiştiriciliği, bağcılık, kentleşme) arazilerin çeşitli çevresel ve fiziko-kimyasal kriterlere göre değerlendirilmesini ifade eder. FAO'nun (1976) yayımladığı çerçeveye göre, arazi uygunluğu; verim potansiyeli, sürdürülebilirlik, ekonomik rantabilite ve çevresel koruma kriterlerini dikkate alan çok boyutlu bir yaklaşımdır. Bilimsel temeller açısından sınıflama süreçleri genellikle iki ana yöntem etrafında şekillenir: (1) Kalitatif yöntemler (uzman görüşü, deneyimsel sınıflama, puanlama sistemleri) ve (2) Kantitatif yöntemler (istatistiksel modelleme, çok kriterli karar verme (MCDM), uzamsal analizler). Özellikle FAO temelli sistemlerde araziler; "çok uygun (S1)", "orta derecede uygun (S2)", "marjinal uygun (S3)" ve "uygun olmayan (N)" gibi kategorilere ayrılır. Bu değerlendirme; topografya (eğim, rakım), iklim (yağış, sıcaklık), toprak (tekstür, pH, drenaj), hidroloji (yer altı suyu derinliği) ve arazi kullanımı gibi çok sayıda veri setini içerebilir (Kaya ve Dengiz 2021).

Son yıllarda bu temel değerlendirme çerçevesi, daha objektif, tekrarlanabilir ve çok verili hale gelmiş; özellikle CBS tabanlı karar destek

3. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi (MÖ), verilerden öğrenerek tahmin veya kararlar üretebilen algoritmalar bütünü olarak tanımlanabilir. Arazi uygunluk sınıflaması gibi çok boyutlu karar süreçlerinde, MÖ algoritmaları çok sayıda girdi değişkenini değerlendirerek doğruluk oranı yüksek sınıflandırmalar gerçekleştirme potansiyeline sahiptir (Meyer vd., 2025). Makine öğrenimi yöntemleri genel olarak üç ana kategoriye ayrılır: Bu yöntemler; denetimli öğrenme (supervised learning), denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) ve yarı denetimli öğrenme (semi-supervised learning) olmak üzere üç grupta sınıflandırılır (Şekil 3).



Şekil 3. Makine öğrenmesinde gözetimli, yarı gözetimli ve gözetimsiz öğrenme yaklaşımları (Machine., 2022)

3.1 . Denetimli öğrenme (Supervised learning)

Bu yöntemlerde etiketli (hangi sınıfa ait olduğu bilinen) veriler kullanılır. Sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılır ve geçmiş verilerdeki etiketli örnekleri temel alarak tahmin modelleri üretir. Arazi uygunluk sınıflandırmasında en sık kullanılan algoritmalar bu gruba aittir.

Kullanılan temel algoritmalar:

- **Karar Ağaçları (Decision Trees-DT):** Karar verme kuralları oluşturarak sınıflandırma ve regresyon yapan, yorumlanabilir

modellerdir. Heyelan duyarlılık haritalamasında SVM ve ANFIS gibi modellerle karşılaştırılmıştır (Pradhan, 2013).

- **Rastgele Orman (Random Forest-RF):** Karar ağaçlarının bir topluluğu olan RF, uzaktan algılama görüntülerinin sınıflandırılması, arazi uygunluk analizleri ve mekansal değişkenliğin haritalanması gibi görevlerde etkili bir performans sergilemektedir (Aljanabi ve Dedeoğlu, 2025; Parvizi ve Fatehi, 2025; Sonet vd., 2025).
- **Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines-SVM):** Uzaktan algılama görüntülerinin sınıflandırılmasında ve çeşitli mekânsal modellemelerde yüksek doğruluk sağlayan güçlü bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Arazi örtüsünün kullanım sınıflandırması, sel duyarlılık haritalaması ve heyelan duyarlılık haritalaması gibi birçok alanda uygulanmıştır (Pradhan, 2013; Sarmadian vd., 2014; Tehrani vd., 2014 Al.Khafaji vd., 2025; Sonet vd., 2025).
- **Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks - ANN):** Yapay Sinir Ağları (ANN), insan beyninin yapısından esinlenerek geliştirilen algoritmalar. Bu yapay zekâ yöntemleri, doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, özellikle çok faktörlü analiz gerektiren arazi uygunluk değerlendirmelerinde etkili sonuçlar vermektedir. Örneğin, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında ANN'ler nöro-bulanık yaklaşımlarla birlikte kullanılmıştır (Vahidnia vd., 2010). Benzer şekilde, Türkiye'nin yarı kurak İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Gözel Tarım İşletmesi'nde buğday ekimi için arazi uygunluk haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmada, toprak morfolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uzun dönemli uzaktan algılama indeksleri kullanılmıştır. Ayrıca, ANN, KNN, RF, SVM ve XgbTree gibi makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmıştır (Aljanabi ve Dedeoğlu, 2025).
- **K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor-KNN):** Veri noktalarını en yakın komşularının çoğunluk sınıfına atayan basit ama etkili bir sınıflandırma algoritmasıdır (Aljanabi ve Dedeoğlu, 2025). Buğday üretimi uygunluk ve haritalama çalışmasında kullanılmıştır

3.2. Denetimsiz öğrenme (Unsupervised learning)

Bu tür modellere etiketsiz (sınıfı bilinmeyen) veriler kullanılır. Etiketlenmemiş verilerde yapısal örüntüleri keşfetmek için kullanılır. Kümeleme (clustering) algoritmaları bu kategoride yer alır. Örneğin, k-means ve DBSCAN algoritmaları, benzer özellik gösteren arazi parçalarını gruplamak için kullanılabilir (Gandhi, 2022).

3.3. Yarı Denetimli öğrenme (Semi-supervised learning)

Modelin eğitimi için (örneğin, hangi sınıfa ait olduğu biline veriler) hemde etiketsiz (sınıf bilinmeyen) veriler kullanılır. Az sayıda etiketli ve çok sayıda etiketsiz verinin bir arada kullanıldığı bir yaklaşımdır. Özellikle arazi örneklemelerinde, sınıflandırılmış veri miktarı kısıtlı olduğunda avantaj sağlar. Model performansının değerlendirilmesi için çeşitli istatistiksel metrikler kullanılmaktadır:

- **Doğruluk (Accuracy):** Doğru tahminlerin toplam tahminlere oranıdır. Özellikle dengeli veri setlerinde kullanışlıdır (Talukdar vd., 2020; Basheer vd., 2022).
- **Duyarlılık (Sensitivity) ve Özgüllük (Specificity):** Duyarlılık, pozitif sınıfa ait vakaların ne kadarının doğru tahmin edildiğini; özgüllük ise negatif sınıfa ait vakaların ne kadarının doğru tahmin edildiğini gösterir. Özellikle afet duyarlılık haritalamasında önemlidir (Talukdar vd., 2020).
- **Kappa Katsayısı:** Sınıflandırma modelinin rastlantısal tahminlere göre performans üstünlüğünü ortaya koyar. Özellikle sınıf dağılımı dengesiz olduğunda, doğruluk oranına kıyasla daha anlamlı sonuçlar sunar (Özbuldu ve Şekerli., 2022; Danacıoğlu., 2025).
- **Alan Altındaki Eğri (Area Under the Curve-AUC) ve Alıcı Çalışma Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic-ROC) eğrisi:** Modelin, tüm sınıflandırma eşik değerleri üzerindeki başarısını ölçmek için ROC eğrisi kullanılır. AUC değeri 1'e ne kadar yaklaşırsa, modelin ayırt edici gücü o kadar yüksek kabul edilir (Sutojo vd., 2025). ROC eğrisi, özellikle heyelan duyarlılık haritalarının doğrulamasında yaygın şekilde uygulanmaktadır (Pradhan, 2013; Akıncı vd., 2020).

- **RMSE (Root Mean Squared Error):** Regresyon modellerinde tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının kareköküdür. Daha düşük RMSE değerleri daha iyi performansı gösterir (Talukdar vd., 2020).

Makine öğrenmesinin bu kavramsal çerçevesi, arazi uygunluk sınıflamasında daha güçlü, uyarlanabilir ve otomatik modellerin geliştirilmesi için sağlam bir temel sunmaktadır.

4. ARAZİ VERİLERİ VE ARAZİ UYGUNLUK İLİŞKİSİ

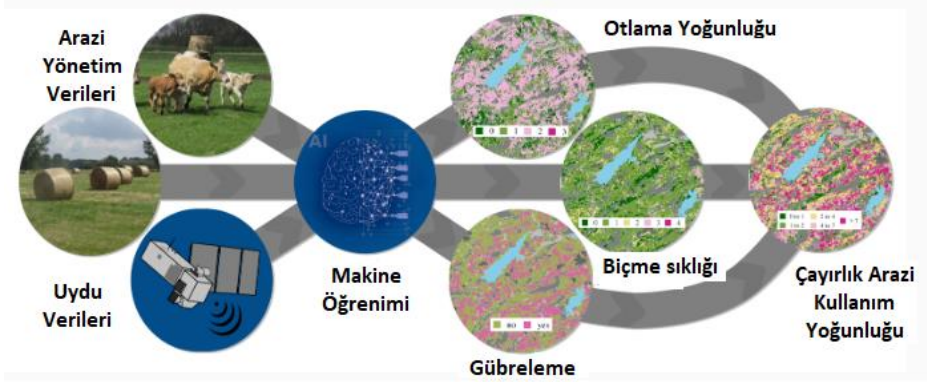
Arazi uygunluk sınıflamasında kullanılan makine öğrenmesi modellerinin başarısı, büyük ölçüde kullanılan veri setlerinin kalitesi ve bu verilerin uygun şekilde işlenmesine bağlıdır. Özellikle çok değişkenli ve heterojen çevresel verilerin bütünleştirilmesi, modelin sınıflandırma doğruluğunu doğrudan etkileyen bir faktördür (Feng vd., 2025).

Girdi verileri genel olarak şu kategorilerde sınıflandırılabilir:

- **Toprak Özellikleri:** Toprak tekstürü, pH, organik karbon içeriği, drenaj ve derinlik gibi özellikler hem mahsul yetiştiriciliği hem de genel arazi uygunluğu açısından kritik öneme sahiptir (Aljanabi ve Dedeoğlu, 2025; Sawant vd., 2025; Pahlavan-Rad ve Akbarimoghaddam, 2018). Bu özellikler genellikle saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri yoluyla belirlenir.
- **Topografik Veriler:** Dijital Yükseklik Modelleri (DEM), eğim, bakı, topografik ıslaklık indeksi (TWI), topografik konum indeksi (TPI) gibi türetilmiş topografik özellikler, arazi morfolojisi ve su akışı gibi önemli çevresel faktörleri temsil eder (Dharumarajan vd., 2017; Gandhi, 2022). Bu veriler, heyelan duyarlılığı ve tarımsal uygunluk gibi pek çok uygulamada temel girdi parametreleridir.
- **İklim Verileri:** Yağış, sıcaklık ve nem gibi iklim değişkenleri; belirli mahsuller için arazi uygunluğunu değerlendirmede ve kuraklık ile taşkın gibi doğal tehlikeleri analiz etmede kullanılır (Sawant vd., 2025; Gandhi, 2022; Reddy, 2025). Ayrıca, geleceğe yönelik iklim senaryoları modellerde kullanılarak adaptif arazi planlaması yapılabilir (Forster vd., 2025).

- **Hidrolojik Veriler:** Akarsu ağı, drenaj yoğunluğu ve taban suyu seviyesi gibi hidrolojik faktörler; taşkın riski analizlerinde ve sulama potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynar (Tehrany vd., 2014).
- **Arazi örtüsü ve kullanım verileri:** Landsat, Sentinel ve IRS LISS IV gibi uydu görüntüleri ile LIDAR, NDVI ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama verileri; arazi örtüsü, yüzey özellikleri ve su kütleleri gibi mekansal bilgileri sağlar (Liv d., 2015; Ardohain ve Fei, 2025).

Yüksek çözünürlüklü görüntüler, daha ayrıntılı analizlere olanak tanır ve derin öğrenme modellerinin doğruluğunu artırabilir (Şekil 4). Uzaktan algılama sistemleri (Landsat, Sentinel, MODIS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (QGIS, ArcGIS) ile toprak ve iklim veritabanları (SoilGrids, WorldClim, FAO, NASA POWER), veri elde etmede en yaygın kullanılan kaynaklardır (Wang vd., 2024; Meyer vd., 2025). Veri hazırlama süreci; eksik ve hatalı verilerin temizlenmesi, normalizasyon, yeniden örnekleme ve veri birleştirme gibi adımları içerir. Eksik veriler, çevresel analizlerde sık görülür ve genellikle interpolasyon ya da makine öğrenmesine dayalı tahmin yöntemleriyle tamamlanır (Tawakuli vd., 2025).



Şekil 4. Uydu ve arazi yönetim verilerinin makine öğrenimi ile entegre edilerek çayır kullanım yoğunluklarının belirlenmesi (Lange vd., 2022)

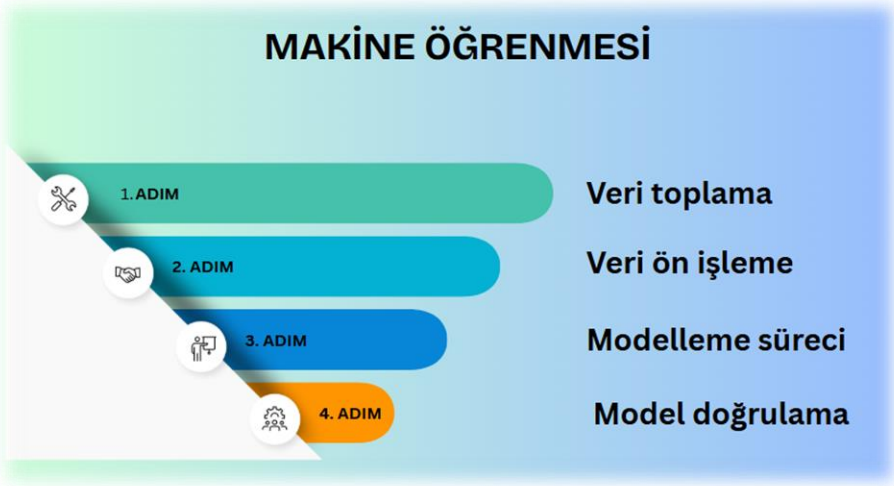
Verilerin değerlendirilmesi, bu veriler arasından sınıflama için en anlamlı olanların seçilmesini içerir. Makine öğrenmesinde verilerin değerlendirilmesi ve özellik seçimi(feature selection) için kullanılan bazı yöntemler:

- **Temel Bileşen Analizi (PCA):** Temel Bileşen Analizi (PCA-Principal Component Analysis), makine öğrenmesinde boyut indirgeme (dimensionality reduction) amacıyla sıkça kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Özellikle çok sayıda değişken içeren veri setlerinde, verinin yapısını koruyarak daha az sayıda bileşenle temsil edilmesini sağlar. .
- **Boruta Algoritması:** Boruta, **R** dilinde geliştirilmiş, ancak Python’da da BorutaPy kütüphanesi ile kullanılabilen bir sarmalayıcı (wrapper) yöntemdir. Rastgele orman (Random Forest) algoritması üzerine kurulmuştur. Boruta, değişken önemini (feature importance) değerlendirerek hangi değişkenlerin gerçekten hedef değişken (target variable) üzerinde etkili olduğunu belirler.
- **Tekrarlayan Özellik Eleme (Recursive Feature Elimination-RFE):** Tekrarlayan Özellik Eleme (Recursive Feature Elimination-RFE), makine öğrenmesinde özellik seçimi (feature selection) amacıyla kullanılan güçlü ve yaygın bir yöntemdir. Modelin başarımını artırmak, karmaşıklığını azaltmak ve aşırı öğrenmeyi (overfitting) önlemek için kullanılır. RFE, bir makine öğrenmesi modelini kullanarak en az gerekli olan özellikleri adım adım (tekrarlı şekilde) kaldırır.

Etkin özelliklerin belirlenmesi ve seçilmesi modelin karmaşıklığını azaltarak aşırı öğrenmenin önüne geçer. Aynı zamanda sınıflandırma doğruluğunu artırır (n Bu süreç, modelin yorumlanabilirliği açısından da kritik öneme sahiptir. Arazi uygunluk modellemesinde veri hazırlama ve özellik seçimi, sürecin temel yapı taşlarını oluşturur. Bu adımlar, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkiler; bu nedenle sistematik ve özenli bir biçimde yürütülmelidir.

5. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ARAZİ UYGUNLUK SINIFLAMA MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Makine öğrenmesi algoritmalarının arazi uygunluk sınıflamasında etkili biçimde uygulanabilmesi, sistemli bir iş akışına bağlıdır. Bu süreç; **veri toplama, veri ön işleme, modelleme ve doğrulama** olmak üzere dört temel aşamadan oluşur (Şekil 5). Her bir aşama, modelin doğruluk düzeyi ve genellenebilirliği üzerinde doğrudan belirleyicidir (Feng vd., 2025).



Şekil 5. Makine öğrenmesinde genel iş akışı

Veri toplama, model başarısını etkileyen en temel ve öncelikli adımdır. Bu aşamada çok kaynaklı mekânsal ve zamansal veriler bir araya getirilir. Başlıca veri kaynakları arasında Landsat ve Sentinel gibi uydu görüntüleri, dijital yükseklik modelleri (DEM), toprak analiz raporları, WorldClim iklim veritabanı ve güncel arazi kullanım haritaları yer alır. (Wang vd., 2024).

Veri ön işleme, ham verileri modellemeye uygun hâle getirmeyi amaçlar. Bu aşamada, eksik verilerin tamamlanması, aykırı gözlemlerin giderilmesi, değişkenlerin normalize edilmesi ve farklı veri setlerinin mekânsal ve zamansal olarak birbiriyle uyumlu hâle getirilmesi sağlanır (Meyer vd., 2025). İyi yapılandırılmış bir ön işleme süreci, modelin hem doğruluğunu hem de işlem verimliliğini artırır.

Modelleme süreci, uygun makine öğrenmesi algoritmalarının seçilerek eğitilmesini içerir. Bu süreçte:

- Veri seti eğitim ve test alt kümelerine ayrılır (genellikle %70 eğitim, %30 test ya da k-fold çapraz doğrulama ile).
- Farklı algoritmalar (RF, SVM, ANN, k-NN vb.) denenir ve performans metrikleri (doğruluk, kappa, F1 skoru) karşılaştırılır.
- En iyi performansı veren model seçilerek sahada doğrulama veya CBS tabanlı haritalama için uygulanır (Taghizadeh-Mehrjardi vd., 2020).

Model doğrulama, modelin genellenabilirliğini ve güvenilirliğini test eden bir adımdır. Bu aşamada bağımsız veri setleri veya çapraz doğrulama yöntemleriyle modelin hataları ve başarı oranı değerlendirilir. Özellikle ROC (Receiver Operating Characteristic Curve), eğrisi, hata matrisi, kappa katsayısı gibi istatistiksel ölçütler kullanılır (Khosravani vd., 2024).

Bu sürecin sonunda elde edilen modeller, belirli ürünler veya kullanım amaçları için arazi uygunluk sınıflamasında ve haritaları üretmekte kullanılabilir. Örneğin:

- **Tarım:** Buğday, mısır, zeytin gibi ürünlerin ideal yetiştirme bölgeleri belirlenebilir.
- **Bağcılık:** Eğim, yön ve iklim kriterlerine göre en uygun bağ alanları saptanabilir.
- **Kent planlaması:** Gelecekteki yerleşim alanları, altyapı yatırımları için sınıflandırılabilir.

Makine öğrenmesi tabanlı bu modeller, yalnızca mevcut koşullara göre değil, iklim değişikliği senaryolarına göre de geleceğe yönelik projeksiyonlar sunarak karar vericilere stratejik planlama açısından katkı sağlar (Gandhi, 2022).

6. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE ENTEGRASYON

Makine öğrenmesi ile geliştirilen arazi uygunluk sınıflama modellerinin etkin biçimde uygulanabilmesi için mekansal veri yönetimi ve görselleştirme araçlarıyla bütünleşmesi gerekmektedir. Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekana bağlı analizlerin yürütülmesi, model çıktılarının haritalanması ve karar destek sistemlerinin oluşturulması açısından kritik bir rol üstlenmektedir (Wang vd., 2024). CBS, raster (ızgara temelli) ve vektör (noktalar, çizgiler, alanlar) veri yapıları ile farklı coğrafi veri kaynaklarının birlikte kullanılmasına olanak tanır. Bu sayede makine öğrenmesi modellerinden elde edilen sınıflandırma sonuçları, mekânsal olarak temsil edilerek analiz edilebilir (Meyer vd., 2025). Raster tabanlı uygunluk haritaları, her pikselin belirli bir sınıfa (ör. “uygun”, “orta uygun”, “uygun değil”) atanması yoluyla görselleştirilebilir.

Makine öğrenmesi ile CBS arasındaki entegrasyon şu temel adımlar üzerinden sağlanır:

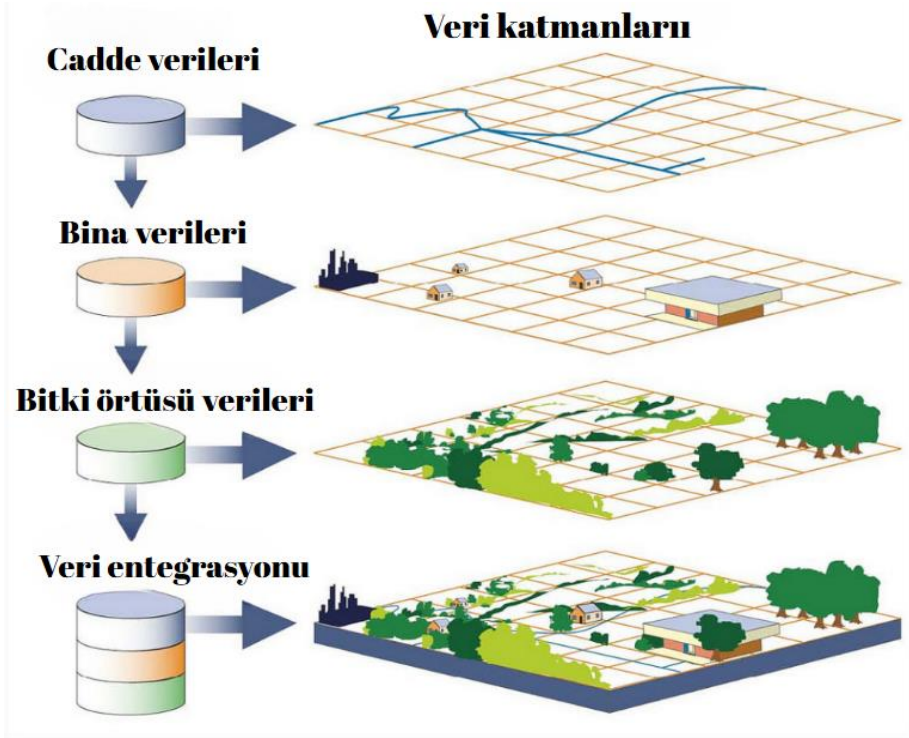
- a) **Veri Girdisi Dönüşümü ve Hazırlığı:** Uydu görüntüleri, DEM verileri ve toprak haritaları gibi farklı veri türleri, CBS yazılımlarında sınıflandırmaya uygun formatlara dönüştürülür. Bu kapsamda, mekânsal çözünürlük ayarlamaları, koordinat sistemlerinin uyumlandırılması, yeniden örnekleme işlemleri ve veri mozaikleme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Feng vd., 2025).
- b) **Modelleme Süreçlerinin CBS Tabanlı Yürütülmesi:** Python, R veya Google Earth Engine gibi programlama ortamlarında eğitilen makine öğrenmesi modelleri, CBS yazılımlarıyla bütünleştirilerek mekânsal analizlerle senkronize bir şekilde çalıştırılır. Özellikle Google Earth Engine, Sentinel-2 veya Landsat verilerinin doğrudan çağrılmasına ve makine öğrenmesi algoritmalarının büyük alanlarda uygulanmasına olanak sağlar (Akıncı vd., 2020).
- c) **Görselleştirme ve Karar Destek Araçları:** Model çıktılarının tematik haritalar, uygunluk indeks haritaları, 3D yüzey analizleri gibi formatlarda sunulması sayesinde kullanıcılar kolay yorumlama ve karşılaştırma imkânı bulur. Örneğin; RF ile oluşturulan sınıflandırma haritası, CBS üzerinde raster olarak çizilerek farklı arazi türlerinin mekansal dağılımı detaylı biçimde analiz edilebilir (Khosravani vd., 2024).

CBS'nin sağladığı mekânsal analiz yetenekleri, arazi parçalarının potansiyelini değerlendirmenin ötesinde, sınıflandırma sonuçlarını çeşitli senaryolar altında test etmeyi ve etkili planlama alternatifleri geliştirmeyi de mümkün kılar. Örneğin:

- **Tarımda:** Farklı ürünler için uygunluk haritalarının oluşturulması ve araziye özgü gübreleme, sulama planlarının CBS ortamında modellenmesi.
- **Şehir planlamasında:** Arazi kullanımı dönüşüm senaryoları, doğal afet riski altındaki bölgelerin mekansal analizleri.
- **İklim değişikliği modellerinde:** Gelecekteki senaryolar altında sınıflandırmaların tekrar yürütülmesi.

QGIS ve SAGA GIS gibi açık kaynak yazılımlar, özellikle akademik çalışmalar için maliyetsiz çözümler sunarken, ArcGIS gibi ticari platformlar daha geniş veri analizi ve görselleştirme kapasitesi ile öne çıkar.

CBS entegrasyonu, makine öğrenmesine dayalı arazi uygunluk sınıflamalarını uygulanabilir mekansal bilgiye dönüştürür (Şekil 6). Bu yapı, dijital tarım ve sürdürülebilir planlama süreçlerinde stratejik bir araç olarak öne çıkar.



Şekil 6. Farklı Tematik Katmanların Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) Entegrasyonu
(<https://www.desapex.com/blog-posts/gis-and-its-applications-in-construction-industry>)

7. DERİN ÖĞRENME VE GELİŞMEKTE OLAN YÖNTEMLER

Son yıllarda, mekânsal veri analizinde geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarının ötesine geçilerek **derin öğrenme** yaklaşımlarına yönelim artmıştır. Özellikle yüksek hacimli, çok boyutlu ve karmaşık yapıları verilerin işlenmesinde, bu yöntemler önemli avantajlar sunmaktadır. Derin öğrenme modelleri, çok katmanlı yapay sinir ağları (ANN) aracılığıyla karmaşık örüntüleri öğrenebilme kapasitesine sahiptir. Bu sayede, hem model doğruluğu yükselmekte hem de manuel öznitelik çıkarımına olan ihtiyaç azalmaktadır (Sutojo vd., 2025). Derin öğrenme uygulamaları arasında, özellikle Evrişimli

Sinir Ağları (CNN) görüntü tabanlı sınıflandırmalarda, Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ise zamana bağlı verilerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu iki mimarinin yapısal farklılıkları ve veri işleme kapasiteleri, Şekil 7'de görsel olarak sunulmuştur.

Evrışimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks-CNN): Evrışimli Sinir Ağları (CNN), özellikle görüntü işleme ve mekânsal veri analizi için geliştirilmiş derin öğrenme mimarileridir. Bu modeller, uzaktan algılama görüntülerinden elde edilen verilerle yapılan arazi örtüsü sınıflandırması ve değişim tespiti çalışmalarında yüksek başarı sağlamıştır (Pushpalatha vd., 2025; Ardohain ve Fei, 2025). Ayrıca, heyelan duyarlılık haritalarında, mekânsal bağımlılıkları ve jeolojik-çevresel değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri yakalamadaki etkinliği ortaya konmuştur (Feng vd., 2025). Son dönemde ise CNN tabanlı modeller, çok modlu öz-denetimli öğrenme yaklaşımlarıyla birlikte kullanılarak uzaktan algılama verilerinin daha derinlemesine yorumlanmasını mümkün kılmıştır (Xue vd., 2025).

Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks- RNN): Özellikle Uzun Kısa Süreli Bellek (**Long Short-Term Memory -LSTM**) ağları, zaman serili verilerle çalışmak için uygundur. İklim değişkenlerinin zamana bağlı eğilimleri veya arazi kullanımındaki değişikliklerin modellenmesinde bu yapılar etkili biçimde kullanılabilir (Gandhi, 2022).

Derin öğrenme yaklaşımlarının öne çıkan avantajları şunlardır:

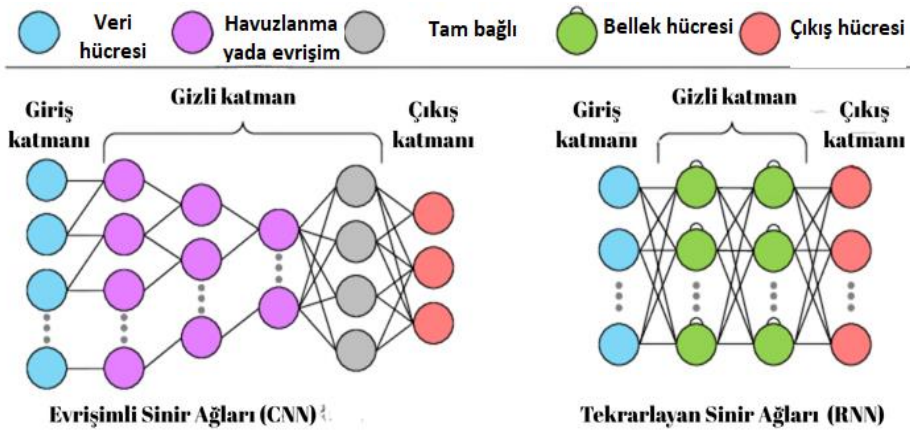
- Otomatik öznitelik çıkarımı ile özellik mühendisliği ihtiyacını azaltır.
- Yüksek hacimli verilerle çalışmaya uygundur.
- Farklı veri kaynaklarını aynı anda bütünleştirme kapasitesine sahiptir (ör. görüntü + sayısal veriler).

Bununla birlikte, bu yöntemlerin bazı sınırlamaları vardır. Yüksek hesaplama maliyeti, büyük miktarda eğitim verisi gereksinimi ve modelin yorumlanabilirliğindeki zorluklar bu sınırlamalar arasındadır. Bu etkenler, yöntemlerin yaygın kullanımını kısıtlamaktadır. (Meyer vd., 2025).

Gelişmekte olan bazı yöntemler:

- **Federatif Öğrenme:** Verilerin merkezi olmayan biçimde işlenmesine olanak tanır, özellikle veri gizliliğinin önemli olduğu durumlarda kullanılır.

- **Hibrit Modeller:** Karar ağaçları ile CNN/RNN yaklaşımlarını birleştirerek hem yorumlanabilir hem de güçlü modeller geliştirilmesini sağlar.
- **XAI (Açıklanabilir Yapay Zeka):** Özellikle siyah kutu modellerin karar verme süreçlerini açıklamak üzere geliştirilen yöntemleri kapsar. SHAP, LIME gibi araçlar kullanılarak modelin hangi girdiler üzerinden karar verdiği görselleştirilebilir.



Şekil 7. Derin öğrenmede kullanılan iki temel mimari: CNN ve RNN ağ yapıları (Zhang vd., 2021)

Bu yeni nesil algoritmalar, yalnızca akademik modelleme çalışmaları değil; aynı zamanda gerçek zamanlı karar destek sistemleri, mobil uygulamalar ve bulut tabanlı arazi izleme sistemleri gibi uygulama alanlarında da giderek yaygınlaşmaktadır. Derin öğrenme ve gelişmiş yaklaşımlar, arazi sınıflandırma modellerini daha ölçeklenebilir, doğru ve uyarlanabilir hale getirmektedir

8. ZORLUKLAR VE SINIRLAMALAR

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli arazi uygunluk sınıflamaları, sunduğu teknik avantajlara rağmen bazı önemli zorlukları ve sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar genellikle veri kaynaklı, model temelli ya da yorumlama düzeyinde ortaya çıkmaktadır.

Veri Temsili ve Kalitesi: Model performansı büyük ölçüde kullanılan verinin kalitesine, kapsamına ve temsil kabiliyetine bağlıdır. Özellikle

heterojen coğrafi alanlarda verinin eksik, dengesiz veya mekânsal olarak tutarsız olması modelin genellenebilirliğini azaltabilir (Taghizadeh-Mehrjardi vd., 2020). Ayrıca, bazı bölgelerde yüksek kaliteli uzaktan algılama verilerine erişim sınırlı olabilir, bu da sınıflandırma doğruluğunu doğrudan etkiler.

- **Sınıf Dengesizliği ve Nadiren Görülen Sınıflar:** Uygunluk sınıflarının sayısal dağılımı genellikle dengesizdir. Örneğin, 'çok uygun' alanlar küçük bir alan kaplarken, 'uygun değil' sınıfı çok daha geniş olabilir. Bu dengesizlik, özellikle doğruluk metriği tek başına kullanıldığında yanıltıcı sonuçlara neden olabilir (Douzas vd., 2019).
- **Model Aşırı Öğrenmesi (Overfitting):** Karmaşık modeller özellikle küçük veya gürültülü veri kümelerinde aşırı öğrenme eğilimindedir. Bu durum, modelin eğitim verisi üzerinde yüksek performans göstermesine rağmen yeni verilerde düşük genellenebilirliğe sahip olmasına neden olur (Wang vd., 2024).
- **Yorumlanabilirlik ve Şeffaflık:** Karar ağaçları gibi algoritmalar yorumlanabilirlik açısından avantajlı olsa da, derin öğrenme gibi “kara kutu” yaklaşımlar çoğu zaman çıktılarının nedenini açıklamada yetersiz kalır. Bu durum, özellikle politika yapıcılar ve uygulayıcılar için karar destek sistemlerinin güvenilirliğini azaltabilir. Bu nedenle, XAI (Açıklanabilir Yapay Zeka) tekniklerine ihtiyaç artmaktadır (Meyer vd., 2025).
- **Yazılım, Donanım ve Erişim Sorunları:** Derin öğrenme uygulamaları yüksek işlem gücü gerektirdiğinden kırsal bölgelerde veya kaynak sınırlı kurumlarda uygulanabilirlik sınırlı kalabilmektedir. Aynı zamanda, ticari yazılım bağımlılığı (örneğin ArcGIS gibi) maliyet engelleri oluşturabilir. Bu nedenle açık kaynak çözümler (örneğin QGIS, Google Earth Engine) stratejik önem taşır (Dwivedi vd., 2022; Kumar vd., 2024).
- **Etik ve Sosyal Boyutlar:** Modelleme sürecinde kullanılan verilerin temsiliyet sorunları, toplumsal eşitsizlikleri pekiştirebilir. Örneğin, kırsal alanlarda sınıflandırmanın hatalı yapılması, tarım politikalarının yanlış yönlendirilmesine yol açabilir. Bu nedenle, verinin sosyoekonomik kapsayıcılığı da dikkate alınmalıdır.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı arazi sınıflama uygulamaları, önemli fırsatlar sunan güçlü yöntemlerdir. Ancak bu yaklaşımlar,

yalnızca teknik başarılarıyla değil, aynı zamanda etik ve yönetsel boyutlarıyla da dikkatle ele alınmalıdır. Bu nedenle, disiplinler arası iş birliği, açık veri politikalarının benimsenmesi ve açıklanabilir yapay zeka prensiplerine dayalı modellerin geliştirilmesi her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makine öğrenmesi (MÖ) tabanlı arazi uygunluk sınıflamaları, geleneksel yöntemlere kıyasla daha esnek, veri odaklı ve ölçeklenebilir çözümler sunarak dikkat çekmektedir. Bu yaklaşımlar, yalnızca doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda tarım, ormancılık, kentsel planlama ve çevresel izleme gibi birçok alanda etkili karar destek sistemlerinin geliştirilmesine de olanak tanır (Tehrany vd., 2019; Khosravani vd., 2024).

Yapılan çalışmalar, makine öğrenmesi algoritmalarının arazi değerlendirmelerinde hem doğruluk oranı hem de kullanıcı etkileşimi açısından geleneksel yöntemlere üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle Rasgele Ormanlar (RF), Destek Vektör Makineleri (SVM), Yapay Sinir Ağları (ANN) ve k-En Yakın Komşu (k-NN) algoritmaları; uydu verileri ile entegre edildiğinde farklı mekânsal ölçeklerde başarılı sonuçlar üretmektedir. Öte yandan, derin öğrenme mimarileri (örneğin CNN ve LSTM) ile hibrit modeller, daha karmaşık mekânsal ve zamansal örüntülerin çözümünde giderek daha fazla tercih edilmektedir (Meyer vd., 2025).

Gelecekte bu alandaki araştırmalar aşağıdaki önceliklere odaklanmalıdır:

- **Veri Çeşitliliği ve Çoklu Kaynak Entegrasyonu:** Toprak, iklim, topoğrafya ve sosyoekonomik veriler gibi heterojen kaynakların aynı modelleme platformunda bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle açık veri platformlarının teşvik edilmesiyle bu süreç hızlanabilir (Feng vd., 2025).
- **Gerçek Zamanlı ve Uyarlanabilir Sistemler:** Tarımsal faaliyetler ve doğal afet riskleri gibi zaman duyarlı süreçler için gerçek zamanlı güncellenebilen modeller geliştirilmeli; sensör verileri ve uydu görüntüleri doğrudan sistemlere entegre edilmelidir.
- **Model Yorumlanabilirliği:** XAI (Açıklanabilir Yapay Zeka) alanındaki gelişmeler, karar vericiler için şeffaflık sağlayacak şekilde daha öngörülebilir ve güvenilir modellerin inşasına imkân tanıyacaktır.

- **Yazılım ve Hesaplama Erişimi:** Bulut tabanlı, açık kaynak kodlu ve düşük işlem gücü gerektiren çözümler ile dezavantajlı bölgelerde de bu teknolojilerin yaygınlaştırılması mümkündür.
- **Politika Entegrasyonu ve Etki Analizleri:** Makine öğrenmesi çıktılarının, yerel ve ulusal arazi kullanım politikalarıyla uyumlu hale getirilmesi, etkin kaynak tahsisi ve uzun vadeli planlamalar açısından büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, makine öğrenmesi ve yapay zeka destekli arazi uygunluk sınıflaması; veri yoğun, çok boyutlu ve dinamik doğasıyla geleceğin sürdürülebilir arazi yönetimi stratejilerinde temel yapı taşlarından biri olmaya adaydır. Araştırma kuruluşlarının, yazılım geliştiricilerin, karar vericilerin ve saha uygulayıcılarının işbirliği içerisinde çalışması, bu teknolojilerin hem teknik olarak gelişmesini hem de yaygın biçimde uygulanmasını mümkün kılacaktır. Arazi uygunluk modellemesi bağlamında MÖ'nin sunduğu bu yeni paradigma, yalnızca üretkenliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda ekolojik dengeyi gözeten ve kapsayıcı bir planlamaya da olanak tanımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akıncı, H., Kilicoglu, C., & Dogan, S. (2020). Random Forest-Based Landslide Susceptibility Mapping in Coastal Regions of Artvin, Turkey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 553.
<https://www.mdpi.com/2220-9964/9/9/553/pdf>
- Al.Khafaji, S. S., Tout, K., & Makki, Z. F. (2025). Enhancing Crisis Solutions for IDPS in Iraq Through GIS Data Analysis Using SVM. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103(2), 638-648.
<http://www.jatit.org/volumes/Vol103No2/9Vol103No2.pdf>
- Aljanabi, F. K., & Dedeoğlu, M. (2025). Machine learning algorithms and geographic information system techniques to predict land suitability maps for wheat cultivation in the Central Anatolia Region. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 373–387.
<https://doi.org/10.12911/22998993/196044>
- Ardohain, C., & Fei, S. (2025). The impacts of training data spatial resolution on deep learning in remote sensing. *Science of Remote Sensing*, 11, 100185.
<https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100185>
- Basheer, S., Wang, X., Farooque, A. A., Nawaz, R. A., Liu, K., Adekanmbi, T., & Liu, S. (2022). Comparison of land use land cover classifiers using different satellite imagery and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 14(19), 4978.
- Danacıoğlu, Ş. (2023). Arazi örtüsü haritalamasında farklı makine öğrenmesi algoritmalarının değerlendirilmesi: İzmir ili örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, (84), 105-117.
- Dharumarajan, S., Hegde, R., & Singh, S. K. (2017). Spatial prediction of major soil properties using Random Forest techniques - A case study in semi-arid tropics of South India. *Geoderma Regional*, 10, 154-162.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.03.003>
- Douzas, G., Bacao, F., Fonseca, J., & Khudinyan, M. (2019). Imbalanced learning in land cover classification: Improving minority classes' prediction accuracy using the geometric SMOTE algorithm. *Remote Sensing*, 11(24), 3040.
<https://doi.org/10.3390/rs11243040>

- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., ... & Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. *International Journal of Information Management*, 63, 102456.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102456>
- FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin No. 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.html>
- Feng, L., Zhang, M., Mao, Y., Liu, H., Yang, C., Dong, Y., & Nanekaran, Y. A. (2025). Convolutional neural network-based deep learning for landslide susceptibility mapping in the Bakhtegan watershed. *Scientific Reports*, 15(1), 13250.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-96748-3>
- Forster, J., Bindreiter, S., Uhlhorn, B., Radinger-Peer, V., & Jiricka-Pürner, A. (2025). A Machine Learning Approach to Adapt Local Land Use Planning to Climate Change. *Urban Planning*, 10(8562).
<https://doi.org/10.17645/up.8562>
- Gandhi, V. H. (2022). Land suitability assessments for maize production in Ontario, Canada, using a weighted overlay method and random forest algorithm [Master's Thesis, The University of Guelph]. University of Guelph Library.
- Kaya, N. S., & Dengiz, O. (2024). Assessment of the neutrosophic Fuzzy-AHP and predictive power of some machine learning approaches for maize silage soil quality. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109446.
- Khosravani, P., Moosavi, A. A., Baghernejad, M., Kebonye, N. M., Mousavi, S. R., & Scholten, T. (2024). Machine Learning Enhances Soil Aggregate Stability Mapping for Effective Land Management in a Semi-Arid Region. *Remote Sensing*, 16(22), 4304.
- Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, 100487.

- Lange, M., Feilhauer, H., Kühn, I., & Doktor, D. (2022). Mapping land-use intensity of grasslands in Germany with machine learning and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*, 277, 112888.
- Macarringue, L. S., Bolfe, É. L., & Pereira, P. R. M. (2022). Developments in land use and land cover classification techniques in remote sensing: A review. *Journal of Geographic Information System*, 14(1), 1-28.
<https://doi.org/10.4236/jgis.2022.141001>
- Machine, A. (2022). Brain Imaging Methods in Social. *Social and Affective Neuroscience of Everyday Human Interaction: From Theory to Methodology*, 213.
- Meyer, A., Milani, G., Lack, N., Schönholzer, M., & Jordan, D. (2025). Machine learning-based multimodal data fusion for the Swiss land use statistics. *European Journal of Remote Sensing*, 58(1), 2508420.
- Özbuldu, M., & Şekerli, Y. E. (2022). Comparative analysis of different supervised methods for satellite-based land-use classification: A case study of Reyhanlı. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3), 707-723.
- Pahlavan-Rad, M. R., & Akbarimoghaddam, A. (2018). Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). *Catena*, 160, 275-281.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.002>
- Pradhan, B. (2013). A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences*, 51, 350–365.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.08.023>
- Pushpalatha, V., Mallikarjuna, P. B., Mahendra, H. N. S. R., & Mallikarjunaswamy, S. (2025). Land use and land cover classification for change detection studies using convolutional neural network. *Applied Computing and Geosciences*, 25, 100227.
<https://doi.org/10.1016/j.acags.2025.100227>
- Reddy, C. N. (2025). Explainable Artificial Intelligence (XAI) for Climate Hazard Assessment: Enhancing Predictive Accuracy and Transparency in Drought, Flood, and Landslide Modeling. *IJSAT-International Journal on Science and Technology*, 16(1).

- Sarmadian, F., Keshavarzi, A., Rooien, A., Zahedi, G., Javadikia, H., & Iqbal, M. (2014). Support Vector Machines Based-Modeling of Land Suitability Analysis for Rainfed Agriculture. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2(4), 165–171.
<https://doi.org/10.12691/jgg-2-4-4>
- Sawant, N., Das, B., Mahajan, G., Desai, S., Raizada, A., Kumar, P., & Singh, P. (2025). Crop suitability analysis for the coastal region of India through fusion of remote sensing, geospatial analysis and multi-criteria decision making. *Scientific Reports*, 15(8727).
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-90754-1>
- Sonet, M. S., Hasan, M. Y., Kafy, A. A., & Shobnom, N. (2025). Spatiotemporal analysis of urban expansion, land use dynamics, and thermal characteristics in a rapidly growing megacity using remote sensing and machine learning techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 156, 79.
<https://doi.org/10.1007/s00704-024-05264-3>
- Sutojo, T., Ignatius Moses Setiadi, D. R., Rustad, S., Akrom, M., & Herowati, W. (2025). Hybrid Quantum-Deep Learning Approach: Optimizing Land Cover Classification with GMM Outlier and Fusion Key Feature Selection. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, 18(1).
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Kerry, R., & Minasny, B. (2020). Digital mapping of land suitability for cultivation using random forest and support vector machine. *Geoderma*, 352, 93–107.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.036>
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y. A., & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote sensing*, 12(7), 1135.
- Tawakuli, A., Havers, B., Gulisano, V., Kaiser, D., & Engel, T. (2024). Survey: Time-series data preprocessing: A survey and an empirical analysis. *Journal of Engineering Research*.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2019). Flood susceptibility assessment using GIS and support vector machine. *Environmental Earth Sciences*, 75(6), 489.
<https://doi.org/10.1007/s12665-015-5159-5>

- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F. (2010). A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences*, 36(9), 1101-1114.
- Wang, J., Wang, Y., Li, G., & Qi, Z. (2024). Integration of remote sensing and machine learning for precision agriculture: a comprehensive perspective on applications. *Agronomy*, 14(9), 1975.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14091975>
- Zhang, K., Ying, H., Dai, H. N., Li, L., Peng, Y., Guo, K., & Yu, H. (2021). Compacting deep neural networks for Internet of Things: Methods and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(15), 11935-11959.

BÖLÜM 16

BÖCEK KAPAN BİTKİLER, AVLANMA MEKANİZMALARI VE TÜRKİYE TÜRLERİ

Zir. Müh. Buşra ÖZDEMİR¹
Doç. Dr. Bahadır ALTUN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779254>

¹ Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Kırşehir, Türkiye. obusra735@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-1875-5850

² Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Kırşehir, Türkiye. bahadir.altun@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6503-7109

GİRİŞ

Estetik değerleri ön planda tutularak yetiştirilen süs bitkileri aynı zamanda fonksiyonel kullanımları ve ekonomik değerleri ile de dikkat çeken bitki gruplarını oluştururlar. Farklı renk, form, doku gibi morfolojik özellikleri ile görsel bir şölen oluşturmakla beraber şehir hayatına doğanın ritmini taşıyan bitkiler olarak değerlendirilirler (Kazaz ve ark., 2020).

Dünya süs bitkileri üretim değeri (2023) yaklaşık 90 milyon dolardır. %61.1'lik kısmını yaklaşık 55 milyon dolarlık payla, kesme çiçekler + iç mekân süs bitkileri ile saksılarda, bahçelerde ve çiçek bordürlerinde sezonluk yetiştirilen zinya (*Zinnia spp.*), petunya (*Petunia spp.*), aslanağzı (*Antirrhinum spp.*) gibi çiçekli türlerden oluşan "bedding plants" grubu oluşturmaktadır. Kalan %38.9'lık bölüm ise yaklaşık 35 milyon dolar ile ağaç ve çalı türleri gibi odunsu süs bitkileri grubuna aittir (Kazaz ve ark., 2025).

Dünya süs bitkileri ihracatı (2023) 25 milyar 754 milyon 265 bin dolardır. Hollanda, %48.2'lik pay ve 12 milyar 413 milyon 420 bin dolar ihracat değeri ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye ise %0.4'lük pay ve 113 milyon 211 bin dolar değer ile dünya sıralamasında 24. Sırada yer almaktadır (Kazaz ve ark., 2025).

Süs bitkileri sektörü, ekonomiye yüksek katma değer sağlayan ve önemli istihdam oluşturan bir sektör olarak kabul görmektedir. Dünyada süs bitkisi yetiştiriciliği, 20. yüzyıl başlarında önem kazanmaya başlamıştır. Dünyada süs bitkileri üretim alanı (2022) değeri 1.981.683 hektardır. Bu değer içindeki kesme çiçek ve iç mekân süs bitkileri üretim alanı ise 678.500 hektardır. Türkiye'de ise 2024 yılı verilerine göre süs bitkilerinin toplam üretim alanı yaklaşık 60.000 dekadır. Bu üretim alanı içerisinde iç mekan süs bitkilerin payı ise yaklaşık 2.391 dekadır (Kazaz ve ark., 2025; TÜİK, 2024).

Türkiye, sahip olduğu farklı iklim ve toprak yapılarıyla süs bitkileri yetiştiriciliğine son derece elverişli bir coğrafyadır. Bu özellikleri ile pek çok süs bitkisinin gen kaynağını barındırmaktadır. Bu ekolojik çeşitlilik sayesinde ülkemiz yeni ve gelişmeye açık olan bu sektörde ilerleme göstermektedir. Ülkemizde süs bitkileri kullanım amaçlarına göre; kesme çiçek, doğal çiçek soğanları, iç mekân (saksılı) süs bitkileri ve dış mekân süs bitkileri olmak üzere dört gruba ayrılmıştır (Demirbaş, 2010). Son dönemde, bu sınıflandırma içerisinde iç mekân (saksılı) süs bitkileri grubu özellikle yurt içi ve yurt dışındaki artan talebi ile öne çıkmaktadır. Özellikle apartman ve ofis yaşamının

yaygınlaşması, artan şehirleşme ve Covid-19 sebebi ile gerçekleşen pandemiden dolayı kapalı alanlarda geçirilen sürenin artması, bireylerin doğal ortamla bağ kurma arayışını ve iç mekânlarda bitki bulundurma eğilimini güçlendirmiştir. Bu arayışı aynı zamanda bitkilerin hava kalitesini iyileştirme, psikolojik refahı artırma ve stresi azaltma gibi faydaları da desteklemektedir. Süs bitkileri üretim alanlarının ürün grupları ve yıllara göre değişiminin verildiği Tablo 1 incelendiğinde 2013-2023 yılları arasında en fazla artışın iç mekân süs bitkilerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Süs Bitkileri Üretim Alanlarının Ürün Grupları ve Yıllara Göre Değişimi

Ürün Grubu	Yıllar (Dekar)				Pay (%) (2023)	Değişim (%) (2013-2023)
	2013	2018	2020	2023		
Dış Mekân Süs Bitkileri	32.721,2	37.707,0	40.143,4	41.026,3	70.6	24.4
Kesme Çiçekler	10.746,8	11.520,2	11.779,5	14.706,5	25.3	36.8
İç Mekân Süs Bitkileri	1.105,0	2.081,5	1.706,4	2.066,7	3.6	87.0
Doğal Çiçek Soğanları	552,8	493,9	498,8	346,6	0.6	-37.3
Toplam	45.125,8	51.802,6	54.128,0	58.146,0	100.0	28.9

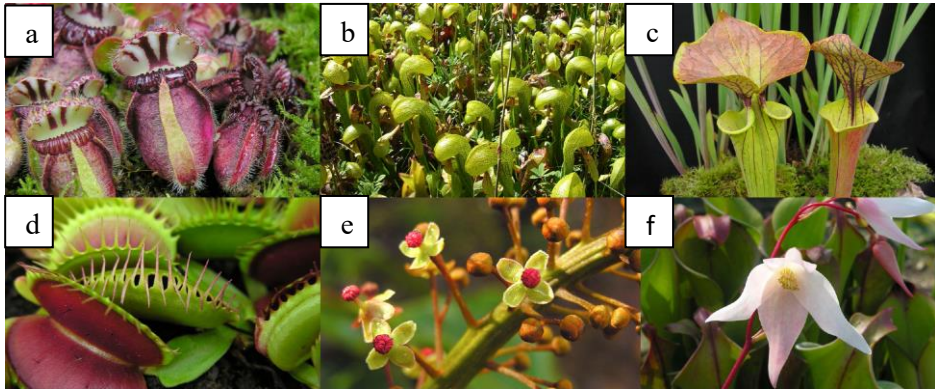
(Kazaz ve ark., 2025)

Son zamanlarda iç mekân bitki tercihleri, estetik görünümün yanı sıra düşük bakım gereksinime sahip türlere yönelmiştir. Bu bağlamda, sukulentler ve kaktüsler öne çıkmaktadır. Farklı form ve dokulara sahip bu bitkiler, bünyelerinde su depolayabilme yetenekleri sayesinde bakım gereksinimlerini önemli ölçüde azaltır. Hem iç hem de dış mekânlarda fazlaca ilgi gören saksılarda yetiştirilebilen diğer bir bitki grubu ise böcekkaparı bitkilerdir.

Böcekkaparı Bitkiler

Böcekkaparı bitkiler, adaptasyon ve ekolojik faktörlerin kesişim noktasını yansıtan benzersiz görünümlere sahip canlılardır (Şekil 1). Bu bitkilerin birçok türü bataklıklarda ölü turba yosunları üzerinde yetişirken, bazıları tropikal yağmur ormanlarında, kayalık çıkıntılarında, bazıları kumlu ve

kuru arazilerde, bazıları dere kenarlarında ve nemli kaya yüzeylerinde, sazlıklarda bazıları ise tatlı su göllerinde tamamen sucul bitki olarak yetişmektedir. Bu bitkilerin yetiştiği ortamların ortak özelliği ise besin içeriği bakımından oldukça fakir olmasıdır. Azot ve fosfor gibi makro besin elementlerince yoksun olan bu alanlarda besin alınımlarını desteklemek amacı ile avlarını yakalama ve sindirme konusunda özelleşmiş mekanizmalar geliştirmişlerdir. Böcekapan bitkilere duyulan bilimsel ilgi yüzyıllar öncesinden günümüze kadar devam etmektedir. Charles Darwin gibi botanikçi ve doğa bilimciler bu alana çok önemli katkılarda bulunmuşlardır. Darwin'in öncü çalışmalarından bu yana, böcekapan bitkilerin biyolojisi, ekolojisi, av yakalama stratejileri üzerine yapılan araştırmalar büyük ilerlemeler kaydetmiştir (El Bashir ve ark., 2019).



Şekil 1. *Cephalotus follicularis* türüne ait görsel (a), *Darlingtonia californica* türüne ait görsel (b), *Sarracenia flava* var. *cuprea* türüne ait görsel (c), *Dionaea muscipula* türüne ait görsel (d), *Nepenthes rajah* türüne ait görsel (e), *Heliamphora nutans* türüne ait görsel (f) (Cooper,2016)

Günümüzde dünya çapında çeşitli habitatlara yayılmış, farklı form ve yakalama stratejilerine sahip 11 familyaya ait (*Byblidaceae*, *Bromeliaceae*, *Cephalotaceae*, *Dioncophyllaceae*, *Droseraceae*, *Drosophyllaceae*, *Lentibulariaceae*, *Nepenthaceae*, *Sarraceniaceae*, *Plantaginaceae*, *Tofieldiaceae*) 600'den fazla etçil bitki türü tanımlanmıştır. Bu durum karnivor bitkilerin adaptasyon yeteneklerinin etkileyici bir biçimde yüksek olduğunu göstermektedir. Hollanda ve ABD'de büyük çaplı üretimleri yapılmakta ve dünyaya bu ülkelerden ihraç edilmektedir. Dünyada, yetiştiricilerin ve

koleksiyonerlerin gözdesi haline gelen bu bitkiler (Şekil 2), ülkemizde de bazı üreticiler tarafından üretimi yapılmaktadır (Özakçaoğlu, 2025).



Şekil 2. *Sarracenia* türleri ve melezleriyle birlikte etçil bitkilerden oluşan karma bir sergi (Cooper,2016)

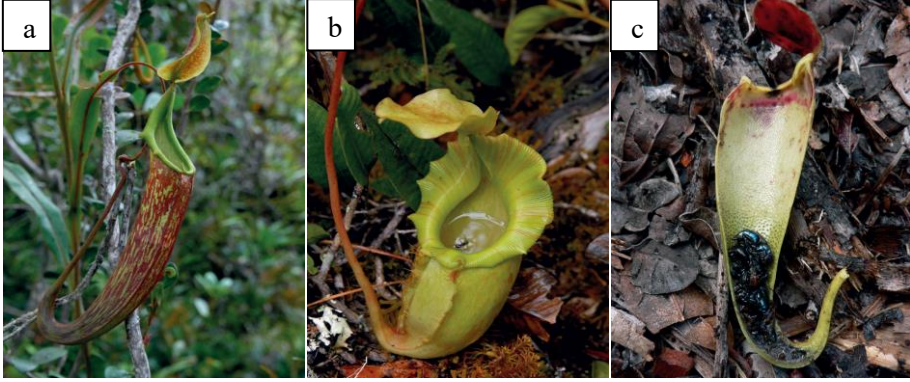
Böcekapan Bitkilerin Avlanma Mekanizmaları

Etçil bitkiler çukur tuzakları, kapan tuzakları, yapışkan tuzaklar, keseli tuzaklar, ıstakoz sepeti tuzakları olmak üzere beş farklı av yakalama mekanizmalarına sahiptirler. Her bir mekanizma, besin açısından yetersiz ortamların ortaya çıkardığı zorluklara karşı doğanın geliştirmiş olduğu çözümleri yansıtan binlerce yıllık adaptasyonun bir sonucudur. Böcekapan bitkilerin yakalanma mekanizmaları kadar sindirim süreçleri de karmaşıktır. Avlarını yakaladıktan sonra, bu bitkiler avlarının yumuşak dokularını parçalamak için proteazlar ve fosfatazlar gibi özel enzimler salgılar ve böylece temel besin maddelerinin emilimini mümkün kılarlar. Bu sindirme yeteneği, etçil bitkileri temel olarak besin için fotosenteze dayanan diğer bitkilerden ayırmaktadır. Böcekapan bitkiler büyüme ve gelişmeleri için gerekli olan besinleri böceklerden; bu büyüme sırasında gerekli olan enerjiyi ise fotosentezden sağlarlar (El Bashir ve ark., 2019).

Çukur Tuzakları

Çukur tuzakları etçil bitkilerde en yaygın ve en fazla incelenen tuzağa düşürme mekanizmalardan biridir. *Nepenthes*, *Sarracenia* ve *Darlingtonia* cinslerindeki türler bunlara örnek olarak verilebilir (Şekil 3). Bu tuzağın etkinliğinde sürahi yaprakların yapısından yararlanır. Yapraklar genellikle parlak renkleri ve nektar salgılayan bezleriyle böcekleri cezbeder. Sürahiye

benzeyen yaprakların ağız kısmı genellikle nektar bezleri ile kaplıdır ve avını tuzağın içine doğru yönlendirir (El Bashir ve ark., 2019 ; Lee & Chen , 2022).



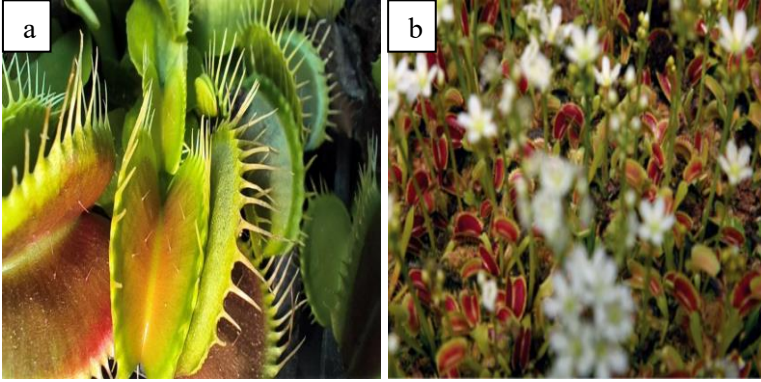
Şekil 3. *Nepenthes maxima* türüne ait görsel (a), *Nepenthes maxima* türüne ait görsel (b), Yakalanmış çok sayıda böceğin görüldüğü *Nepenthes* cinsinin boyuna kesiti (c) (Torre,2019)

Bazı türlerde ise bu kısım avın üzerine konduğunda kayganlaşan bir yüzeye sahiptir. Bu kayganlık yüzeyde bulunan mumsu maddeler veya aşağı doğru uzanan tüyler sayesinde sağlanmaktadır. Bu yapılar tuzağa düşen avın tırmanarak geri kaçmasını engeller. Av ise kaygan yüzeyde tutunamaz veya tüyler tarafından aşağı doğru itilerek sindirim sıvısına düşer. Yaprakların dibinde, bitkinin kendi ürettiği veya simbiyotik organizmaların yardımıyla oluşan sindirim enzimleri ile dolu bir sıvı bulunur. Sindirim sıvısı, düşen avı parçalayarak bitkinin yararlanabileceği temel besin maddelerine dönüştürür. Sindirim enzimleri arasında proteazlar, amilazlar, lipazlar ve nükleazlar bulunabilir (El Bashir ve ark., 2019; Lee & Chen, 2022).

Kapan Tuzakları

Dionea muscipula bu tuzak mekanizmasının en ikonik örneğidir. Sinekkapan (*Dionaea* sp.), *Droseraceae* familyası içerisinde yalnızca tek bir türü barındıran monotipik bir cinstir (*Dionaea muscipula* Ellis.). Sinekkapan bitkisi etkileyici ve benzersiz görünümünün yanında kapanlarının hızla kapanması nedeniyle bitkiler arasında ilgi çekici bir tür olmuştur. Bu bitkinin kapanma mekanizması, esneklik ve turgor basıncı ile karmaşık bir ilişki içermektedir. Kapanlar yoğun gün ışığı aldıkça kırmızı renk artmaktadır. Ayrıca bitki, böceklerin ilgisini çekmek için kapanların kenarından şekerli bir

sıvı da salgılamaktadır. Kapan yapraklarının iç kısmında her lobda 3 veya 4 adet olmak üzere tetikleyici tüycükler (Şekil 4) bulunmaktadır (El Bashir ve ark., 2019).



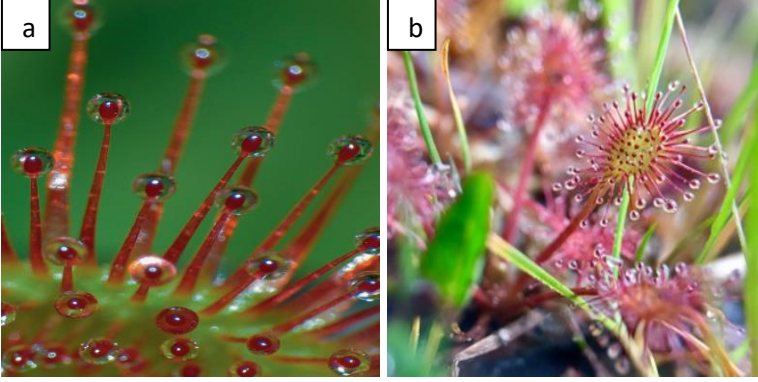
Şekil 4. Sinekkapan (*Dionaea muscipula*) bitkisinde kapan içerisindeki tetik tüycüklerinin görünümü (a), (Özakçaoğlu, 2025) *Dionaea muscipula* türünün çiçekli görseli (b) (Torre, 2019)

Bu tüycüklere bir kez temas edildiğinde kapanma olmaz. Ancak ve ancak ikinci temas gerçekleştiği zaman kapanma gerçekleşmektedir. Bu durum, bitkinin yanlışlıkla su damlası veya rüzgarla taşınan yabancı maddeler tarafından kapan mekanizmasının av dışında gereksiz yere tetiklenmesini önlemek içindir. Kapanlar açık halde iken loblar iç bükeydir, ancak kapalı durumdayken loblar dış bükey haldedir. Kapanın kapanmasına sebep olan mekanizma, bu iki durumun hızlı bir şekilde ters çevrilmesidir (El Bashir ve ark., 2019).

Yapışkan Tuzaklar

Yapışkan tuzaklar, etçil bitkilerin böcekleri yakalamak için kullandıkları oldukça etkili bir mekanizmadır. Yaprak yüzeylerinde salgıladıkları yapışkan bir müsilaj ile avlarını tuzağa düşürürler. *Drosera* spp. ve *Pinguicula* spp. gibi bitkiler bu tuzak mekanizmasına örnek bitkiler olarak verilebilir. Bu tuzakların ana noktası, bitkinin yapraklarında bulunan salgı tüyleri olan tentaküllerdir. Bu tüylerin uçlarında, su bazlı bir polisakkarit ve protein karışımı olan, vizkoz ve yapışkan bir madde olan müsilaj salgılayan bezler bulunur. Müsilaj, genellikle parlak ve çiğ tanelerine benzer damlacıklar halinde görünür, bu da avı

cezbedebilir (Şekil 5). Bir böcek yaprağa konduğunda, hemen müsilaja temas eder ve yapışmaya başlar. Müsilaj ava hızla yapışır, onu hareketsiz hale getirir. Müsilajın yapışkanlığı çok güçlüdür ve av kendini kurtarmaya çalıştıkça daha da fazla yapışır.



Şekil 5. *Drosera intermedia* türünün yapraklarındaki tüycükler ve üzerindeki yapışkan sıvıların görünümü (a) (Torre, 2019), *Drosera intermedia* türüne ait görsel (b) (Headley, 2025)

Güneş güllerindeki tentaküllerin aktif olarak hareket etmesi en dikkat çekici özelliğidir. Avın çırpınması ile yaprağın üzerindeki diğer tentaküller de avın olduğu yöne doğru yavaşça bükülmeye başlar ve bu bükülme birkaç dakikadan birkaç saate kadar sürebilir. Bu mekanizma avın temas yüzeyini artırarak daha fazla müsilaja temas etmesini sağlar ve aynı zamanda avı yaprağın merkezine, daha fazla sindirim enzimi salgılayan bölgeye doğru çeker. Bazı *Drosera* türlerinde (*Drosera rotundifolia*) avın büyüklüğüne bağlı olarak yaprağın tamamı avın etrafında hafifçe kapanabilir veya avı tamamen sarabilir. Bu hareket avın kaçma şansını tamamen ortadan kaldırır ve sindirim sürecini hızlandırır. Av tamamen hareketsiz hale getirildiğinde, yaprak yüzeyindeki bezler proteazlar, fosfatazlar, amilazlar ve diğer sindirim enzimleri gibi çeşitli enzimleri salgılamaya başlar. Enzimler ise avın yumuşak dokularını parçalayarak bitkinin alabileceği formda besin maddelerine dönüştürür. Avın dış iskeleti (kitin) genellikle sindirilmenden kalır ve çeşitli çevre koşulları ile temizlenir (El Bashir ve ark., 2019; Plachno ve Kukula, 2021; Krenn ve ark. , 2022)

Yapışkan tuzak stratejisinin farklı bir çeşidini kullanan *Pinguicula* spp. cinsi yağlı yaprak olarak da bilinmektedir. Yaprakları genellikle düz ve geniştir. Yaprak üzerinde ince ve yoğun şekilde dağılmış çok küçük salgı bezleri bulunur (Şekil 6). Bu bezler müsilaj ile birlikte yağlı görünüm veren başka maddeler de salgılayabilirler. Mantar sinekleri, sivrisinekler gibi küçük böcekler yaprağın yüzeyine konduğunda, müsilaja yapışarak tuzağa düşerler. *Pinguicula*'da Güneşgülleri'ndeki gibi belirgin bir tentakül hareketi veya yine belirgin bir yaprak bükülmesi görülmez yalnızca bazı türlerde hafif bir içe doğru kıvrılma olabilmektedir. Yapışan av, yaprak yüzeyindeki bezlerden salgılanan sindirim enzimleri tarafından yavaşça parçalanır ve besin maddeleri emilir. *Pinguicula*, özellikle küçük ve hareketli böcekleri yakalamada oldukça etkilidir (El Bashir ve ark. , 2019 ; Plachno ve Kukula , 2021 ; Krenn ve ark. , 2022).



Şekil 6. *Pinguicula grandiflora* türünün yaprak üzerinde bulunan böcekler (Cooper, 2016)

Keseli Tuzaklar

Keseli tuzaklar, *Utricularia* (mesane otları) cinsindeki sulak alanlardaki etçil bitkilerin karakteristik özelliğidir. Bu cinse ait bitkilerin tamamında belirgin bir kök sistemi bulunmamaktadır ve onları diğer bitkilerden ayıran en önemli özelliklerden biridir. Kök yerine genellikle uzun, ince stolanlar (gövde benzeri yapılar) ve bunlar üzerinde bir kapan mekanizmasıyla donatılmış küçük, içi boş keseye benzer (mesanelere) yapılara sahiptirler (Şekil 7). Bazı türlerde rizoid olarak adlandırılan, kök benzeri kısa, ipliksi yapılar bulunur.

Başlıca işlevleri bitkiyi sabit tutmak yani tutunma sağlamaktır. Gerçek köklerden farklı olarak, rizoidlerin içinde vasküler doku (ksilem ve floem gibi su ve besin taşıyan iletim demetleri) bulunmaz. Bu nedenle, topraktan su ve mineralleri emme kapasiteleri sınırlıdır (El Bashir ve ark., 2019).



Şekil 7. *Utricularia* cinsine ait yaprak ve üzerindeki mesane yapıları(a) (Golyakov, 2025), *Utricularia* cinsine ait çiçek yapısı (b) (Pacella, 2025)

Vakum Tuzağı da denilen bir avlanma mekanizmasına sahip bitkilerde mesaneler, suyu dışarı pompalayarak içlerinde negatif basınç (kısmi vakum) oluşturur, kesenin duvarlarında esnek bir enerji birikimi sağlar ve keseyi gergin bir yay gibi hazır bekletir. Protozoalar veya küçük kabuklular gibi minik sucul avlar, mesanenin dışındaki tetikleyici kıllara dokunduğunda, kapakçık anında açılır. Avla birlikte su, ani bir akışla hızla kesenin içine çekilir. Av hapsedikten sonra kapakçık kapanır ve burada salgılanan enzimler tarafından sindirilir. Bu sayede besinleri emer. Av sindirildikten sonra mesane suyu tekrar dışarı atar ve bir sonraki avı yakalamak için kendini yeniden hazırlar. Keseli tuzaklar da bitki alemindeki en karmaşık ve hızlı mekanizmalardan biri olarak kabul edilmektedir (El Bashir ve ark., 2019).

Istakoz Sepeti Tuzakları

Istakoz sepeti tuzakları böcek kapan bitkiler arasında en az bilinen ve en ilginç av yakalama mekanizmalarından biridir. Özellikle *Genlisea* (mantar bitkileri) cinsinde bulunan bu tuzaklar benzersiz bir yer altı yapısına sahiptir. Bu bitkilerin ana özelliği, köklerin işlevlerini yerine getiren ancak morfolojik olarak kök olmayan, özelleşmiş yeraltında boru şeklinde yaprakları olan rizofillere sahiptir (Şekil 8). Yapraklar yeraltında karmaşık bir şekilde içeri

doğru spiral çizen tüneller oluşturur. Tünellerin iç yüzeyi, avın tuzağın derinliklerine doğru ilerlemesini sağlayan ancak geri kaçmasını engelleyen içeri doğru bakan tüylerle kaplıdır. *Genlisea* bitkileri, aktif olarak avı çekmez veya yakalamaz. Bunun yerine, yeraltı habitatlarında yaşayan küçük organizmalar, tesadüfen bu boru şeklindeki yapılara girerler. Av tüyler tarafından itilerek veya kendi hareketleriyle daha derinlere doğru ilerlemeye zorlanır (tek yönlü bir tünel sistemi) ve avı sindirimin gerçekleştiği bir odaya ulaşana kadar tuzağın derinliklerine doğru iter. Bu durum, bir ıstakoz sepetine benzemesi nedeniyle bu ismi almıştır. Sindirim odasında bitkinin salgıladığı sindirim enzimleri devreye girer yakalanan avın parçalanmasını sağlar ve bitki açığa çıkan besin maddelerini emer (El Bashir ve ark., 2019).



Şekil 8. *Genlisea violacea* yaprakları; yeşil yer üstü yaprakları ve renksiz yer altı tuzak yaprakları (Elhardt, 2006)

Bu etkileyici avlanma stratejileri, böcekkapan bitkilerin besin açısından fakir ortamlarda nasıl hayatta kaldığını göstermektedir.

Türkiye’de Bulunan Böcekkapan Bitkiler

Ülkemizde ise doğal olarak yetişen 9 adet böcekkapan bitki türü bulunmaktadır. Bunlar; *Drosera rotundifolia*, *Drosera anglica*, *Drosera intermedia*, *Pinguicula habilitii* (endemik), *Pinguicula crystallina*, *Pinguicula balcanica*, *Utricularia australis*, *Utricularia minor* ve *Utricularia vulgaris* türleridir ve Anadolu’nun belirli bölgelerinde yayılış göstermektedirler (Özakçaoğlu, 2025).

***Drosera rotundifolia* L.**

Drosera, halk arasında "Güneş Güllü" olarak bilinir ve en az 194 türü mevcuttur. Güneşgülllerinin belirleyici özelliği, yaprak yüzeylerini kaplayan ve yapışkan salgılarla dolu tentakülleridir. Salgı tüyleri, tatlı, asidik (pH 5) bir müsilaj salgılar; bu müsilaj, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum iyonları gibi çeşitli maddeler içeren bir polisakkarit çözeltisidir (Rost ve Schauer, 1977; Hewitt-Cooper, 2016).



Şekil 9. Türkiye’de *Drosera rotundifolia* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

Drosera rotundifolia yuvarlak yapraklı güneş güllü olarak bilinir. Türkiye’de Doğu Karadeniz Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 9). Çok yıllık ve asidik topraklarda yaşayan güneş gülleri bataklıklarda, sazlıklarda ve turbalıklarda yayılış gösterir. $2n=20$ kromozoma sahiptir (Anonim, 2025a). Deniz seviyesinden 3000 m yüksekliğe kadar yayılış gösterebilir. Az sayıda lifli köke sahiptir. Yaprakları belirgin bir şekilde yuvarlak olup, taban rozeti oluşturur. Yaprak sapları dar, tüylü 1,3-5 cm arasındadır. Yaprak ayaları ise 4-10 mm aralığında ve yuvarlak şekildedirler. Yaprak ayasının üst yüzeyinde yapışkan bir müsilaj salgılayan kırmızı renkli salgı tüyleri ile kaplıdır. Ortalama bir bitkinin çapı yaklaşık 3 -5 cm aralığında olup, 5- 25 cm uzunluğunda bir çiçek sapına sahiptir. Çiçekler tabanda bulunan yaprakların merkezinden çıkan tek, ince, tüysüz bir sapın ucunda açmaktadır. Çiçeklenme tek taraflı olup, salkım şeklindedir. Her çiçek sapında 1-15 (25'e

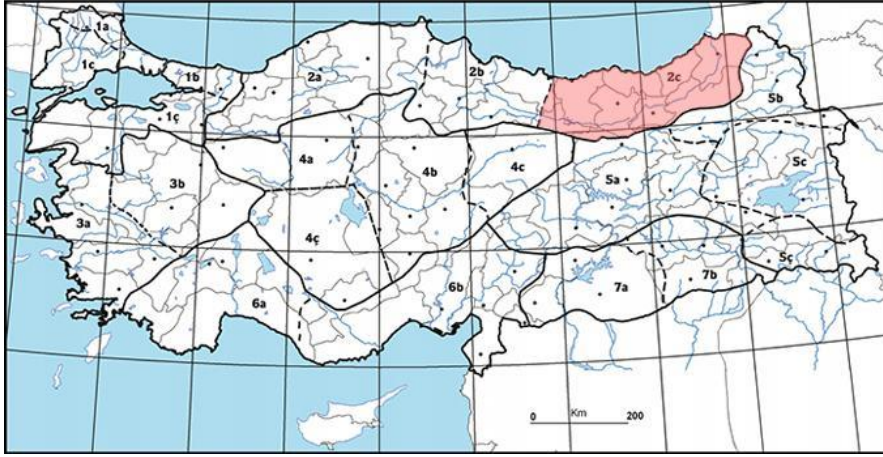
kadar) adet radyal simetridir, hermafrodit çiçek bulunur (Şekil 10). Çiçeklenme dönemi Haziran ile Eylül ayları arasındadır. Beyaz veya pembe renkli beş taç yapraklı çiçekler, 1-5 mm boyutunda açık kahverengi, ince, sivri uçlu tohumlar üretirler. Güneş gülleri soğuk koşullarda hayatta kalmak için bir hibemaculum (kış tomurcuğu) üretir. Bu yapı, yer seviyesinde sıkıca kıvrılmış yapraklardan oluşan bir tomurcuktur. Bu bitkiler tohum, yaprak çeliği, kök çeliği, bölme, ve kış tomurcukları ile çoğaltılabilmektedirler. *D.rotundifolia* 1980'lerden beri çoğu Avrupa ülkesinde koruma altındadır (Rost ve Schauer, 1977; Hewitt-Cooper, 2016).



Şekil 10. *Drosera rotundifolia* türüne ait görsel (a)(Zucker,2025), *Drosera rotundifolia* türünün çiçek yapısı (b)(Waterman, 2025)

***Drosera longifolia* L.**

Bataklıklar seven ve çok yıllık olan uzun böcek kapan olarak adlandırılan bu bitkiler, gövdeleri dik ve 5-18 cm boyundadır (Anonim, 2025b; Anonim, 2025c). Türkiye’de Doğu Karadeniz Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 11). 1300-2000 m aralığında yayılış gösterir. *Drosera longifolia* 2n=40 kromozoma sahiptir. Çok yıllık, tabandan çıkan yaprakları dik veya yükselen şekilde, yapraklar dikdörtgen- dikdörtgen kaşık biçimli, 1-4 cm uzunluğunda, 3-7 mm genişliğinde, saplar 2-6 cm uzunluğunda, tüylü, üst yüzeydeki uzun, kırmızımsı yaprak tüyleri bez uçlu, yapışkan , böcek yakalayan musilaj ile kaplıdır (Anonim,2025d). 1 -7 çiçekli, salkım benzeri terminal simozlardan oluşan çiçek salkımı, 1-25 cm arasında sap uzunluğuna sahiptir (Anonim, 2025c).



Şekil 11. Türkiye’de *Drosera longifolia* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

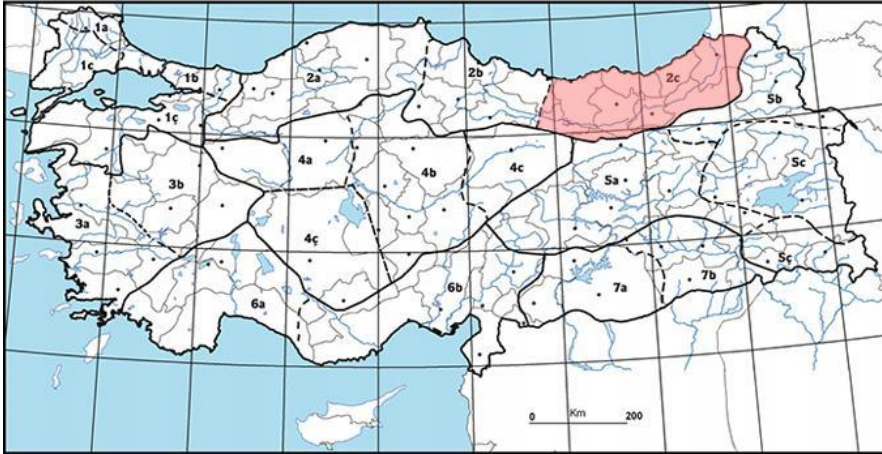
Çiçekler Haziran ile Ağustos ayları arasında gövdenin bir tarafında kıvrılmış bir küme halinde tam güneşte açılmaktadır (Şekil 12). Beyaz taç yapraklı çiçekler çok tohumlu 1-1,5 mm uzunluğunda tohum kapsüllerini meydana getirirler. Hibemaculum (kış tomurcuğu) üretir (Anonim, 2025b). Soğuk stratifikasyon uygulanarak tohumla, bölme yöntemi ile çoğaltılabilir (Anonim, 2025e). 1996 yılında Dünyada tehdit altındaki tür olarak listelenmiştir (Anonim, 2025f).



Şekil 12. *Drosera longifolia* türüne ait görsel (a) (Hodnett, 2025), *Drosera longifolia* türünün çiçek yapısı (b) (Zarubo, 2025)

***Drosera intermedia* Hayne**

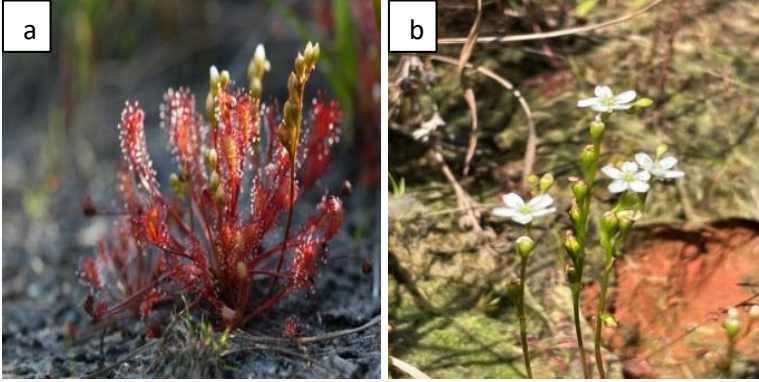
Drosera intermedia genellikle birkaç santimetre su içinde bulunan nemli habitatlarda yaşar. Türkiye’de Doğu Karadeniz Bölümü’nde deniz seviyesi ile 500 metre yüksekliğe kadar olan alanlarda doğal olarak yayılış gösterebilir (Şekil 13). Uzun yapraklı güneş gülü ya da su güneş gülü olarak da bilinirler (Anonim, 2025d). *Drosera intermedia*, 10 cm’ ye kadar uzayabilen yapraklardan oluşan, yarı dik, çok yıllık bir bitkidir (Anonim, 2025g). Kış dinlenme tomurcuğu olan hibemakulum oluşturlar (Anonim, 2025h). *Drosera* cinsinin "belirgin bir gövdeye, dağınık gövde yapraklarına ve kemerli bir çiçek sapına sahip tek türü" olarak belirtilmiştir (Anonim, 2025d).



Şekil 13. Türkiye’de *Drosera intermedia* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

D. longifolia'ya kıyasla genellikle daha küçük yapraklara sahiptir. Yaprak ayaları parlak yeşil renkte, 2-4 mm genişliğinde ve 8-20 mm uzunluğundadır. Yaprak alt yüzeyi pürüzsüz ve yeşildir. Yaprak sapları pürüzsüz, yeşil veya kırmızı renkte, 2-5 cm uzunluğundadır. Diğer türlerde olduğu gibi yaprak üst yüzeyinde kırmızımsı şekerli bir müsilaj (nektar) salgılayan tüyler bulunur (Şekil 14) (Anonim, 2025g). Haziran’dan Ağustos’a kadar çiçek açar ve 3- 8 adet beyaz, kırmızımsı pembe taç renkli çiçek taşıyan 15 cm’ye kadar boylan çiçek salkımları oluşturur (Anonim, 2025d; Anonim, 2025h). Çiçek kısımlarının yerine küçük bitkiler (yalancı vivipari) oluşturabilir, bunlar köklendirilebilir (Anonim, 2025h). *D. intermedia*'nın çiçek saplarında küçük bitkiler (yalancı vivipari) oluşturma yeteneği, özellikle sıkça durgun

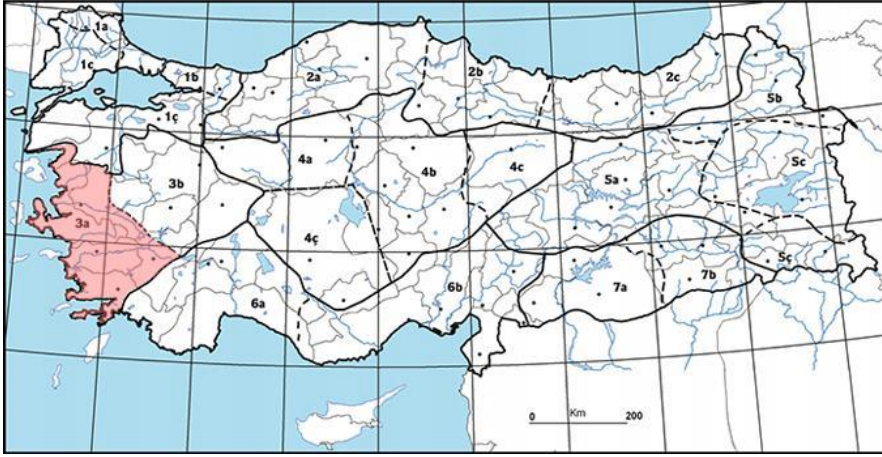
suda yetişen bir tür için önemli bir adaptif avantajdır. Çiçek saplarında oluşan ve su seviyesinin üzerinde duran bu küçük bitkiler, ana bitkiden ayrılarak su akıntılarıyla dağılabilir veya yakındaki doymuş topraklarda yeni bitkiler oluşturabilir (Anonim, 2025i).



Şekil 14. *Drosera intermedia* türüne ait görsel (a) (Louboutin, 2025), *Drosera intermedia* türünün çiçek yapısı (b)(Dill, 2025)

***Pinguicula habilitii* Yıldırım, Şenol & Pirhan**

Lentibulariaceae familyasına ait bir cins olan *Pinguicula* içerisinde yer alan tür, halk arasında Damkоруğu olarak bilinmektedir. Bu cins yaklaşık 120 adet kabul edilen türle dikkat çekmektedir (Anonim, 2025j). Türkiye’de Asıl Ege Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 15). *Pinguicula* türlerinin habitatları, genel olarak nemli ve besin maddeleri açısından fakir ortamlardır. Damkоруğu bitkileri yapışkan tuzak veyahut sinek kağıdı da denilen tuzak mekanizmasını kullanılır. Sukulent benzeri yaprakları, böcekleri çekmek ve yakalamak için yapışkan bir müsilaj salgılayan küçük tüylerle kaplıdır. Bu müsilaj, böcek vücudunu parçalamaya yarayan sindirim enzimleri içerir. Böceğin ilk parçalanmasıyla tetiklenen azot akışı, yaprak yüzeyindeki salgı bezlerini daha güçlü enzimler salgılamaya teşvik ederek sindirim sürecini tamamlar (Anonim, 2025k). Yapraklar genellikle pürüzsüz, sert ve sukulent olup, genellikle sarımsı-yeşil veya pembemsi renktedir. Kütüküldeki delikler, bu sindirim mekanizmasına izin verirken, aynı zamanda bitkinin kurummasına karşı koruyan mumsu tabakada kırılmalar oluşturarak bitki için bir zorluk teşkil eder. Sonuç olarak, çoğu damkоруğu nemli ortamlarda yaşar.



Şekil 15. Türkiye’de *Pinguicula habilii* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

Büyüme döngülerine göre, homofilli ve heterofilli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Homofilli türler, yıl boyunca etçil yapraklar üretir ve kış dinlenmesi için hibemaculum (kış tomurcukları) oluşturmazlar. Bunun aksine, heterofilli türler, mevsimsel olarak yaprak morfolojisinde değişiklikler gösterir; bu, etçil ve etçil olmayan yapraklar arasında bir geçişi veya farklı etçil yaprak formlarını içerebilmektedir. Özellikle ılıman türler, soğuk kış dinlenme dönemlerinde hayatta kalmak için genellikle kış tomurcukları (hibemaculum) oluştururlar. Bu, bitkinin kış boyunca nasıl dinlendiğini anlamak için önemlidir (Yıldırım ve ark. , 2012).

Pinguicula habilii, 2012 yılında Muğla’da, Türkiye’nin yeni bir etçil bitki türü olarak tanımlanmıştır ve endemiktir. Sadece Marmaris yakınlarındaki küçük bir dere boyunca, 100 ila 200 metre yüksekliklerdeki uçurumlarda yetişir. Bu dar dağılım, türün korunma durumu açısından kritik bir öneme sahiptir. IUCN kriterlerine göre "Kritik Tehlike Altında" (CR) kategorisinde sınıflandırılmıştır (Yıldırım ve ark. , 2012).

P. habilii heterofilli büyümesi, kendine özgü yaprak şekli ve tohum kabuğu yapısı ile ayrıt edilebilir. Çok yıllık bir otsu bitkidir ve yaz ve kış dönemlerinde yapraklarda şekilsel olarak farklılıklar meydana gelir. Yazın oluşan yapraklar 14 -20 cm çapında olup, 3-6 adet 7-11 cm uzunluğunda ve 6-11 mm genişliğinde, doğrusal ila çok dar mızrak şeklinde yapraklara sahiptir. Bu yaprakların kenarları tam, kıvrık veya düz olabilir ve uçları küt ila sivri uçludur (Şekil 16). Üst yüzeyleri, müsilağlı sapsız ve saplı bezlerle yoğun bir

şekilde kaplıdır. Kışın oluşan yapraklar ise 40 ila 60 mm çapında olup, 4-8 adet 18-35 mm uzunluğunda ve 11-16 mm genişliğinde, dikdörtgen-elips ile hafifçe ters mızrak şeklinde yapraklara sahiptir. Kenarları tam, bazen hafifçe kıvrıktır ve uçları küt veya bazen hafifçe girintilidir. Üst yüzeyleri de müsilajlı sapsız ve saplı bezlerle yoğun bir şekilde kaplıdır (Yıldırım ve ark. , 2012).

Pinguicula habilitii heterofilli büyüme gösterir, yaz ve kış rozetleri şekil ve boyut olarak farklıdır. Yaz rozetleri daha uzun ve dar etçil yapraklara sahipken, kış rozetleri daha kısa ve geniş etçil yapraklara sahiptir (Yıldırım ve ark., 2012).



Şekil 16. *Pinguicula habilitii* türüne ait görsel (Türkiyebitkileri, 2025)

Çiçeklenme dönemi Mayıs ve Temmuz aylarındadır. Çiçek sapları 1-6 adet, dik, 11-17 cm yüksekliğinde, silindirik ve çiçeğin hemen altında saplı bezlerle yoğun bir şekilde kaplıdır; her sapta tek bir çiçek bulunur. Çiçekler 2,4-2,8 cm uzunluğundadır. Taç yaprakları mavi-mor ile pembemsi-mor renkte olup, taç tüpüne yakın beyazımsı bir merkezi bölgeye sahiptir. Tohumlar 0.8-1.1 mm uzunluğunda ve 0.3-0.35 mm genişliğinde, dikdörtgen ile elips şeklinde, koyu kahverengidir (Yıldırım ve ark. , 2012).

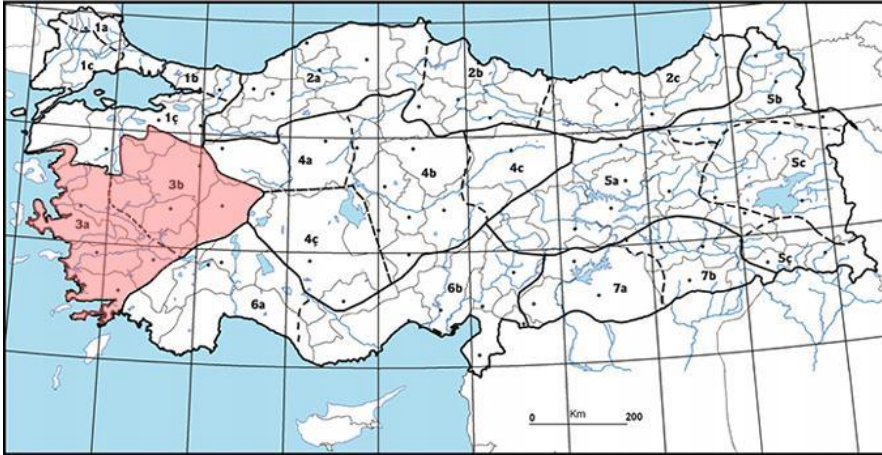
Genel olarak *Pinguicula* türlerinde, yaprak çelikleri ile çoğaltma oldukça etkilidir (Şekil 17). Bazı *Pinguicula* türleri çiçeklenmeden sonra bölünebilir, bu da bitkinin bölme yoluyla çoğaltılmasına olanak tanır (Hewitt-Cooper, 2016).



Şekil 17. *Pinguicula* cinsine ait yaprak çelikleri (a), *Pinguicula* cinsine ait köklü bitki örnekleri (b) (Cooper, 2016)

***Pinguicula crystallina* Sm.**

Pinguicula crystallina, homofilli büyüme tipine sahip çok yıllık ılıman bir türdür. Türkiye’de Asıl Ege ve İç Batı Anadolu Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 18). 250 -1700 m rakımlarda bulunabilir.



Şekil 18. Türkiye’de *Pinguicula crystallina* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

Kromozom sayısı $2n=28$ ’dir. (Georgiouve ark. , 2007). Yaprakları 1,5-4 cm uzunluğunda, 1-2,5 cm genişliğinde, geniş eliptik ila dikdörtgen şekilli olup, belirgin şekilde kıvrık kenarlara ve küt bir uca sahiptir (Şekil 19). Kış yaprakları sadece biraz daha küçüktür ve yapraklar sarımsı-yeşil veya nadiren morumsu-kırmızımsı renktedir (Anonim,2025n). Bitkinin adı olan "crystallina"

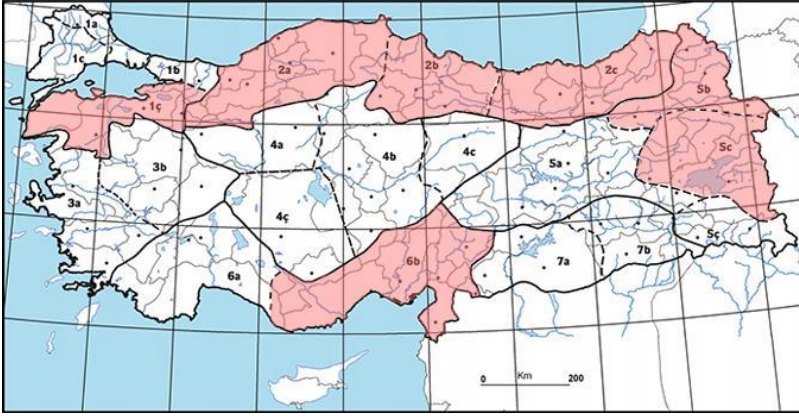
(Latince "kristalden yapılmış"), James Edward Smith tarafından yapraklarındaki şeffaf damlacıkların güneş ışığında elmas gibi parlaması nedeniyle seçilmiştir. *Pinguicula crystallina*'nın çiçeklenme dönemi Ocak'tan Temmuz'a kadar sürebilir. Çiçek sapları 3-10 cm uzunluğundadır. Taç yaprakları beyaz olup, her lobun menekşe-mavi bir ucu vardır. Taç boğazı ve mahmuz sarımsı-yeşil olup, boğazda birkaç kırmızımsı-kahverengi çizgi bulunabilir. Tohumlar 0.7-0.85 mm uzunluğunda, silindirik ila elipsoidal olup, retikülat bir testa yapısına sahiptir. *Pinguicula crystallina*'nın çoğaltılması genellikle tohumlarla ve bitki bölme yoluyla yapılmaktadır (Georghiouve ark. , 2007). Bu türler kök rahatsızlığını sevmezler, bu nedenle saksı değişimi sonrası sorunlar ve kayıplar sıkça yaşanır. Bu nedenle, tohumları doğrudan uzun süre kalabilecekleri büyük saksılara ekmek önerilmektedir (Anonim,2025o).



Şekil 19. *Pinguicula crystallina* türüne ait görsel (Thoma, 2025)

***Pinguicula balcanica* Casper**

Pinguicula balcanica, çok yıllık bir bitkidir. Türkiye’de Güney Marmara, Karadeniz, Erzurum-Kars, Yukarı Murat-Van ve Adana Bölümünde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 20). Ilıman büyüme tipine sahiptir ve kışın hayatta kalmak için hibemaculum (kış dinlenme tomurcukları) üretir ve bunlar toprak seviyesinde bulunur.



Şekil 20. Türkiye’de *Pinguicula balcanica* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

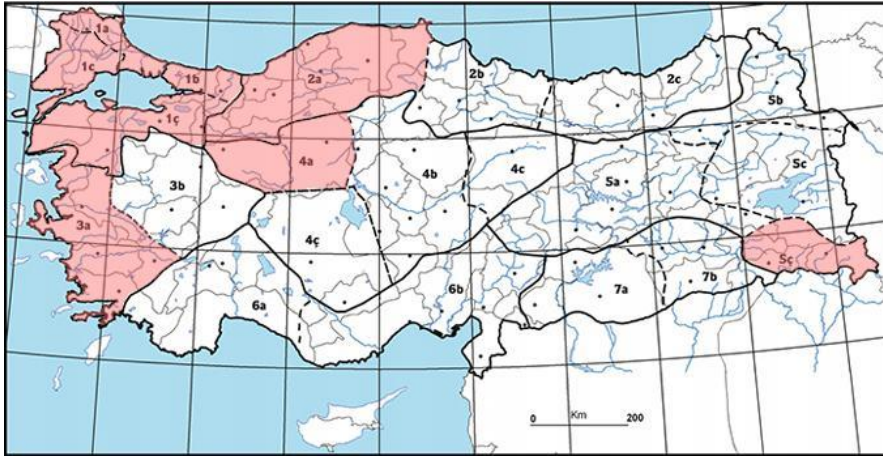
Kromozom sayısı $2n = 32$ ‘dir. 900-2500 m yüksekliklerde yetişir. Bitkinin rizomu basit ve kısa olup, çok sayıda ipliksi adventif köklere sahiptir. Yaprakları 5-9 adet ve rozet halinde dizilmiştir. Yapraklar tam kenarlı olup, kenarları kıvrıktır. Parlak yeşil renktedirler. Alt yapraklar genişçe yumurta şeklinde, 2-3 cm uzunluğunda ve 1,5-2 cm genişliğindedir. Üst yapraklar ise eliptik-dikdörtgen şeklinde, 2-5cm uzunluğunda ve 1-2 cm genişliğindedir (Şekil 21). Mayıs ve Haziran aylarında çiçek açar. Çiçek sapları 1-5 adet, dik, 2-10 mm yüksekliğinde ve tek çiçeklidir. Çiçekler orta büyüklükte olup, mahmuz dahil 0,8-2,3 cm uzunluğundadır. Taç yaprakları, mavi-menekşe rengindedir (Anonim,2025ö; Anonim,2025p). Tohumlar toz taneciklerine benzerdir. *Pinguicula balcanica*, tohumlar ve gemmae (kış hibemaculum etrafında oluşan küçük vejatatif tomurcuklar) yoluyla çoğaltılabilir (Anonim,2025ö; Anonim,2025p).



Şekil 21. *Pinguicula balcanica* türüne ait görsel (Frost, 2025)

***Utricularia australis* R.Br.**

Utricularia cinsi, yaygın olarak sucul etçil bitkiler veya mesaneli otlar olarak bilinen, Lentibulariaceae familyasına ait bitki grubudur. Bu cins, yaklaşık 250 türü içermektedir (Anonim,2025r). Türkiye’de Istanca ,Çatalca-Kocaeli,Ergene,Güney Marmara,Batı Karadeniz,Asıl Ege,Yukarı Sakarya,Hakkari Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 22).

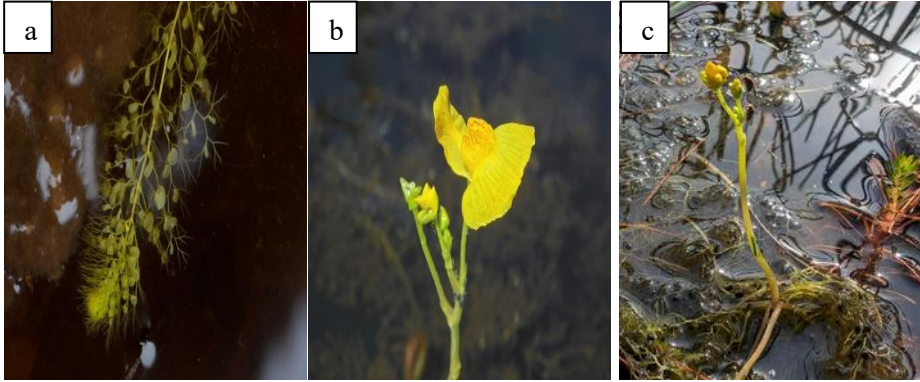


Şekil 22. Türkiye’de *Utricularia australis* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

Bu bitkiler, kök sisteminden yoksun olmaları ve küçük sucul organizmaları yakalamak için özelleşmiş kesecik benzeri tuzaklara sahip olmalarıyla oldukça dikkat çekici bitki grupları arasında yer almaktadır. Bu kesecikler, protozoalar ve rotiferler gibi mikroskobik avlardan balık yavruları ve sivrisinek larvaları gibi daha büyük avlara kadar çeşitli organizmaları yakalayabilmektedirler. Tuzak mekanizması son derece özel ve karmaşık olup, avın tetikleyici tüylere dokunmasıyla saniyeden de kısa bir sürede açılıp kapanan bir kapı içerir ve içe doğru hızlı bir su akışı ile avı içeri çeker (Anonim,2025s; Anonim,2025t).

Bitkinin belirgin bir kök sistemi yoktur ve su altında ince, batık gövdeler oluşturur. Gövdeler 30 santimetre uzunluğa kadar ulaşabilmektedir ve ipliksi, silindirik yapıdadır. Renkleri yeşilden -yeşilimsi sarıya değişebilir. Yaprakları genellikle 2 -8 mm uzunluğunda olup, düz avuç şeklindedir. Bu türün en belirgin morfolojik özelliği, yapraklı gövde dallarında bulunan kesecikleridir. Bu

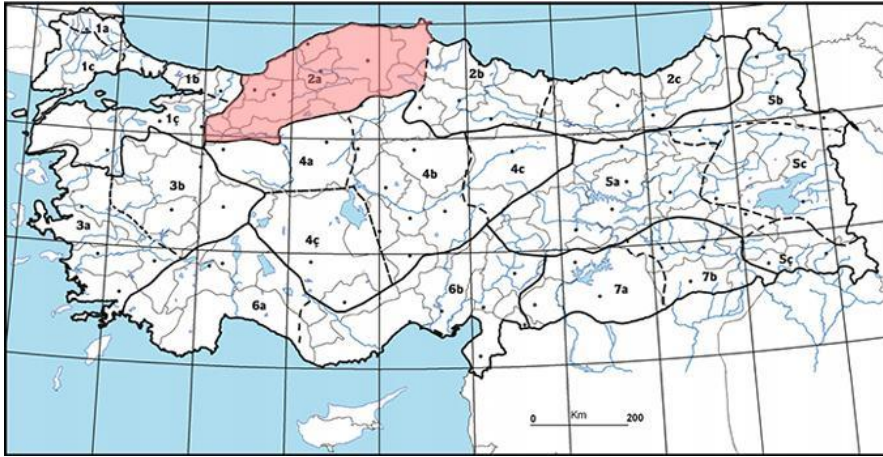
kesecikler 5 milimetreye kadar büyük olabilir ve 1 -2 mm uzunluğunda, 0.7-1.5 mm genişliğinde olabilir. Şekilleri eğik ters yumurta biçimindedir ve saplıdır. Keseciklerin kenarları, av yakalama mekanizması için bir vakum oluşturmak üzere içeri doğru bükülür. Çiçeklenme döneminde, *U. australis* bitkiden çıkan dik, birkaç çiçekli, brakteli salkımlar oluşturur. Çiçek sapları 12- 16 cm uzunluğunda olabilir ve 3 -7 çiçek taşıyabilir. Çiçekler sarı renkte, aslanağzı benzeri bir görünüme sahiptir ve genellikle 2 ila 5 çiçek bir arada bulunur (Şekil 23). Çanak yaprakları 2 adet olup, yaklaşık 11 mm uzunluğundadır ve kırmızımsı kahverengi çizgiler veya lekeler bulunur. Soğuk iklimlerde kışın hayatta kalmak için özelleşmiş, sıkıca paketlenmiş kış tomurcukları olan turionlar üretir. Olgun meyveler kahverengi, küresel kapsüller olup, 0.5 mm uzunluğunda ve 0.3 mm genişliğinde, ince, ağ benzeri bir örtüye sahip küçük kahverengi oval tohumlar içerir. *U. australis* sağlıklı gövde bölümlerinden bölme yöntemi ile kış tomurcukları olan besin ile dolu olan turionlarla, gövde parçalanması ile ve nadiren de olsa tohum ile çoğaltılabilmektedir (Anonim,2025t; Anonim,2025u; Anonim,2025ü; Anonim,2025v; Anonim,2025y).



Şekil 23. *Utricularia australis*'in yapraklarındaki keselerin görüntüsü (a) (Stephens, 2025), *Utricularia australis*'in çiçek yapısı (b) (Johneichler, 2025), *Utricularia australis* türüne ait görsel (c) (Fitzgerald, 2025)

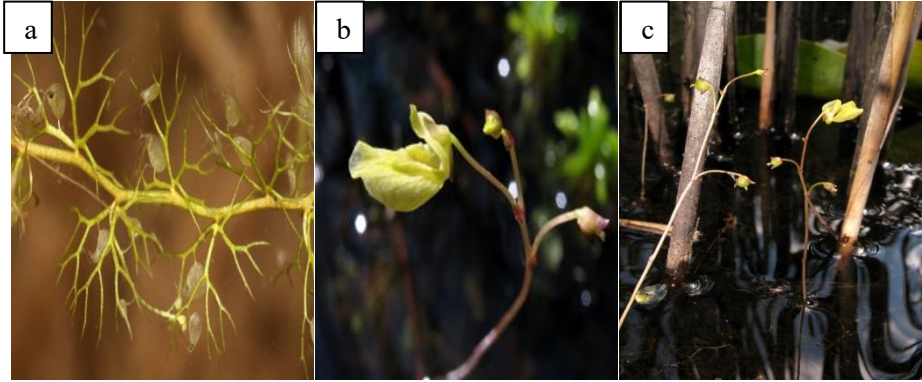
***Utricularia minor* L.**

Utricularia minor, küçük mesaneli ot olarak bilinir ve çok yıllık, köksüz bir sucul bitkidir. Türkiye’de Batı Karadeniz Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 24).



Şekil 24. Türkiye’de *Utricularia minor* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

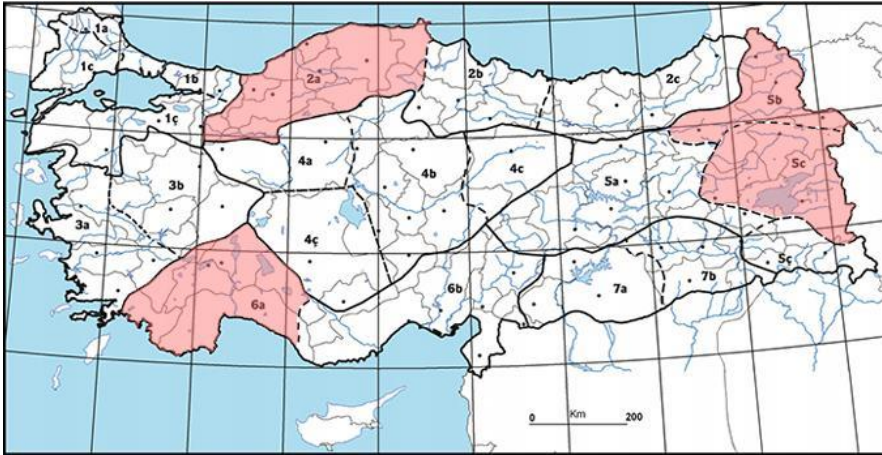
Bitkinin gövdesi su altında bulunur ve diğer kısmı su yüzeyine yakın yüzer. Bitki boyu 4-15 cm arasında değişebilir. Gövdeler ince ve yüzen yapıdadır, 15 ila 75 santimetre uzunluğunda olabilir ve su dibinde sürünebilir. Yaprakları almaşık diziliş şeklinde, yuvarlak hatlara sahiptir ve çapları 1,7 santimetreden küçüktür. Yapraklar tabana yakın genellikle 3 veya 4 (bazen 6'ya kadar) kez avuç içi şeklinde bölünmüştür; bölümler genellikle düzdür ancak ipliksi görünebilir. Birincil bölümlerin her biri 2 ila 11 kez çatallanmıştır. Yaprak uzunlukları 3 -10 mm arasında değişir ve sapsızdır, doğrudan gövdeye bağlanır. Bu türün kesecikleri, diğer *Utricularia* türlerinin aksine, tüm yapraklarda bulunur ve 1 ila 3 mm uzunluğundadır. Çiçeklenme döneminde, *U. minor* su yüzeyinden 2.5 ila 12 santimetre yukarıya uzanan çıplak bir sap üzerinde 1-9 adet küçük, soluk sarı, aslanağzı benzeri çiçek salkımları oluşturur (Şekil 25). Meyvesi yaklaşık 3 mm çapında yuvarlak bir kapsüldür. Kapsül 1.5-2 mm uzunluğundadır. *Utricularia minor* bölme yöntemi, kış tomurcukları olan turionlar ve soğuk katlama yapıldığı takdirde tohum ile çoğaltılabilir (Anonim,2025y;Anonim2025v;Anonim,2025z).



Şekil 25. *Utricularia minor*'ün yapraklarındaki keselerin görüntüsü (a) (Taxil, 2025), *Utricularia minor*'ün çiçek yapısı (b) (Mayorov, 2025), *Utricularia minor* türüne ait görsel (c) (Mayorov, 2025)

***Utricularia vulgaris* L.**

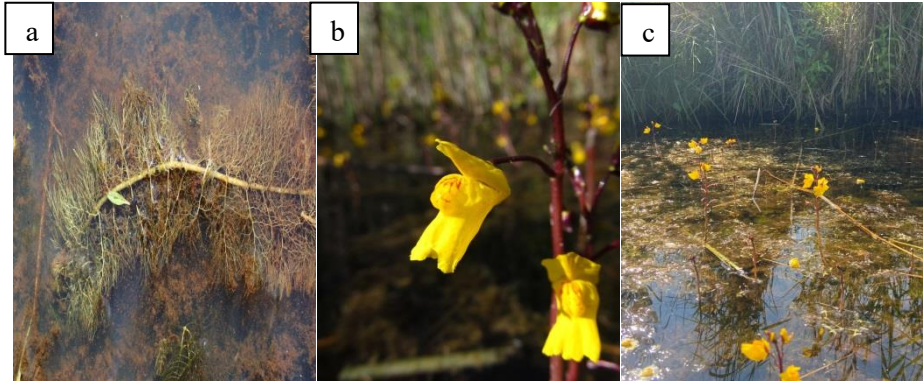
Utricularia vulgaris, 30 -100 cm uzunluğunda yatay gövdelere sahip, çok yıllık bir sucul bitkidir ve büyük mesaneli ot olarak bilinir. Türkiye’de Batı Karadeniz, Erzurum-Kars, Yukarı Murat-Van ve Antalya Bölümü’nde doğal olarak yayılış gösterir (Şekil 26).



Şekil 26. Türkiye’de *Utricularia vulgaris* yayılış alanı (bizimbitkiler, 2025)

Gövdeler su yüzeyinin hemen altında yüzer ve bazen dallanır. Gövdeler yeşilden kırmızımsıya değişebilir ve yaklaşık 1.5-1.8 mm çapında, yuvarlak şekillidir. Bitkide belirgin bir kök sistemi yoktur ve tamamen su altında yaşar,

sadece çiçekleri su yüzeyinin üzerine çıkar. Yaprakları almaşık diziliş şekline sahip, 2-5 cm uzunluğunda olup, tabandan 1 veya 2 ana bölüme ayrılır; her bölümün almaşık dalları vardır ve bu dallar birkaç kez ipliksi segmentlere çatallanır. Yapraklar oldukça bölünmüş olup, dişli kılcal segmentlere sahiptir. Kesecikleri 2- 5 mm uzunluğundadır ve sadece yaprak segmentlerine bağlıdır. Çiçeklenme döneminde, *U. vulgaris* dik çiçek sapları üzerinde altın sarısı, aslanağzı benzeri çiçeklerden oluşan salkımlar oluşturur. Çiçek sapları 30- 50 cm yüksekliğe ulaşabilir ve 3 ila 8 çiçek taşıyabilir (Şekil 27). Meyveleri küresel kapsüller olup, 3 -5 mm uzunluğundadır ve yaklaşık 50-150 küçük tohum içerir. Gövde parçalanması, turionlar, ve tohum kullanılarak çoğaltılması mümkündür(Hewitt-Cooper, 2016).



Şekil 27. *Utricularia vulgaris*'in yapraklarındaki keselerin görüntüsü(a) (Filippova, 2025), *Utricularia vulgaris*'in çiçek yapısı (b) (Bengus, 2025), *Utricularia vulgaris* türüne ait görsel (c) (Barrett, 2025)

SONUÇ

Ülkemizde doğal olarak yayılış gösteren yaklaşık 13.000 bitki taksonu içerisinde böcek kapan bitkilerde yer almaktadır. Böcek kapan bitkiler, sindirim enzimleri sayesinde doğal böcek ilacı geliştirme ve hızlı hareketleri sayesinde ise robotik bilimi tasarımları için biyoteknolojik yeniliklere büyük potansiyel sunar. Genellikle sulak alanlarda yetişen bu bitkiler, sulak alanların gerek insan kaynaklı gerekse iklim kaynaklı gördüğü zarardan doğrudan etkilenmektedirler. Dolayısıyla doğanın bir parçası olan bu bitkilerin de tıpkı diğer bitkilerde olduğu gibi in-situ ve ex-situ muhafazalarına yönelik çalışmaların yapılması, doğal dengenin korunması adına son derece önemlidir.

Süs bitkileri sektörü çok dinamik bir sektördür. İnsanlar sürekli yeni tür ve çeşit görmek isterler. İç mekân süs bitkisi olarak kullanılan böcek kapan bitkiler günümüzde yurt dışından ithal edilmekte ve oldukça yüksek fiyatlarla Türkiye tüketicisine sunulmaktadır. Dolayısıyla ülkemizdeki böcek kapan bitki türleri kültüre alınmalı ve korunmalarının yanında ülke ekonomisine kazandırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Anonim,2025a, BioRxiv. *Origin of subgenomes in the circumboreal allopolyploid*. Erişim adresi: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2025.01.09.632192v1.full-text>. Erişim tarihi :20.07.2025.
- Anonim,2025b, FS USDA. *Plant of the Week: Drosera anglica*. Erişim adresi: https://www.fs.usda.gov/wildflowers/plant-of-the-week/drosera_anglica.shtml. Erişim tarihi:19.07.2025.
- Anonim,2025c, CNPS. *Rare Plant of the Month: English Sundew*. Erişim adresi: <https://www.cnps.org/rare-plants/rare-plant-of-the-month-english-sundew-43724>. Erişim tarihi:20.07.2025.
- Anonim,2025d, NWWildflowers. *Drosera anglica*. Erişim adresi:<https://nwwildflowers.com/compare/?t=Drosera+anglica>. Erişim tarihi:15.07.2025.
- Anonim,2025e, Propagate.one. *How to Propagate Drosera anglica*. Erişim adresi: <https://propagate.one/how-to-propagate-drosera-anglica/>. Erişim tarihi:19.07.2025.
- Anonim,2025f, InfoFlora. *Drosera anglica*. Erişim adresi: <https://www.infoflora.ch/en/flora/drosera-anglica.html>. Erişim tarihi:19.07.2025.
- Anonim,2025g, Minnesota Wildflowers. *Round-leaved Sundew*. Erişim adresi: <https://www.minnesotawildflowers.info/flower/round-leaved-sundew>. Erişim tarihi:20.07.2025.
- Anonim,2025h, Carnivorous Plant Nursery. *Drosera intermedia*. Erişim adresi: <https://carnivorousplantnursery.com/products/drosera-intermedia>. Erişim tarihi:13.07.2025.
- Anonim,2025i, CNPS. *Rare Plant of the Month: English Sundew*. Erişim adresi: <https://www.cnps.org/rare-plants/rare-plant-of-the-month-english-sundew-43724>. Erişim tarihi:15.07.2025.

Anonim,2025j, Wikipedia. *List of Pinguicula species*. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Pinguicula_species. Erişim tarihi:19.07.2025.

Anonim,2025k, Carnivorousplants.org. *Carnivorous Plant Trapping Mechanisms*. Erişim adresi: <https://www.carnivorousplants.org/cp/carnivory/trapping>. Erişim tarihi :20.07.2025.

Anonim,2025l, Conservatory.ucdavis.edu. *Pinguicula*. Erişim adresi: <https://conservatory.ucdavis.edu/collections/carnivorous/pinguicula>. Erişim tarihi:15.07.2025.

Anonim,2025m, Propagate.one. Butterwort Bounty: Unlocking the Secrets of Pinguicula Lutea Propagation. Erişim adresi: <https://propagate.one/propagation/how-to-propagate-pinguicula-lutea/>. Erişim tarihi:15.07.2025.

Anonim,2025n, Botany.org. *Pinguicula - the Butterworts*. Erişim adresi: <https://botany.org/home/resources/carnivorous-plants-insectivorous-plants/pinguicula-the-butterworts.html>. Erişim tarihi:17.07.2025.

Anonim,2025o, The Carnivorous Greenhouse. *How to Care for Mexican Pinguicula*. Erişim adresi: <https://www.thecarnivorousgreenhouse.co.uk/post/how-to-care-for-mexican-pinguicula>. Erişim tarihi:19.07.2025.

Anonim,2025ö, Wikipedia. *Pinguicula balcanica*. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Pinguicula_balcanica. Erişim tarihi :20.07.2025.

Anonim,2025p, Wikipedia. *Pinguicula balcanica*. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Pinguicula_balcanica. Erişim tarihi:17.07.2025.

Anonim,2025r, Wikipedia. *List of Utricularia species*. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Utricularia_species. Erişim tarihi:17.07.2025.

Anonim,2025s, Plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au. *Utricularia australis*. Erişim adresi:<https://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/cgi-bin/NSWfl.pl?page=nswfl&lvl=sp&name=Utricularia~australis>. Erişim tarihi:19.07.2025.

Anonim,2025t, www.dnr.state.mn.us. *Utricularia purpurea (purple-flowered bladderwort)*. Erişim adresi:<https://www.dnr.state.mn.us/rsg/profile.html?action=elementDetail&selectedElement=PDLNT020G0>. Erişim tarihi :20.07.2025.

Anonim,2025u, Nzpcn.org.nz. *Utricularia australis*. Erişim adresi: <https://www.nzpcn.org.nz/flora/species/utricularia-australis/>. Erişim tarihi:18.07.2025.

Anonim,2025ü, Gobotany.nativeplanttrust.org. *Utricularia intermedia*. Erişim adresi: <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/utricularia/intermedia/>. Erişim tarihi:18.07.2025.

Anonim,2025v, Plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au. *Family Lentibulariaceae*. Erişim adresi:<https://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/cgi-bin/NSWfl.pl?page=nswfl&lvl=gn&name=Utricularia>. Erişim tarihi:18.07.2025.

Anonim,2025y, Viscum.dk. *Utricularia - bladder function*. Erişim: <https://viscum.dk/koedaedende-planter/utricularia/utricularia-bladder-function/>. Erişim tarihi :20.07.2025.

Anonim,2025z, Carnivorous Plant Nursery. *Utricularia minor*. Erişim adresi: <https://www.carnivorousplantnursery.com/products/utricularia-minor>. Erişim tarihi:18.07.2025.

- Barrett, M.(2025). *Utricularia vulgaris*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/233245340>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Bizimbitkiler (2025). <<http://www.bizimbitkiler.org.tr>>, Erişim tarihi: 11.07.2025.
- Dill, B.(2025). *Drosera intermedia*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/129343184>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Demirbaş A.R.. *Süs Bitkisi Yetiştiriciliği*. Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yatım Şubesi Yayınları, Samsun, (2010), 59 s.
- El Bashir, I. B., Hassan, L. E. A., & Yagi, S. (2019). The Fascinating World of Carnivorous Plants: Adaptations and Survival Strategies. *Australian*.
- Fitzgerald, N.(2025). *Utricularia australis*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/257906184>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Filippova, N.(2025). *Utricularia vulgaris*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/56543338>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Frost, R. (2025). *Pinguicula balcanica*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/people/rogerfrost>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Georgiou, K., Christodoulou, C., & Kasmeridis, C. (2007). *Pinguicula crystallina Sm*. In R. Hand (Ed.), *Cyprus Red Data Book of Flora* (314–336). Cyprus Forestry Association. <https://www.researchgate.net/publication/303687808>.
- Headley, J. (2025). *Drosera intermedia*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/7120005> Erişim tarihi:24.07.2025.

- Hodnett, R.(2025). *Drosera anglica*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/37368546>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Waterman, H.(2025). *Drosera rotundifolia*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/299136235>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Hewitt-Cooper, N. (2016). *Carnivorous plants: Gardening with extraordinary botanicals* .Timber Press.
- Johneichler. (2025). *Utricularia australis*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/69451422>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Kazaz, S., Kılıç, T., Doğan, E., Mendi, Y. Y., & Karagüzel, Ö. (2020). Süs bitkileri üretiminde mevcut durum ve gelecek. TMMOB Ziraat Mühendisliği Odası, Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, Tarım Haftası, 673-698.
- Kazaz, S., Kırbay, E., Aydın, V., Meral, E. D., & Kılıç, T. (2025). *Süs Bitkileri Üretiminde Mevcut Durum ve Gelecek*. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi.
- Krenn, L., Grienke, U., & Hufnagl, P. (2022). *Planta Medica*, 88(15), 1184–1191.
- Lee, K., & Chen, L. (2022). Mechanisms of prey capture in *Nepenthes* pitcher plants. *Journal of Plant Physiology*, 15(2), 123-135.
- Louboutin, B. (2025). *Drosera intermedia*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/41064612>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Mayorov, S. (2025). *Utricularia minor*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/20297972>. Erişim tarihi:24.07.2025.

- Mayorov, S. (2025). *Utricularia minor*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/20297972>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Elhardt, N.(2025). *Genlisea*. Erişim: https://en.wikipedia.org/wiki/Genlisea#/media/File:Genlisea_violacea_giant.jpg. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Özakçaoğlu, Ö. (2025). *Drosera spp. ve Dionaea spp.’de Organogenesis Yöntemiyle Mikroçoğaltımın Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Taxil, X. (2025). *Utricularia minor*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/98317344>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Thoma, M. (2025). *Pinguicula crystallina*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/222836804>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Torre, D. (2019). *Carnivorous plants*. Reaktion Books.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (27 Aralık 2024). *Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2024*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447>.
- Pacella, C.(2025). *Utricularia macrorhiza*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/300540838> Erişim tarihi:24.07.2025.
- Plachno, B. J., & Kukula, K. (2021). *Frontiers in Plant Science*, 12, 740156.
- Rost, K., & Schauer, R. (1977). Physical and chemical properties of the mucin secreted by *Drosera capensis*. *Phytochemistry*, 16(9), 1365–1368.
- Stephens, C. (2025). *Utricularia australis*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/140351735>. Erişim tarihi:24.07.2025.

- Türkiyebitkileri. (2025).Erişim : <https://turkiyebitkileri.com/foto%C4%9Fraf-galerisi/lentibulariaceae-sumi%C4%9Fferigiller/pinguicula-ya%C4%9Fotu/pinguicula-habilii/45366-koyce%C4%9Fizmu%C4%9Fla.html>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Yıldırım, H., Şenol, S. G., & Pirhan, A. F. (2012). *Pinguicula habilitii* (Lentibulariaceae), a new carnivorous species from South-West Anatolia, Turkey. *Phytotaxa*, 64(1), 47–58.
- Zarubo, T.(2025). *Drosera anglica*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/38955458>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Zucker, E.(2025). *Drosera rotundifolia*.Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/297694497>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Golyakov, P. (2025). *Utricularia vulgaris*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/299559647>. Erişim tarihi:24.07.2025.
- Bengus, Y.(2025). *Utricularia vulgaris*. Erişim: <https://www.inaturalist.org/observations/104769881>. Erişim tarihi:24.07.2025.

BÖLÜM 17

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE YOMRA (TRABZON) İLÇESİNDE FINDIK YETİŞTİRİCİLİĞİ İÇİN ARAZI UYGUNLUK ANALİZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR PLANLAMA YAKLAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN¹

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARĞIN²

Dr. Öğr. Üyesi Haydar KURT³

Umut Kaan KURT⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779388>

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. orcid id: 0000-0002-0349-3846, adnandogan@hotmail.com

² Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. orcid id: 0000-0002-4752-4333, bulutsargin@yyu.edu.tr

³ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. orcid id: 0000-0002-4637-1996, haydarkurt@yyu.edu.tr

⁴ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. orcid id: 0009-0000-5026-8353 , umut616173@gmail.com,

1. GİRİŞ

Fındık (*Corylus avellana* L.) Türkiye'nin tarımsal ekonomisi için stratejik bir öneme sahip olup, küresel fındık üretiminde ülkenin lider konumunu sağlamaktadır. Türkiye, dünya fındık üretiminin yaklaşık %65-70'ini karşılamakta ve bu ürün, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nin sosyo-ekonomik yapısının temelini oluşturmaktadır. (FAO, 2023). Fındık yetiştiriciliği, bölgenin iklim ve toprak koşullarıyla uyumlu olması nedeniyle yüzyıllardır süregelen bir gelenektir (Karadeniz ve ark., 2008). Fındık bitkisi, ılıman iklim kuşağının özelliklerini taşıyan, yıllık ortalama sıcaklığın 13-16°C, yıllık yağış miktarının ise 700-1200 mm arasında olduğu bölgelerde optimum gelişim göstermektedir (Mehlenbacher, 1991; Köksal, 2002; Tonkaz ve Bostan, 2010). Toprak derinliği, eğim ve bakı gibi coğrafi faktörler de verimlilik üzerinde doğrudan etkilidir.

Ancak, fındık tarımı yapılan arazilerde zamanla oluşan toprak yorgunluğu, yanlış uygulamalar, yaşlı bahçelerin varlığı ve iklim değişikliğinin getirdiği riskler, birim alandan elde edilen verimi olumsuz etkilemektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde arazi parçalanmışlığı, eğimli ve sık toprak yapısı, modern tarım tekniklerinin uygulanmasını zorlaştırmakta ve mekanizasyonu kısıtlamaktadır (Dengiz ve ark., 2009; Ünal ve ark., 2010). Bu yapısal sorunlar, fındık üretiminde sürdürülebilirliği tehdit eden unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Trabzon ili Yomra ilçesindeki fındık yetiştiriciliği potansiyelini coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) teknolojileri kullanılarak detaylı bir mekânsal analizle ortaya koymaktır. İlçenin arazi kullanım kabiliyeti (AKK), eğim, toprak derinliği, bakı yönü, büyük toprak grupları ve yükselti gibi fiziki özelliklerinin fındık tarımı üzerindeki etkileri değerlendirilerek, mahalle bazında fındık üretimindeki risk ve fırsatlar belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen bulgular ışığında, fındık üretiminde sürdürülebilirliği artıracak stratejik planlama yaklaşımları ve politika önerileri sunulmuştur. Bu çalışma, Trabzon ili Yomra ilçesinin tarımsal yapısını anlamak, mevcut sorunları tespit etmek ve gelecekteki tarım politikalarının oluşturulmasına bilimsel bir temel sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Fındık Tarımının Küresel ve Ulusal Boyutta Önemi ve Mekânsal Dağılımı

Fındık (*Corylus avellana* L.), dünya tarım ticaretinde stratejik bir konuma sahip olan ve küresel gıda sanayisinde önemli bir hammadde olarak kullanılan bir üründür. Dünya genelinde fındık üretimine bakıldığında, Türkiye uzun yıllardır açık ara liderliğini korumaktadır (Çizelge 1). Çizelge 1’de küresel fındık üretiminin yaklaşık %75’i Türkiye tarafından karşılanmakta olup, bu durum ülkenin fındık pazarındaki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Türkiye’nin fındık üretimi ve üretim alanları, 2014-2023 yılları arasında dünya toplamının önemli bir kısmını oluşturarak küresel pazardaki dominant konumunu sürdürmüştür (FAO, 2023). Fındık üretimi, Türkiye ekonomisine yıllık ortalama milyarlarca dolar döviz girdisi sağlamanın yanı sıra, özellikle Karadeniz Bölgesi’nde on binlerce aile için temel geçim kaynağı ve istihdam olanağı yaratmaktadır. Bu yönüyle fındık tarımı, bölgenin sosyo-ekonomik yapısını doğrudan etkileyen ve kırsal kalkınmayı destekleyen kilit bir tarımsal faaliyet olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 1. Dünya fındık üretimi ve Türkiye’nin yeri (FAO, 2023)

Ülkeler	DÜNYA FINDIK ÜRETİMİ (TON)									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Türkiye	450.000	646.000	420.000	675.000	515.000	776.046	665.000	684.000	765.000	650.000
İtalya	75.456	101.643	120.572	131.281	132.700	98.530	140.560	84.670	98.670	102.740
Azerbaycan	30.039	32.260	34.271	45.530	52.067	53.793	49.465	67.630	72.105	75.409
ABD	32.659	28.123	39.916	29.030	46.270	40.820	56.060	70.490	70.310	85.460
ŞİLİ	11.500	8.750	14.250	16.800	20.330	40.000	37.000	36.773	62.412	65.647
Gürcistan	33.800	35.300	29.500	21.400	17.000	24.000	32.700	46.000	33.400	36.900
İran	10.098	13.516	14.756	12.790	13.938	13.828	13.519	13.922	13.762	13.602
İspanya	13.542	11.423	9.510	10.487	8.030	12.370	5.450	7.780	8.040	6.790
Fransa	11.053	8.899	12.638	11.111	15.660	11.660	12.660	12.340	9.960	17.160
ÇİN	23.621	25.100	23.907	24.519	25.170	24.532	24.740	24.814	24.696	24.750
DÜNYA	710.547	936.110	743.399	1.001.627	874.423	1.121.957	1.070.733	1.079.471	1.195.731	1.125.221
Ülkeler	DÜNYA FINDIK ÜRETİM ALANLARI (ha)									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Türkiye	701.141	702.628	705.445	706.667	728.381	734.409	734.538	738.920	744.047	746.749
İtalya	72.125	72.214	69.285	73.772	7.8590	79.350	80.280	82.590	84.430	87.500
Azerbaycan	25.207	27.322	31.814	35.782	3.9021	43.381	44.502	48.968	51.436	53.942
ABD	12.141	13.759	14.973	16.190	17.810	20.235	24.281	23.472	27.519	30.756
ŞİLİ	8.686	8.712	13.109	13.110	13.104	24.437	24.430	24.456	36.393	36.375
Gürcistan	18.689	19.461	16.195	11.721	9.330	13.180	17.972	25.453	18.495	20.449
İran	20.631	31.041	24.029	25.234	27.566	25.610	26.137	26.437	26.061	26.212
İspanya	13.591	13.301	13.137	12.806	13.510	13.020	13.070	13.110	12.660	12.470
Fransa	4.995	5.146	5.868	6.232	6.680	5.190	7.430	7.510	7.510	7.920
ÇİN	11.900	12.410	11.937	11.838	11.930	12.124	11.964	12.311	12.355	12.392
DÜNYA	910.835	930.678	931.111	939.811	974.972	1.002.203	1.018.733	1.038.555	1.060.848	1.078.192

Çizelge 1’de Türkiye’deki fındık üretim alanları ve üretim miktarları incelendiğinde, bu tarımın coğrafi olarak büyük ölçüde Doğu Karadeniz ve Orta Karadeniz bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Başta Ordu, Giresun, Samsun ve Trabzon olmak üzere, bu iller Türkiye toplam fındık üretiminin önemli bir kısmını gerçekleştirmektedir. İller bazında dikim alanları, verim

oranları ve toplam üretim miktarları arasında farklılıklar bulunmakla birlikte, genel olarak iklim ve toprak koşullarının fındık yetiştiriciliği için elverişliliği bu yoğunlaşmada temel faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).

Trabzon ili, Karadeniz Bölgesi'nin önemli fındık üretim merkezlerinden biri olup, Türkiye toplam fındık üretimindeki payıyla dikkat çekmektedir. İlde fındık tarımı, hem kültürel bir miras hem de önemli bir ekonomik aktivite olarak sürdürülmektedir. Trabzon'un topoğrafik yapısı, yükselti ve eğim farklılıkları, fındık bahçelerinin mekânsal dağılımını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, Trabzon'a bağlı Yomra ilçesi, ilin fındık üretiminde sahip olduğu potansiyel ve mevcut dikim alanlarıyla öne çıkmaktadır (Çizelge 2). İlçenin fındık üretim alanları, coğrafi konumu ve fiziki çevre özellikleri, sürdürülebilir fındık tarımı planlaması için detaylı mekânsal analizleri zorunlu kılmaktadır.

Çizelge 2. Türkiye ölçeğinde Yomra ilçesinin fındık üretim durumu (TÜİK, 2024)

Yıllar	Fındık Üretim Alanları (da)			%		Fındık Üretim Miktarı(Ton)			%	
	Türkiye	Trabzon	Yomra	TRY	TrY	Türkiye	Trabzon	Yomra	TRY	TrY
2014	7.011.413	654.317	65.313	0.93	9.98	450.000	31.065	5.022	1.12	16.16
2015	7.026.279	653.498	65.313	0.93	9.99	646.000	39.126	4.925	0.76	12.59
2016	7.054.451	655.525	66.900	0.95	10.2	420.000	28.978	3.877	0.92	13.38
2017	7.066.670	655.524	66.900	0.95	10.2	675.000	41.594	4.687	0.69	11.27
2018	7.283.808	655.074	66.900	0.92	10.2	515.000	34.271	4.051	0.78	11.82
2019	7.344.087	655.353	66.900	0.91	10.2	776.046	53.946	6.302	0.81	11.68
2020	7.345.377	655.972	66.900	0.91	10.2	665.000	40.315	5.246	0.79	13.01
2021	7.389.201	652.224	66.900	0.90	10.3	684.000	44.041	5.192	0.76	11.79
2022	7.440.473	651.799	66.900	0.90	10.3	765.000	52.461	6.575	0.86	12.53
2023	7.467.486	652.379	66.900	0.89	10.3	650.000	29.505	3.047	0.47	10.33
2024	7.497.692	652.399	66.920	0.89	10.3	717.000	38.323	4.150	0.58	10.83

TRY: Yomra fındık üretiminin ülkemiz üretimindeki payı TrY: Yomra fındık üretiminin Trabzon üretimindeki payı

Çizelge 2'de yer alan son 10 yıllık veriler (2014-2024 arası), Yomra ilçesinin Türkiye ve Trabzon fındık üretimindeki değişimini ve arazi kullanım dinamiklerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır (TÜİK, 2024). Bu çizelgeden de anlaşılacağı üzere, Yomra ilçesi, Trabzon'daki fındık üretim alanlarının ve üretim miktarının önemli bir payını oluşturmaktadır. Özellikle "TrY (%)" sütununda belirtilen oranlar, Yomra'nın Trabzon ili fındık üretimi içindeki sürekli ve dikkate değer yerini göstermektedir. Bu veriler, Yomra ilçesinde fındık tarımının mevcut durumunu ve geleceğe yönelik potansiyelini anlamak açısından kritik öneme sahiptir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Araştırma Alanı

Yomra ilçesi, Trabzon ilinin doğu kesiminde yer alır ve Karadeniz kıyısında konumlanmıştır. İlçe, WGS 1984 Zone 37-UTM(Universal Transverse Mercator) referans sistemine göre 4500000 - 4540000 K ve 560000 - 580000 D koordinatları arasında bulunmaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Maçka ve Araklı, doğusunda Arsin, batısında ise Ortahisar ilçesi yer alır. Toplam yüzölçümü yaklaşık 19985,05 hektardır. İlçenin topoğrafyası oldukça engebelerlidir. Rakım, kıyından iç kesimlere doğru hızla artar ve yüksek dağlık alanlara ulaşır. Bölgede tipik Karadeniz iklimi hüküm sürer. İklim her mevsim yağışlı ve ılımandır. Bu koşullar, fındık yetiştiriciliği için uygun bir mikroklima alanı oluşturur.

2.2. Materyal

Çalışmada kullanılan başlıca materyaller şunlardır:

- **Topoğrafik Haritalar:** Araştırma alanının topoğrafik yapısı ve yükselti verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) resmi internet sitesinden ücretsiz olarak indirilen DEM (Dijital Elevation Model) verileri aracılığıyla elde edilmiştir. Bu veriler, eğim, bakı ve yükselti sınıflamalarının oluşturulmasında temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır.
- **Toprak Haritaları:** Yomra ilçesinin toprak özelliklerinin belirlenmesinde, Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen Trabzon ili Yomra ilçesine ait 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ile Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM, 1984) tarafından hazırlanmış olan toprak haritalardan faydalanılmıştır.
- **Meteorolojik Veriler:** Yomra ilçesine ait 1990–2024 yılları arasındaki uzun dönemli yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2025) istasyonlarından temin edilmiştir.
- **Arazi Kullanım Verileri:** İlçenin mevcut arazi kullanım deseni, güncel uydu görüntüleri ve ilgili kurumların (Tarım ve Orman Bakanlığı, TÜİK) verileri kullanılarak belirlenmiştir.
- **Fındık Üretim Verileri:** Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) verileri (Yomra Tarım ve Orman İlçe Müdürlüğü Çiftçi Kayıt Sistemi, 2024 verileri)

ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2023/2024) tarımsal istatistikleri, fındık dikili alanların dağılımı ve üretim potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

- **CBS Yazılımı:** Tüm mekânsal analizler, haritalama ve veri entegrasyonu için ESRI ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılmıştır (Yomralıoğlu, 2000; Longley ve ark., 2015).

2.3. Yöntem

Çalışmada, Yomra ilçesinde fındık yetiştiriciliğine uygunluk analizi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar analizi (MCDA) yaklaşımı benimsenmiştir (Malczewski, 2004, 2006). Yöntem aşamaları şu şekildedir:

1. Veri Toplama ve Ön İşleme:

- Topoğrafik, toprak, meteorolojik ve tarımsal veriler farklı kaynaklardan toplanmıştır.
- Sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak eğim, bakı ve yükselti haritaları oluşturulmuştur.
- Farklı formatlardaki veriler CBS ortamına aktarılmış ve ortak bir coğrafi referans sistemine dönüştürülmüştür.

2. Mekânsal Analizler:

- ✓ **Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK) Sınıflandırması:** Arazinin tarımsal üretim kapasitesini ve uygunluğunu değerlendiren bir sınıflandırma sistemidir. Bu sistem, arazileri birinci sınıftan (en verimli) sekizinci sınıfa (tarıma uygun olmayan) kadar kategorize etmektedir (Everest, 2021). Ancak, sürdürülebilir tarım için arazi kullanım kabiliyeti sınıflarının doğru bir şekilde belirlenmesi kritik öneme sahiptir (Atmaca ve Cüce, 2023). Çalışma alanına arazi kullanım kabiliyet haritaları toprak haritalarından elde edilmiştir.
- ✓ **Eğim Analizi:** Sayısal Yükseklik Modelinden türetilen eğim haritası, fındık yetiştiriciliği için kritik olan eğim limitlerine göre sınıflandırılmıştır.
- ✓ **Toprak Derinliği Analizi:** Toprak haritalarından elde edilen verilerle toprak derinliği sınıfları oluşturulmuştur.

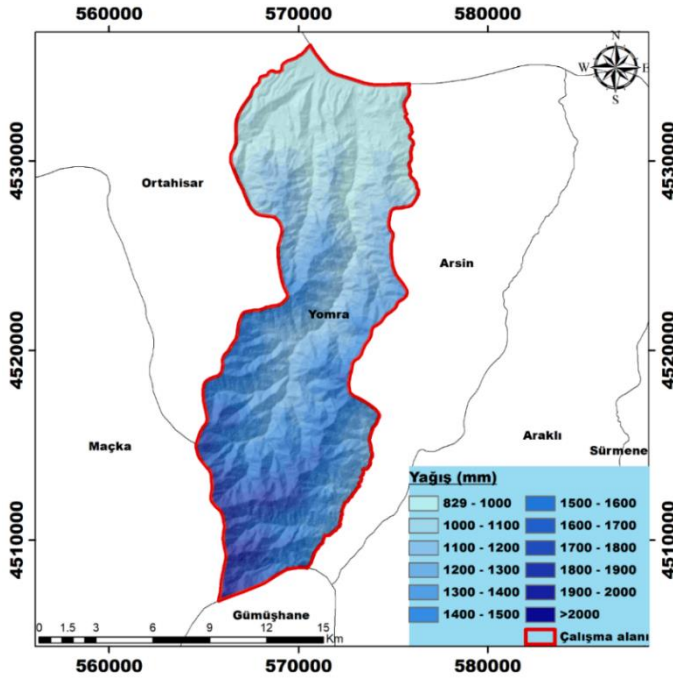
- ✓ **Bakı Yönü Analizi:** SYM'den türetilen bakı haritası, fındık bitkisinin ışık ve sıcaklık ihtiyacı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.
 - ✓ **Büyük Toprak Grupları Analizi:** İlçedeki hâkim toprak grupları belirlenmiş ve fındık yetiştiriciliği için uygunlukları analiz edilmiştir.
 - ✓ **Yükselti Analizi:** Fındık bitkisinin optimum gelişim gösterdiği yükselti aralıkları referans alınarak, yükselti haritası sınıflandırılmıştır.
3. **ÇKS Veri Analizi:** Yomra Tarım ve Orman İl Müdürlüğü'nden temin edilen ÇKS verileri CBS ortamına aktarılmış, mahalle bazında fındık dikili alanların mekânsal dağılımı analiz edilmiştir. Bu veriler, fiziki faktörlerle ilişkilendirilerek üretim potansiyeli ve riskli alanlar belirlenmiştir.
4. **SWOT (GZFT) Analizi:** Mahalle bazında fındık tarımının güçlü ve zayıf yönleri ile karşılaşılan fırsatlar ve tehditler, arazi analizleri ve üretim verileri ışığında değerlendirilerek SWOT analizi gerçekleştirilmiştir.
5. **Politika ve Strateji Geliştirme:** Elde edilen tüm mekânsal analiz sonuçları ve SWOT analizi bulguları sentezlenerek, Yomra ilçesinde sürdürülebilir fındık üretimi için mahalle bazlı stratejik müdahale alanları ve politika önerileri geliştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yomra İlçesinin İklim Özelliklerinin Fındık Tarımı Açısından Değerlendirilmesi

Yomra ilçesi, Doğu Karadeniz ikliminin tipik özelliklerini taşımakta olup, fındık yetiştiriciliği için genel olarak uygun bir mikro-klimaya sahiptir. Yomra ilçesine ait 1990–2024 yılları arasındaki uzun dönemli iklim verileri incelendiğinde, bölgenin Karadeniz ikliminin tipik özelliklerini taşıdığı görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 14,8°C olup, en düşük değer ocak ayında 7,5°C, en yüksek değer ise ağustos ayında 23,5°C olarak kaydedilmiştir (Çizelge 3). İlçeye ait uzun yıllara ortalama sıcaklık haritası Şekil 1'de verilmiştir. Fındık bitkisi için optimal sıcaklık aralığı 13-16°C olduğundan, Yomra bu açıdan uygun koşullar sunmaktadır (Köksal, 2002; Karadeniz ve ark., 2008).

Çizelge 3’te sunulan uzun yıllara (1990–2024) ait iklim verilerine göre, Yomra ilçesinde güneşlenme süresi yıl boyunca değişkenlik göstermektedir. Haziran ayında günlük ortalama 7,1 saat ile maksimum düzeye ulaşırken, aralık ayında bu süre 2,2 saate kadar düşmektedir. Aynı çizelgeden görüldüğü üzere, Yomra’da yıllık ortalama 140,2 gün yağışlı geçmektedir. Ancak yaz mevsiminde, özellikle temmuz ve ağustos aylarında görece bir kuraklık dikkati çekmektedir. En düşük sıcaklık $-7,4^{\circ}\text{C}$, en yüksek sıcaklık ise $38,2^{\circ}\text{C}$ olarak kaydedilmiştir. Bu iklimsel veriler, Yomra’nın tarımsal faaliyetler için oldukça elverişli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Yağışın mevsimsel dağılımı fındık gelişimi açısından önemlidir. İlkbahar ve sonbahar ayları, fındıkta çiçeklenme, meyve tutumu ve iç doldurma evreleri için kritik dönemlerdir. İlkbaharda artan nem ve yağışlı gün sayısı, fındıkta görülen Monilya (*Monilinia laxa*) gibi fungal hastalıkların yayılmasını kolaylaştırabilmektedir. Yaz aylarında ise azalan yağış miktarı, özellikle sıg ve geçirgen topraklarda kuraklık stresi riskini artırabilir (Feres ve Soriano, 2007). Bu durum, sulama altyapısının önemini ortaya koymaktadır. Kış aylarındaki ılıman sıcaklıklar ve don olaylarının nadir görülmesi, fındıkta kış zararlarını minimize etmektedir. Ancak yüksek rakımlı alanlarda (750 m üzeri) don riski artmakta ve bu bölgelerde erken veya geç donlar fındıkta verim ve kalite kayıplarına neden olabilmektedir (Ustaoglu ve Karaca, 2014). Genel olarak, Yomra ilçesinin iklim koşulları fındık yetiştiriciliği için uygun olmakla birlikte, özellikle yüksek rakımlı ve eğimli arazilerde iklimsel risk yönetimi stratejilerinin uygulanması gerekmektedir.



Şekil 2: Yıllık Toplam Yağış Dağılımı

Düşük sıcaklıklar, özellikle yüksek rakımlı bölgelerde konumlanan fındık bahçelerinde don zararına neden olabilmektedir. Bu durum, bitkinin gelişimini ve verimini olumsuz etkileyerek önemli ekonomik kayıplara yol açabilir. Yapılan gözlemler ve arazi verileri, 750 metre ve üzeri rakıma sahip mahallelerde (örneğin Çamlıyurt, Oymalı, Demirciler, Kılıçlı) don riskinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Bu yükselti farkı, atmosferik koşulların değişimiyle birlikte termal inversiyon gibi don olaylarını tetikleyici faktörlerin daha sık görülmesine neden olmaktadır.

Bu risk faktörünü minimize etmek amacıyla, yüksek rakımlı alanlarda fındık yetiştiriciliğinde bazı stratejik önlemlerin alınması gerekmektedir. Özellikle erken yapraklanan fındık çeşitlerinin bu bölgelerde tercih edilmesinden kaçınılmalıdır. Erken yapraklanma, bitkiyi olası geç ilkbahar donlarına karşı daha savunmasız hale getirmektedir. Bunun yerine, bölgenin iklim koşullarına ve don riskine daha dayanıklı, geç yapraklanan fındık çeşitleri ve uygun anaçların seçimi önem arz etmektedir. Bu tür seçimler, bitkinin fenolojik gelişimini don riskinin azaldığı döneme kaydırarak, don zararının önüne geçilmesine yardımcı olacaktır.

3.2. Yomra İlçesinin Arazi Varlığının Coğrafi ve Toprak Özellikleri Değerlendirilmesi

Yomra ilçesinin arazi varlığı, genel olarak engebeli ve parçalı bir yapıya sahiptir. İlçenin toplam yüzölçümü 19.985,05 hektar olarak belirlenmiştir. Arazi kullanım deseni incelendiğinde, ilçenin %41'i orman ve fundalık, %32'si tarım alanı, %8'i çayır, mera ve otlak, %19'u ise tarım dışı alanlardan oluşmaktadır (Doğan ve ark., 2025). Bu dağılım, tarımsal faaliyetlerin, özellikle de fındık tarımının ilçe ekonomisindeki önemini vurgulamaktadır.

Çizelge 4. Yomra ilçesi büyük toprak grupları dağılımı

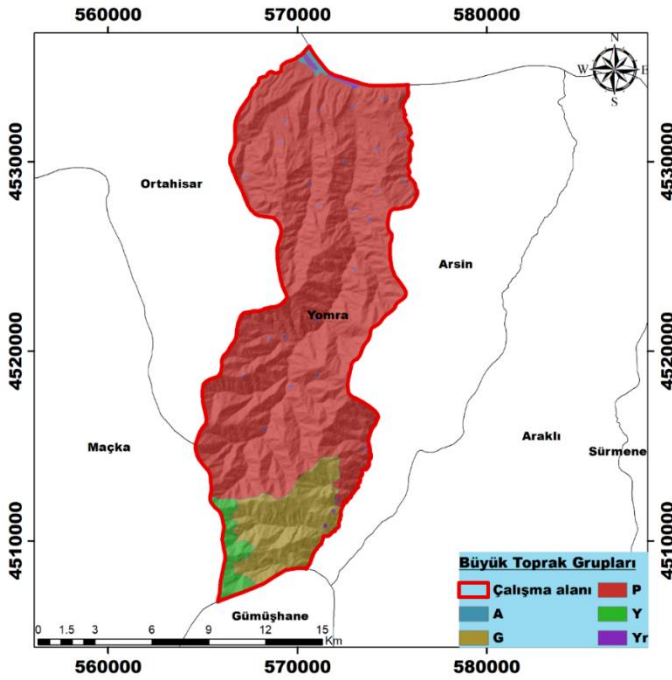
Büyük Toprak Grubu (BTG)	Alan (ha)	Oran (%)
Alüvyal Topraklar (A)	79.86	0.40
Yerleşim Alanları (Y)	157.14	0.79
Gley Topraklar (G)	544.27	2.72
Podzolik Topraklar (P)	16920.84	84.67
Toplam	19985.05	100.00

3.2.1. Büyük Toprak Grupları

Yomra ilçesinin büyük toprak grupları incelendiğinde, podzolik toprakların geniş bir alanda (%84.67) yayılım gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4). Podzolik topraklar, genellikle nemli ve serin iklim bölgelerinde görülen, organik maddece fakir, asit reaksiyonlu ve yıkanma oranı yüksek topraklardır (Özyazıcı ve ark., 2021). Bu topraklar, fındık yetiştiriciliği açısından düşük verimlilik potansiyeli taşımakta ve bitki besin elementi eksiklikleri (özellikle azot ve fosfor) ile karşılaşmaktadır. Bu durum, gübreleme ve toprak ıslahı uygulamalarının önemini artırmaktadır.

Çizelge 4'te görüldüğü üzere, ilçedeki alüvyal topraklar ise sadece %0.40 oranla 79.86 hektarlık küçük bir alanı kaplamaktadır. Bu topraklar, genç, verimli ve işlenebilir nitelikte olmalarına rağmen, çalışma sahasında sınırlı bir yayılıma sahiptir. Gley topraklar ise, çalışma alanının %2.72'lik kısmını kaplamaktadır. Bu topraklar yüksek taban suyu seviyesi nedeniyle oksijensiz koşullarda oluşur. Drenaj sorunları nedeniyle tarımsal açıdan dikkatli kullanım gerektirir (Tercan ve Dengiz 2022).

Genel olarak, Yomra ilçesinin toprak yapısı fındık tarımı için bazı sınırlayıcı faktörler içermekte olup, bu durum toprak yönetimi ve iyileştirme uygulamalarını zorunlu kılmaktadır.



Şekil 3. Yomra İlçesi Büyük Toprak Grupları Haritası

3.2.2. Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK) Sınıflandırmasının Fındık Tarımına Etkisi

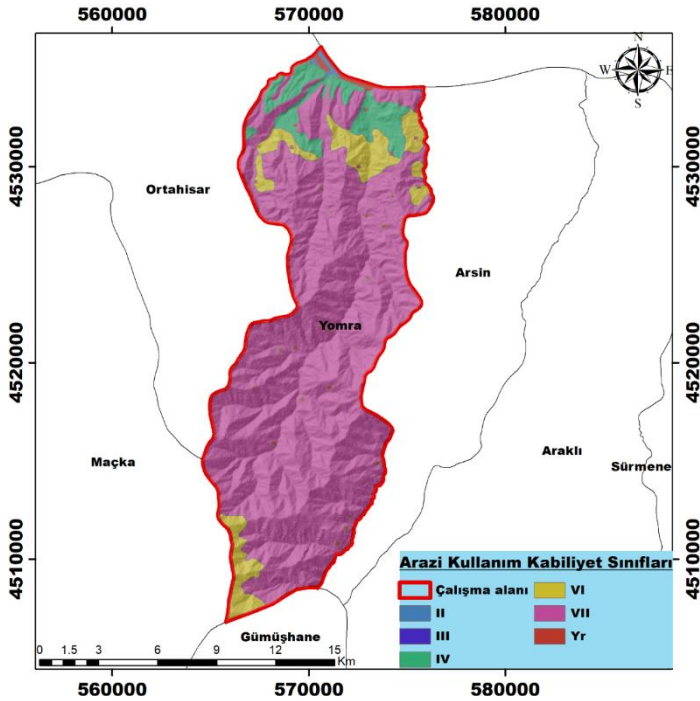
Yomra ilçesinin arazi kullanım kabiliyeti (AKK) sınıfları incelendiğinde, arazilerin büyük bir kısmının tarımsal faaliyetler açısından sınırlayıcı özelliklere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 5). Çizelge 5'te incelendiğinde, araştırma alanının %92.27'si VI. ve VII. sınıf arazilerden oluşmaktadır. Bu sınıflar, genellikle yüksek eğimli, erozyona açık, sıg toprak derinliğine sahip ve mekanizasyonun zor olduğu arazileri ifade etmektedir (Dengiz ve ark., 2009).

Çizelge 5: Yomra ilçesi arazi kullanım kabiliyeti (AKK) sınıfları

A.K.K	Alan	Oran
Yerleşim	157.14	0.79
II	79.67	0.40
III	13.82	0.07
IV	1295.48	6.48
VI	1710.04	8.56
VII	16728.7	83.71
Toplam	19985.05	100.00

Çizelge 5'te yer alan dağılıma göre, IV. sınıf araziler 1295.48 hektarlık alanı kaplamaktadır. Bu oran toplam alanın %6.48'idir. Bu araziler sınırlı düzeyde tarıma uygundur. Ancak dikkatli ve kontrollü kullanım gerektirir. Mera ya da sınırlı tarım uygulamaları için değerlendirilebilir.

II. ve III. sınıf araziler toplam alanın yalnızca %0.47'sini oluşturur. II. sınıf araziler %0.40, III. sınıf araziler ise %0.07 oranındadır (Çizelge 5.). Bu sınıflar tarım için en uygun topraklardır. Fiziksel özellikleri elverişlidir. Ancak çalışma alanındaki yayılımları oldukça sınırlıdır. Yerleşim alanları 157.14 hektardır. Bu da toplam alanın %0.79'una karşılık gelir. Tarım dışı kullanımlar bu alanda yoğunlaşmaktadır. Yomra ilçesinde fındık dışı tarımsal üretimin (örneğin tahıl veya sebze tarımı) geniş alanlarda yapılmasının fiziksel olarak sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Çok yıllık bir bitki olan ve eğimli arazilere adapte olabilen fındığın, bu koşullarda tercih edilen başlıca ürün olmasının ana nedenlerinden biri de budur (Günay, 2007). Çalışma alanı arazi kullanım kabiliyet sınıfları haritası Şekil 4. verilmiştir.



Şekil 4: Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK) haritası

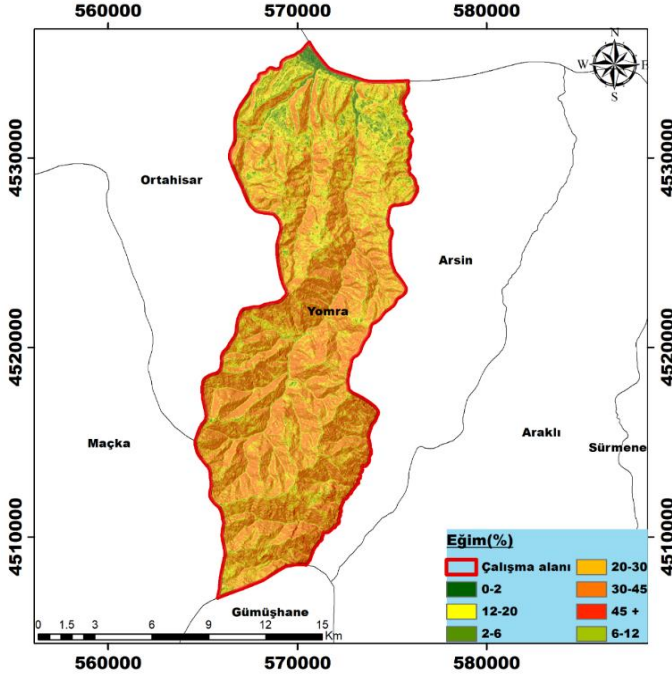
3.2.3. Eğim Faktörünün Fındık Üretimine Etkisi

Yomra ilçesinin topoğrafik yapısı oldukça engebeli olup, eğim değerleri fındık tarımını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Çizelge 6'da verilen veriler incelendiğinde, araştırma alanının %54.26'sı %30'dan daha fazla eğime sahiptir (Şekil 5; Çizelge 6). Bu oran, ilçedeki tarım arazilerinin önemli bir kısmının dik ve çok dik eğimli olduğunu göstermektedir. Fındık yetiştiriciliği için ideal eğim değerleri genellikle %0-20 arasındadır (Mehlenbacher, 1991). %30'un üzerindeki eğimlerde mekanizasyon imkânları kısıtlanmakta, toprak işleme, gübreleme ve hasat gibi kültürel uygulamalar büyük ölçüde insan gücüne dayanmaktadır. Bu durum, üretim maliyetlerini artırmakta ve verimliliği düşürmektedir. Aşırı eğimli araziler, aynı zamanda toprak erozyonu açısından da yüksek risk taşımaktadır. Özellikle yoğun yağışlar ve toprak işlemler, toprağın üst verimli tabakasının kaybına yol açabilmektedir (Kıcıman, 2021).

Çizelge 6: Yomra ilçesi eğim durumu

Eğim (%)	Alan (ha)	Oran (%)
0-6	3357.73	16.80
6-12	2530.85	12.66
12-20	3267.75	16.35
20-30	2498.42	12.50
>30	8330.30	41.69
Toplam	19985.05	100.00

Eğimli fındık bahçelerinde cep teras uygulamaları, kademeli dikim sistemleri ve örtü bitkisi kullanımı gibi erozyon kontrol önlemleri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, eğimin artmasıyla birlikte hasat işçiliği zorlaşmakta ve maliyetler yükselmektedir. Bu durum, üreticilerin düşük verimli arazileri terk etmesine veya yeterli bakımı yapmamasına neden olabilmektedir.



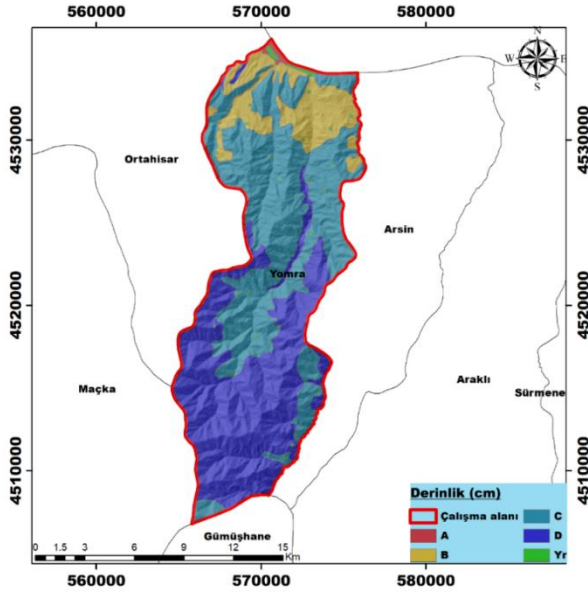
Şekil 5. Eğim haritası.

3.2.4. Toprak Derinliği Özelliklerinin Fındık Tarımına Etkisi

Yomra ilçesinin toprak derinliği incelendiğinde, alanının büyük kısmı sığ ve çok sığ topraklardan oluşmaktadır (Çizelge 7; Şekil 6). Bu topraklar, bitki kök gelişimini ciddi şekilde sınırlayarak, fındık gibi yüzeysel saçak kök oluşturan bitkilerin besin ve su alımını olumsuz etkilemektedir. Orta derin topraklar %12.32, derin topraklar ise yalnızca %0.40 oranındadır. Bu dağılım, alandaki toprakların büyük çoğunluğunun tarımsal üretim açısından sınırlı derinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, yüzeysel köklü bitkiler ve dikkatli arazi kullanımı önem taşımaktadır.

Çizelge 7. Yomra ilçesi toprak derinliği durumu

Derinlik (cm)	Alan (ha)	Oran (%)
A (Derin)	79.87	0.40
B (Orta derin)	2461.25	12.32
C (Sığ)	8997.72	45.02
D (Çok sığ)	8289.07	41.48
YR (yerleşim)	157.14	0.79
Toplam	19985.05	100.00



Şekil 6: Toprak derinlik haritası

Yerleşim alanlarına bakıldığında; 157.14 hektarlık bir alanın “YR” (yerleşim) olarak sınıflandırılması, %0.79’luk bir oranı temsil etmektedir. Bu alanlar, tarımsal üretimden ziyade kentsel veya kırsal yerleşim bölgeleridir (Karaca ve ark., 2019). Genel olarak, Yomra ilçesindeki toprakların büyük çoğunluğunun sığ veya çok sığ profilli olması, fındık tarımında verim ve kalite açısından önemli bir sınırlayıcı faktör olarak öne çıkmaktadır. Sürdürülebilir fındık üretimi için bu alanlarda toprak işleme, organik madde takviyesi ve gerekirse çeşit seçimi gibi toprak derinliğiyle uyumlu tarım uygulamalarının benimsenmesi kritik öneme sahiptir.

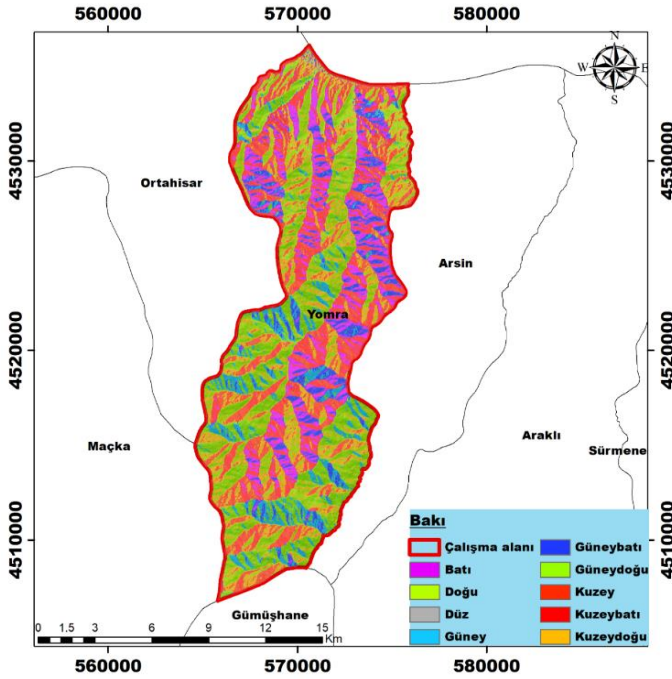
Çizelge 8: Yomra ilçesi bakı yönü dağılımı

Bakı Yönü	Alan (ha)	Oran (%)
Düz	157.30	0.79
Kuzey	2509.07	12.55
Kuzeydoğu	2964.22	14.83
Doğu	3540.94	17.72
Güneydoğu	2916.39	14.59
Güney	1478.35	7.40
Güneybatı	1445.97	7.24
Batı	2299.37	11.51
Kuzeybatı	2673.44	13.38
Toplam	19985.05	100.00

3.2.5. Bakı Yönünün Fındık Tarımı Üzerindeki Etkisi

Bakı yönü, arazinin güneşlenme süresi, sıcaklık ve nem rejimi üzerinde önemli etkilere sahiptir ve bu da fındık bitkisinin gelişimi ve verimliliği için kritik bir faktördür (Özbek, 1978). Çizelge 8’de Yomra ilçesinin bakı dağılımı incelendiğinde, farklı bakıların ilçedeki arazi dağılımında benzer oranlarda yer aldığı görülmektedir. Araştırma alanında en yaygın bakı doğudur. Toplam alanın %17.72’sini kaplar. Kuzeydoğu, güneydoğu ve kuzeybatı yönleri de geniş alanlara sahiptir (Şekil 7). Sırasıyla %14.83, %14.59 ve %13.38 oranındadır. Kuzey bakı %12.55, batı ise %11.51 oranındadır. Güney ve güneybatı yönleri daha sınırlıdır. Bu yönlerin oranı %7.40 ve %7.24’tür. Düz bakılı alanlar ise yalnızca %0.79’dur (Çizelge 8). Genel olarak, güney, güneydoğu ve güneybatı bakılı yamaçlar, daha fazla güneş ışığı almakta ve toprak sıcaklığı daha yüksek olmaktadır. Bu durum, fındıkta erken yapraklanma, hızlı olgunlaşma ve yüksek randıman için avantaj sağlamaktadır.

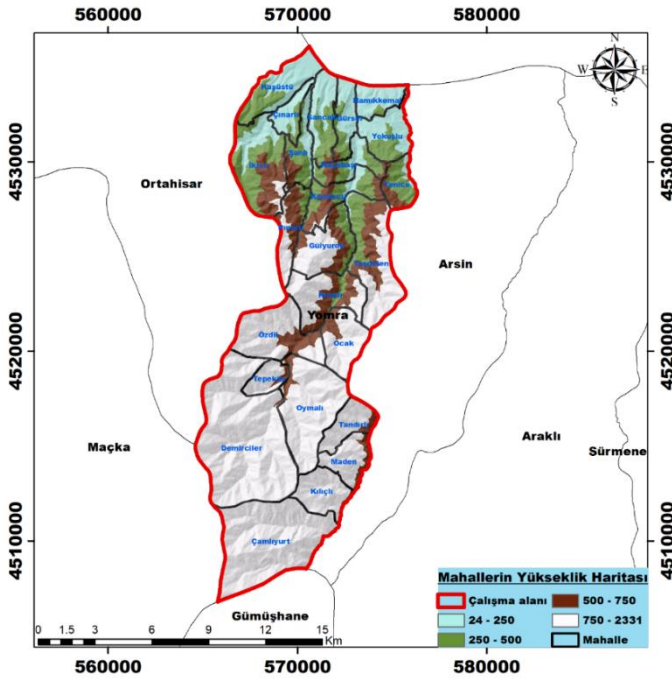
Kuzey bakılı yamaçlar ise daha gölgeli ve nemli olup, toprak sıcaklığı daha düşüktür. Bu alanlarda fındıkta olgunlaşma gecikebilir ve bazı fungal hastalıkların yayılımı daha kolay olabilir. Batı bakılı yamaçlar, öğleden sonra güneşini daha yoğun alarak sıcaklık stresine neden olabilirken, doğu bakılı yamaçlar sabah güneşini alarak don riskini azaltabilir. Yomra’da farklı bakı yönlerinin dengeli dağılımı, fındık yetiştiriciliği için çeşitli mikro-klima koşulları sunmaktadır. Üreticilerin, fındık çeşit seçimi ve kültürel uygulamaları (budama, sulama vb.) bakı yönüne göre adapte etmeleri, verimliliği artırıcı bir faktör olacaktır.



Şekil 7: Bakı haritası

3.2.6. Yükselti Faktörü ve Mahalle Bazında Fındık Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Yomra ilçesinin arazi varlığı, yükselti düzeylerine göre farklı tarımsal uygunluk göstermekle birlikte, özellikle fındık tarımı açısından kritik eşik noktalarını içermektedir. Fındık bitkisi, ekolojik olarak ılıman iklim kuşağına özgü bir bitki türü olup, optimum yetişme koşullarını genellikle 750 metre altı rakımlarda sağlamaktadır. 750 metre üzerindeki alanlar, iklimsel olumsuzluklara bağlı olarak gelişme geriliği, geç olgunlaşma, kalite düşüklüğü ve don riski gibi faktörlerden dolayı riskli tarım alanları olarak değerlendirilmektedir (Köksal, 2002; Kurt ve Güler, 2018).



Şekil 8: Yükselti haritası.

Yükselti haritası incelendiğinde, ilçenin büyük kısmının 250-750 m aralığında yer aldığı, ancak özellikle güney ve güneydoğu mahallelerinin 750 m'nin üzerinde rakımlara ulaştığı görülmektedir (Şekil 8).

Yomra ilçesinde gerçekleştirilen yükselti sınıflandırması çalışmasına göre; ilçenin toplam alanının büyük kısmı 750 metre üzerindeki yüksek alanlardan oluşmaktadır. Bu kesim 11531.18 hektar ile toplam alanın %57.70'ini kaplamaktadır. Bu oran, bölgenin yüksek rakımlı ve dağlık yapıda olduğunu göstermektedir. 250-500 metre aralığı, %14.95 ile ikinci sıradadır. Bunu %14.19 ile 0-250 metre aralığı ve %13.17 ile 500-750 metre aralığı takip etmektedir. (Çizelge 9). Bu oran, ilçenin önemli bir kısmının fındık tarımı açısından ekolojik sınır değerlerin üzerinde yer aldığını ve bu alanlarda üretim faaliyetlerinin iklim ve toprak sınırlamaları nedeniyle riskli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 9: Yomra ilçesi rakımsal dağılımı

Rakım Aralığı (m)	Alan (ha)	Oran (%)
0-250	2835.16	14.19
250-500	2986.89	14.95
500-750	2631.82	13.17
>750	11531.18	57.70
Toplam	19985.05	100.01

Yükselti sınıfları mekânsal olarak mahalleler üzerinde değerlendirildiğinde, özellikle Demirciler, Çamlıyurt, Kılıçlı, Maden, Oymalı ve Tepeköy gibi mahallelerin önemli bölümlerinin 750 m üzeri riskli tarım alanlarında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 8). Bu mahallelerde fındık yetiştiriciliği yapılmakta olsa da, iklimsel risklerin yoğunlaştığı bu yükselti sınıfında kalite ve verimlilik açısından ciddi sorunlarla karşılaşılması muhtemeldir. Öte yandan Çınarlı, İkisü, Sancak, Kayabaşı, Gülyurdu, Kömürcü, Yokuşlu ve Yenice gibi mahalleler, daha çok 250-500 m arası yükseltilerde yer almakta olup, bu alanlar fındık tarımı için ideal koşulları barındırmaktadır.

Bu bağlamda, yüksek kotlarda yer alan mahallelerde fındık tarımı için alternatif uygulamalar geliştirilmesi gereklidir. Örneğin; soğuk zararı riskine karşı koruyucu sistemler, tohumluk kalitesi yüksek, geç olgunlaşan fındık çeşitlerinin tercih edilmesi, bahçe gençleştirme çalışmaları ve sulama yatırımlarının yaygınlaştırılması gibi stratejiler, bu alanların tarımsal verimliliğini sürdürülebilir kılacaktır.

Rakımsal analizle ortaya konan bu mekânsal sınıflandırma, Yomra ilçesinde fındık tarımının planlanmasında yön gösterici bir araç olarak kullanılabilir. Tarım politikalarının mahalle bazlı eşik değerlere göre şekillendirilmesi, sürdürülebilir üretim kapasitesinin artırılmasında etkili olacaktır.

Çizelge 10. Mahalle bazında fındık alanları ve rakımsal dağılım

Mahalle	Rakım (m)	Fındık Dikili Alan (da)	İlçe İçindeki Pay (%)
Kaşüstü	24-472	373.8	2.57
Sancak	24-607	338.7	2.33
Namıkkemal	24-314	126.6	0.87
İkisü	85-861	540.1	3.71
Çınarlı	37-374	92.1	0.63
Gürsel	24-595	176.9	1.21
Şanlı	42-852	157.3	1.08
Pınarlı	264-1392	205.8	1.41
Gülyurdu	175-1215	608.6	4.18
Taşdelen	154-1416	666.5	4.58
Yenice	134-818	192.9	1.33
Kayabaşı	73-708	257.4	1.77
Kömürcü	106-883	392.3	2.69
Yokuşlu	38-542	255.5	1.75
Çamlıyurt	785-2331	1104.9	7.59
Kılıçlı	674-1858	376.3	2.58
Demirciler	710-2137	1784.8	12.26
Oymalı	599-1773	1221.3	8.39
Tepeköy	622-1308	353.9	2.43
Maden	564-1671	416.2	2.86
Tandırılı	509-1632	405.9	2.79
Özdil	519-1557	762.3	5.24
Kırathı	373-1479	632.3	4.34
Ocak	456-1663	484.0	3.32
Toplam		14565.5	100.00

3.2.7. Yüksek Rakımlı Alanlarda Fındık Tarımının Yayılımı ve Üretim Riski

Yomra ilçesinde fındık üretim faaliyetlerinin mekânsal dağılımı incelendiğinde, üretim alanlarının önemli bir kısmının yüksek rakımlı ve eğimli arazilerde konumlandığı görülmektedir. Mahalle bazlı analiz sonuçlarına göre, 750 metre üzerindeki rakımlarda veya bu eşik değere yakın geçiş zonlarında yer alan mahallelerde gerçekleşen üretim, toplam fındık dikili alanın yaklaşık %53.1'ini oluşturmaktadır. Bu oran, ilçede fındık üretiminin büyük ölçüde yüksek eğim, düşük toprak derinliği ve iklimsel risklerin daha belirgin olduğu alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır (Çizelge 10).

Özellikle Çamlıyurt, Demirciler, Oymalı, Kılıçlı, Tepeköy, Maden, Tandırılı ve Özdil gibi mahalleler, hem rakımsal sınıflandırmalara göre yüksek riskli tarım alanları içinde yer almakta hem de fındık plantasyonlarının

yaygınlaştığı bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu mahallelerin bir kısmı doğrudan 750 metre eşğinin üzerindeyken, bazıları geçiş zonunda yer almakla birlikte üretim alanlarının büyük bölümü yüksek rakıma yayılmıştır.

Fındık üretiminde tavsiye edilen optimal rakımın 250-750 metre aralığında olduğu belirtilmekte; bu sınırların üzerinde ise don riski, fenolojik düzensizlikler, fındıkta olgunlaşma gecikmeleri ve kalite düşüklüğü gibi olumsuz etkiler daha sık görülmektedir (Köksal, 2002; Kurt ve Güler, 2018). Bu bağlamda Yomra'daki mevcut üretim deseni, mekânsal planlamaya dayalı risk yönetimi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu bölgelerde tarımsal verimliliği artırmak adına toprak iyileştirme, gübreleme planlaması, cep teras uygulamaları, organik madde takviyesi gibi destekleyici önlemlerin hayata geçirilmesi gereklidir.

Çizelge 11. Riskli Yüksek Rakımlı Mahallelerde Fındık Üretimi (>750 m)

Mahalle	Rakım Aralığı (m)	Fındık Dikili Alan (da)	İlçe Toplamına Oranı (%)
Çamlıyurt	785-2331	1104.9	7.59
Kılıçlı	674-1858	376.3	2.58
Demirciler	710-2137	1784.8	12.26
Oymalı	599-1773 (kısmi)	1221.3 (riskli alan oranı yüksek)	8.39
Tepeköy	622-1308 (kısmi)	353.9 (riskli alan katkısı yüksek)	2.43
Maden	564-1671 (kısmi)	416.2 (riskli alana dâhil)	2.86
Tandırılı	509-1632 (kısmi)	405.9 (riskli alana dâhil)	2.79
Özdil	519-1557 (kısmi)	762.3 (riskli alan katkısı yüksek)	5.24
Ocak	456-1663 (kısmi)	484.0 (riskli alan katkısı var)	3.32
Toplam (Riskli)	>750 m veya risk katkılı	7739.1 da (tahmini)	%53.13

Çizelge 11 incelendiğinde, fındık üretiminin özellikle yüksek rakımlı alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, Yomra ilçesindeki topoğrafik ve iklimsel koşulların üretim üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, gençleştirme programları, yeniden dikim sahaları ve destekleme stratejileri planlanırken mutlaka bu tür mekânsal analizler göz önünde bulundurulmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Fındık Tarımında Mekânsal Planlama ve Gençleştirme Stratejileri

Yomra ilçesinde gerçekleştirilen detaylı arazi analizleri ve ÇKS kayıtlarıyla yapılan mekânsal değerlendirmeler, fındık üretim alanlarının önemli bir kısmının yüksek rakımlı ve topoğrafik açıdan dezavantajlı sahalarda yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bu durum, sadece tarımsal verimliliği değil, aynı zamanda ürün kalitesini, hasat zamanlamasını ve pazarlama sürecini de doğrudan etkilemektedir. Özellikle 750 metre üzerindeki mahallelerde yürütülen üretim faaliyetleri, iklimsel istikrarsızlık, düşük toprak sıcaklığı, don riski ve su stresine daha açık olması nedeniyle üretici açısından yüksek risk barındırmaktadır.

Bu bağlamda, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için mekânsal planlama temelli yaklaşımlar büyük önem arz etmektedir. Özellikle Demirciler, Çamlıyurt, Kılıçlı, Tepeköy, Oymalı, Maden ve Tandırılı gibi mahallelerde fındık bahçeleri için gençleştirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi gerekmektedir. Bu bölgelerdeki plantasyonların büyük çoğunluğu ekonomik ömrünü tamamlamış ve toprak-tesis uyumu açısından zayıf olan bahçelerden oluşmaktadır. Bu nedenle yeni tesis kurulumu sırasında rakım sınırları, eğim durumu, toprak grubu ve bakı yönü mutlaka dikkate alınmalıdır.

Planlamaya entegre edilmesi gereken bir diğer stratejik yaklaşım, toprak ve su yönetimine dayalı üretim modeli geliştirilmesidir. Özellikle yüksek kotlarda toprak organik madde içeriğinin yetersiz olması ve sığ profillerin yaygınlığı, bitki beslenmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu alanlarda organik gübreleme, yeşil gübreleme, malçlama ve mikro besin element takviyesi gibi uygulamalar üretim verimliliğini destekleyebilir.

Ayrıca drenaj eksikliklerinin giderilmesi, cep teras uygulamaları, gölgeleme ve mikro-klima iyileştirmeleri, yüksek kotlarda üretimi sürdürülebilir kılmak açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle Cep teras ve kademeli dikim sistemleri, hem erozyon kontrolü sağlamakta hem de ocak sisteminin düzenli gelişimine katkı sunmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, Yomra ilçesinde fındık üretiminin uzun vadeli planlanması, sadece ekonomik değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle birlikte ele alınmalıdır. Mekânsal veri analizleri ile

desteklenen bu stratejiler, fındık üretim potansiyelinin rasyonel kullanımını sağlamakta ve yerel tarım politikalarına bilimsel dayanak oluşturmaktadır.

4.2. Yomra'nın Tarımsal Yapısında Fındığın Yeri

Trabzon'un doğusunda yer alan Yomra ilçesi, Karadeniz Bölgesi'nin karakteristik topoğrafik ve iklimsel özelliklerini taşıyan bir yerleşim birimi olup, tarımsal üretimde özellikle fındık tarımıyla öne çıkmaktadır. İlçede topoğrafik yapının engebeli, tarım arazilerinin parçalanmış ve dağınık olması, tarımsal faaliyetlerin büyük ölçüde sınırlı kalmasına neden olmakta; bu durum, fındık gibi çok yıllık, düşük bakım maliyetli ve eğimli alanlarda yetiştirilebilen ürünlerin tercih edilmesini zorunlu kılmaktadır (Doğan ve ark., 2025).

Yomra, yıllık ortalama 14-15°C sıcaklık ve 1000 mm'nin üzerinde yağış miktarıyla, fındık yetiştiriciliği için ekolojik olarak uygun bir mikro-klimaya sahiptir (Karadeniz ve ark., 2008). Ancak rakımsal farklılıklar ve eğim koşulları, hem üretim desenini hem de verimlilik düzeylerini etkilemektedir. İlçedeki 0-250 metre rakım aralığına sahip mahallelerde üretim verimliliği yüksek, fakat parseller küçük ve dağınık iken; 750 metre üzerindeki alanlar, fındık tarımı açısından iklimsel risklerin ve verim kayıplarının daha fazla olduğu bölgelerdir.

Yapılan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) destekli analizler, ilçedeki tarım alanlarının büyük çoğunluğunun Arazi Kullanım Kabiliyeti VI. ve VII. sınıf olduğunu ortaya koymuştur. Bu sınıflar, erozyona açık, sığ ve eğimli arazileri ifade etmekte; dolayısıyla mekanik tarımı sınırlandırmakta ve geleneksel fındık üretimini bölge için kaçınılmaz kılmaktadır. Mahalle bazında yapılan mekânsal sınıflamalar, fındık üretiminin rakımsal dağılım, toprak derinliği, bakı yönü ve toprak grubu gibi fiziki faktörlere doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir.

Mahalle bazlı mekânsal sınıflandırmalar ve üretim örüntüsü:

- Alçak kotlu mahalleler (0-250 m): Sancak, Kaşüstü, İkisu, Çınarlı - Verim yüksek, ancak arazi parçalanmışlığı fazla.
- Orta kot mahalleler (250-500 m): Kayabaşı, Kömürcü, Yokuşlu - Orta düzeyde verimlilik, bakım faaliyetlerine duyarlı yapı.
- Yüksek kot mahalleler (750 m üzeri): Demirciler, Çamlıyurt, Oymalı, Kılıçlı - İklimsel risk yüksek, gençleştirme öncelikli bölgeler.

ÇKS verileri de ilçedeki üretim yapısının küçük ölçekli aile işletmeleri ağırlıklı olduğunu doğrulamaktadır. İlçede fındık dikili parsellerin %53.1'i 750

metre üzerindeki “riskli” alanlarda yer almakta olup, bu durum politik müdahaleler gerektiren bir yapısal sorunu ortaya koymaktadır.

Yomra’da Fındık Dikili Alanların Dağılımı (%): 0-1 dekar: %5 1.1-5 dekar: %17 5.1+ dekar: %21. Bu dağılım, işgücü yoğun bir üretim modelinin yaygınlığını, mekanizasyona geçişin kısıtlılığını ve ekonomik ölçek sorununu açıkça ortaya koymaktadır. Arazi parçalanması, sadece üretim verimliliğini değil aynı zamanda tarımsal sürdürülebilirliği de tehdit etmektedir.

Yomra ilçesinde fındık üretiminin geleceği, alan bazlı planlama yaklaşımlarıyla şekillendirilmeli ve her mahallenin coğrafi yapısına uygun stratejiler geliştirilmelidir. Bu bağlamda:

- Gençleştirme projeleri, özellikle yüksek rakımlı ve düşük verimli mahallelerde öncelikli olmalıdır.
- Toprak ıslahı, organik gübreleme ve drenaj yönetimi, fiziki kısıtların azaltılmasında etkili olacaktır.
- Kooperatifleşme ve tarımsal toplulaştırma politikaları, ekonomik ölçek sorunlarının aşılmasında yol gösterici olacaktır.
- CBS destekli üretim planlamaları, mekânsal karar destek sistemlerinin yerel kalkınmadaki rolünü güçlendirmelidir.

Yomra ilçesi fındık üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir; ancak bu potansiyelin sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulabilmesi için veri temelli mekânsal planlama, üretici destek politikaları ve ekosistem temelli tarım stratejileri bir arada düşünülmelidir.

4.3. Yomra İlçesinde Fındık Üretiminde Yapısal Durum, Sorunlar ve Verimlilik Perspektifi

Trabzon ili, Türkiye’nin Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer almakta olup, sahip olduğu ekolojik koşullar nedeniyle uzun yıllardır fındık üretiminin yoğunlaştığı önemli tarım merkezlerinden biridir. Nemli ve ılıman iklim koşulları, fındık bitkisinin biyolojik gereksinimlerini karşılamakta; bu durum da Trabzon’u, Türkiye fındık üretiminde stratejik bir konuma taşımaktadır (Karadeniz ve ark., 2008; Cristofori ve ark., 2014). Ancak bölgesel ölçekte ele alındığında, her ilçenin üretim yapısı, arazi özellikleri ve sorunları farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, Yomra ilçesi; topografik yapısı, arazi kullanımı ve mikroklimatik özellikleriyle Trabzon’un fındık üretiminde özgün bir yer tutmaktadır.

Yomra ilçesi, toplamda yaklaşık 19985,05 hektarlık yüzölçümüne sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2023), Mera Bilgi Sistemi (2024) ve Orman Bölge Müdürlüğü verilerine göre ilçedeki arazilerin %41'i orman ve fundalık, %32'si tarım alanı, %8'i çayır, mera ve otlak, %19'u ise tarım dışı alanlardan oluşmaktadır. İlçenin arazi kullanım deseni, tarımsal faaliyetlerin hâlâ önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Trabzon ilinin tarım alanlarının yaklaşık %7.5'i Yomra ilçesi sınırlarında yer almakta olup, bu oran ilçenin üretim kapasitesi açısından dikkate değer bir düzeydir.

Yomra'da birim alandan elde edilen fındık verimi, ülke ortalamasının altında seyretmektedir. Bu düşüklüğün başlıca nedenleri; yaşlanmış fındık bahçelerinin varlığı, bakım uygulamalarındaki yetersizlik, toprak analizine dayanmayan gübreleme uygulamaları, toprak organik madde eksikliği, sıkışıklık ve sulama altyapısının zayıflığıdır (Kurt, 2004; Tonkaz ve Bostan, 2010). İlçede geleneksel üretim yöntemlerinin hâkim olması ve mekanizasyonun sınırlı düzeyde kullanılması da üretim verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

Budama, toprak işleme, gübreleme, zararlılarla mücadele gibi kültürel uygulamaların sistematik yapılmaması, ürün kalitesinde istikrarsızlığa yol açmakta; verim kayıplarına neden olmaktadır. Öte yandan, Yomra'da yetiştirilen fındık çeşitleri arasında Yomra Sivrisi (Yomralı), Foşa ve Mincane gibi standart çeşitler öne çıkmakta, bu çeşitlilik genetik açıdan bir avantaj sağlasa da verim düzeyleri arasında farklılıklar oluşturmaktadır (Kurt ve Güler, 2018).

Sürdürülebilir fındık üretimi için yaşlı bahçelerin gençleştirilmesi, toprak analizlerine dayalı gübreleme programlarının uygulanması ve modern üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir (Trabzon İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2014). Podzolik ve düşük organik maddeli toprakların yaygınlığı dikkate alındığında, toprak ıslahı, organik gübre kullanımı ve yeşil gübreleme gibi uygulamalar, verimliliği artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Fındık üretiminde karşılaşılan temel sorunlar, üç ana başlıkta toplanmaktadır:

- **Üretim Sürecine İlişkin Yapısal Sorunlar:** Eski bahçelerin yüksek periyodisite göstermesi, toprak yorgunluğu ve fizyolojik dengesizlikler üretimde dalgalanmalara yol açmaktadır. Ayrıca

üreticilerin büyük çoğunluğu bahçelerinin yaşını bilmemekte, yenileme faaliyetleri sınırlı kalmaktadır.

- **Yasal ve Mülkiyet Sorunları:** Miras yoluyla arazi parçalanması, işletme büyüklüğünü küçültmekte; bu durum da mekanizasyona geçişi zorlaştırmaktadır. Küçük ve dağınık parseller, tarımsal verimliliği düşürmekte, çiftçilerin geçimlik üretim modeline yönelmesine neden olmaktadır (Kurt, 2004, Doğan ve ark., 2025).
- **Pazarlama Zincirindeki Aksaklıklar:** Türkiye, dünya fındık üretiminde lider olmasına rağmen fiyat belirleyici olamamakta; ihracatçılar arası rekabet iç piyasa fiyatlarını düşürmekte, üretici gelirlerini olumsuz etkilemektedir (Kurt ve Güler, 2018). Kaliteye dayalı fiyatlandırma sistemlerinin eksikliği ve örgütlenme yapısının zayıflığı, sektörde yapısal sorunlara yol açmaktadır.

Özellikle verimli tarım arazilerinin kontrolsüz şekilde fındık bahçelerine dönüştürülmesi, üretim deseninin bozulmasına yol açmıştır. 2844 sayılı yasanın öngördüğü üretim kontrolü mekanizmaları, pratikte etkili şekilde uygulanamamakta; yeni dikim alanlarının denetimi yetersiz kalmaktadır. Yomra örneğinde, bu durumun fındık üretiminin kalite düzeyini düşürdüğü gözlemlenmektedir. Alternatif ürün çeşitliliğinin teşvik edilmesi, yüksek kaliteli fındık üretimine geçişi destekleyici bir tarımsal planlama yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Yomra ilçesinde fındık üretimi, topografik koşullar, toprak sınırlılıkları ve geleneksel üretim yapısı nedeniyle sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla desteklenmelidir. Bu bağlamda, arazi toplulaştırması, gençleştirme projeleri, gübreleme planlaması ve örgütlü üretim modelleri gibi stratejiler öncelik kazanmalıdır. Aynı zamanda, pazarlama zincirinde etkin üretici birlikleri kurulmalı; kalite bazlı fiyatlandırma sistemleri yaygınlaştırılmalıdır. Dış pazar koşullarına göre yeniden yapılandırılmış bir ihracat stratejisi, Türk fındığının rekabet gücünü artıracaktır.

4.4. Fındık Tarımında Stratejik Müdahale Bölgeleri

Yomra ilçesindeki fındık üretiminin mekânsal dağılımı dikkate alındığında, tarımsal verimlilik açısından farklılaşan mahalle gruplarına özel müdahale stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir. Arazinin yükselti, eğim, toprak yapısı ve kullanım kabiliyeti gibi niteliklerine göre her bölgenin ihtiyaç

duyduğu uygulamalar farklılık arz etmektedir. Bu doğrultuda, üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla mahalle bazlı stratejik müdahale alanları aşağıda sunulmuştur:

- Yüksek Rakımlı ve Riskli Alanlar (≥ 750 m): Çamlıyurt, Demirciler, Oymalı, Kılıçlı, Özdil, Maden, Tepeköy, Tandırlı, Ocak Bu mahallelerde don riski, geç olgunlaşma ve toprak yorgunluğu gibi problemler ön plandadır. Bu nedenle:
 - ✓ Bahçelerin gençleştirilmesi,
 - ✓ Cep teras ve drenaj uygulamalarının yaygınlaştırılması,
 - ✓ Organik madde takviyesi ve mikro besin element gübrelemesi,
 - ✓ İklim adaptasyonu yüksek(geç yapraklanan) çeşitlerin tercih edilmesi önerilmektedir.
- Geçiş Zonundaki Mahalleler (500-750 m): Taşdelen, Pınarlı, Gülyurdu, Kıratlı, Yenice, Kömürcü, Kayabaşı Bu alanlar üretim için potansiyel taşımakla birlikte sürdürülebilirliği risk altındadır (Çizelge 12).
- Müdahale önerileri:
 - ✓ Toprak analizlerine dayalı gübreleme planlaması,
 - ✓ Bakım faaliyetlerinin modernleştirilmesi,
 - ✓ Hasat sonrası işlemlerde standardizasyonun artırılmasıdır.

Çizelge 12: Yomra ilçesi fındık tarımında stratejik müdahale bölgeleri

Mahalle Grubu	Rakım Aralığı	Karşılaşılan Başlıca Sorunlar	Önerilen Müdahale Stratejileri
Yüksek Rakımlı Alanlar	≥ 750 m	Don riski, geç olgunlaşma, toprak yorgunluğu, düşük organik madde, düşük verim	Gençleştirme, cep teras uygulamaları, organik gübreleme, drenaj sistemleri, geç yapraklanan çeşit seçimi
Geçiş Zonundaki Alanlar	500-750 m	Verim dalgalanmaları, bakım eksiklikleri, toprak yorgunluğu	Toprak analizine dayalı gübreleme, bakım takvimi düzenlemesi, mekanizasyona uygun uygulamalar
Düşük-Orta Rakımlı Alanlar	< 500 m	Kalite standardı eksikliği, pazara erişim zorlukları	Yüksek verimli çeşitlerin yaygınlaştırılması, yoğun bakım uygulamaları, pazarlama zinciri entegrasyonu

- Düşük ve Orta Rakımlı Üretim Alanları (< 500 m): Kaşüstü, Sancak, Namıkkemal, İkisü, Çınarlı, Gürsel, Şanlı, Yokuşlu Bu mahalleler daha stabil iklim koşullarına sahip olup kalite odaklı üretim stratejileri için uygundur. Bu alanlarda:
 - ✓ Yüksek verimli çeşitlerin yaygınlaştırılması,

- ✓ Yoğun bakım takvimi uygulamaları (budama, gübreleme, ilaçlama),
- ✓ İhracat kalitesine uygun üretim planlaması yapılmalıdır.

Bu stratejik sınıflandırma, tarımsal desteklemelerin hedeflenmesi, eğitim programlarının planlanması ve üretim altyapısının geliştirilmesi açısından yol gösterici bir rehber niteliğindedir. Ayrıca, mekânsal farklılıkların dikkate alındığı bu yaklaşım, bölge üreticilerinin verim ve kalite açısından daha sürdürülebilir bir üretim modeli benimsemelerine olanak sağlayacaktır.

4.5. Yomra İlçesi Mahalle Bazlı SWOT (GZFT) Analizi ile Fındık Tarımı Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Yomra ilçesi, coğrafi konumu, topoğrafik yapısı, iklimsel özellikleri ve tarımsal kullanım deseniyle bölgesel fındık üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi, yalnızca fiziki arazi nitelikleriyle sınırlı olmayıp, mahalle bazında üretim koşullarının stratejik olarak analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, ilçede fındık tarımı yapılan mahallelerin güçlü ve zayıf yönleri ile tarımsal gelişime açık fırsatlar ve karşı karşıya kalınan tehdit unsurları SWOT (GZFT) analizi yaklaşımıyla değerlendirilmiştir (Çizelge 13).

Çizelge 13: Yomra ilçesi mahalle bazlı SWOT (GZFT) analizi

Mahalle	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
Kaşıüstü	Düşük rakım, kolay ulaşım, yüksek tarım altyapısı	Kentsel baskı, toprak yorgunluğu	Modern tarıma geçiş, gençleştirme projeleri	Kentsel yayılma, tarım dışı kullanım baskısı
Sancak	Düşük-orta rakım, geleneksel üretim deneyimi	Toprak erozyonu riski, bakım yetersizliği, kentsel baskı	Toprak yönetimi ile verim artışı	Aşırı yağış, verim kaybı, kentsel baskı
Namıkkemal	Nitelikli tarım alanları, iyi erişilebilirlik	Parçalı araziler, düşük üretici motivasyonu, kentsel baskı	Kırsal kalkınma projeleri	Miras yoluyla arazi parçalanması, kentsel baskı
İkisu	Geniş fındık dikili alan, orta rakım, iyi iklim avantajı	Eğimli arazi, organik madde eksikliği	Sulama yatırımları, gübreleme planlaması	Toprak yıkanması, zararlılar
Çınarlı	Düşük rakım, verimli toprak yapısı	Parçalı arazi yapısı	Modern üretim sistemlerine geçiş	Aşırı nem ve hastalık riski
Gürsel	Güney bakı, ılıman mikroklima	Sığ toprak profili, bakım eksiklikleri	Kaliteli fındık üretim potansiyeli	Yetersiz gübreleme ve tozlayıcı eksikliği
Şanlı	Uygun bakı ve eğim	Rakımsal değişkenlik, yaşlı bahçeler	Gençleştirme ve çeşitlendirme projeleri	İklim kaynaklı verim dalgalanmaları
Pınarlı	Geniş arazi, fındık dikili alan potansiyeli	Yüksek rakım (>750 m), don riski	Alternatif ürün çeşitliliği, iklim adaptasyonu	Toprak erozyonu, düşük sıcaklık
Gülyurdu	Güneybakı, geniş fındık alanı	Mekanizasyon zorluğu, bakım eksiklikleri	Eğitim destekli verim artırımı	Zararlılar ve hastalık baskısı

Taşdelen	Yüksek dikili alan, geleneksel üretim bilgisi	Yüksek eğim, sığ toprak, erişim zorlukları	Erozyon kontrol tekniklerinin uygulanabilirliği	Don riski, iklim stresleri
Yenice	İyi bakım yapılmış bahçeler, orta rakım	Miras kaynaklı küçük parseller	Sulama yatırımı	Kurak dönemlerde su stresi
Kayabaşı	Ilıman bakı, orta eğim	Eğim nedeniyle tarımsal makine kullanımı sınırlı	Teraslama ile verim artırımı	Aşırı yağış kaynaklı toprak kaybı
Kömürcü	Yeterli ÇKS verileri, yaygın üretim	Bakı yönü dezavantajlı	Teknik destek projeleri ile dönüşüm	Hastalık yayılımı, erozyon ve toprak kaybı riski
Yokuşlu	Orta rakım, uygun iklim	Parçalı arazi yapısı, bakım eksikliği	Kooperatifleşme ve toplulaştırma	Erozyon ve düşük verim riski
Çamlıyurt	Geniş arazi varlığı, yoğun fındık alanı	Yüksek rakım (>750 m), düşük sıcaklık toleransı	İklim uyumlu çeşitlerle dönüşüm	Don zararı, yapraklanma riskleri
Kılıçlı	Geleneksel üretim bilgisi	Eğim ve rakım dezavantajı, genç nüfus eksikliği	Alternatif tarım projeleri	İklim riskleri ve toprak sorunları
Demirciler	Yaygın fındık üretimi, yüksek arazi varlığı	Don ve erozyon riski yüksek	Gençleştirme programları, çeşit geliştirme	Aşırı yıkanma ve su stresi
Oymalı	Uygun üretim bakı yönü	Sığ toprak yapısı, yaşlı bahçeler	Organik üretime geçiş fırsatı	Toprak hastalıkları, don riski
Tepeköy	Tarıma uygun eğim	Yüksek eğim ve toprak yorgunluğu	Fındık dışı ürün alternatifi geliştirilebilir	Don zarar riski

Çizelge 13: Yomra ilçesi mahalle bazlı SWOT (GZFT) analizi (devamı)

Mahalle	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
Maden	ÇKS destekli üretim	Tarımsal altyapı eksikliği	Eğitim projeleri ile teknik gelişim	Fındık randıman düşüklüğü, don riski
Tandırılı	Geleneksel üretim bilgisi	Toprak bakım zayıflığı	Toprak iyileştirme projeleri	Besin kaybı, erozyon Don riski
Özdil	Geniş üretim alanı, uygun bakı yönü	Sığ toprak profili, yaşlı bahçeler	Sulama altyapı projeleri	Kurak dönem riski, Don riski
Kırathı	Güney bakı, mikroklima avantajı	Arazi parçalanması	Kooperatifleşme fırsatları	Zararlılar ve hastalık riski, Don riski
Ocak	Yüksek fındık verimi	Bakı dezavantajı	Çeşit seçimi ve gübreleme planlaması	Toprak yıkanması, Don riski

Öte yandan, ilçede hâlen sürdürülen geleneksel bilgi birikimi, üreticilerin deneyimi ve Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) kapsamındaki destekli alanlar, modern tarım uygulamalarına geçişte önemli fırsatlar sunmaktadır. Kooperatifleşme, gençleştirme projeleri, teraslama, entegre zararlı yönetimi ve sürdürülebilir gübreleme stratejileri gibi uygulamalar; her bir mahallenin koşullarına göre planlandığında, bölge tarımının geleceğini şekillendirecek önemli dönüşüm hamleleri olabilir.

Bu kapsamda yapılan SWOT analizi, yerel yönetimler, tarım ilçe müdürlükleri ve üretici örgütleri için hedef odaklı müdahale planlarının geliştirilmesine rehberlik edecek stratejik bir veri seti sunmaktadır. Analiz bulguları, tarım politikalarının mahalle ölçeğinde detaylandırılması, kırsal

kalkınma programlarının etkinleştirilmesi ve sürdürülebilir fındık tarımı için farklılaştırılmış destekleme modellerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Tarımsal Politika Önerileri: Bu çalışma, Yomra ilçesinin fındık üretim potansiyelini coğrafi, topografik ve tarımsal veriler ışığında çok boyutlu biçimde değerlendirmiştir. Arazi Kullanım Kabiliyeti (AKK), eğim, toprak derinliği, bakı yönü, büyük toprak grupları, yükselti sınıflamaları ve meteorolojik faktörler, ilçedeki fındık üretiminin mekânsal dağılımını ve sürdürülebilirliğini belirleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Özellikle AKK analizinde VI. ve VII. sınıf arazilerin yaygınlığı, fındık dışı tarımsal üretimi sınırlamakta; geleneksel fındık tarımını bölge için bir zorunluluk haline getirmektedir. Eğim ve toprak derinliği sınıfları birlikte değerlendirildiğinde, yüksek eğimli ve sığ profilli arazilerin mekanize tarımı kısıtladığı; üretimin büyük oranda insan emeğine dayalı sürdürüldüğü görülmektedir. Bakı yönü analizleri ise güney bakılı yamaçların yüksek verim potansiyeline sahip olduğunu; kuzey bakılı alanlarda ise olgunlaşma sürecinin uzadığını göstermektedir.

Toprak sınıflamaları bağlamında, podzolik toprakların %84.67 oranla baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu toprakların organik maddece fakir yapısı, bitki besleme stratejilerinin dikkatle planlanmasını gerektirmektedir. Aynı zamanda gley toprakların yaygın olduğu alanlarda ise drenaj eksikliği nedeniyle toprak hava-su dengesi bozulmakta, bu da kök gelişimini ve verimi olumsuz etkilemektedir.

Yükselti analizinde, ilçenin %57.7'sinin 750 metre üzeri riskli kuşakta yer aldığı saptanmıştır. Bu bölgelerde geç olgunlaşma, verim düşüklüğü ve don zararları üretim risklerini artırmaktadır. Yapılan ÇKS analizleriyle, bu yüksek rakımlı alanlarda beyan edilen fındık dikili alan oranı %53.1'e ulaşmıştır. Bu oran, iklimsel risk faktörlerine rağmen fındık tarımının yüksek kotlara da yayılmış olduğunu ve bu alanlar için özel destekleme stratejilerinin gerekliliğini göstermektedir.

Yomra ilçesinin iklimsel verileri, yıllık ortalama sıcaklığın 14.8°C ve toplam yıllık yağışın 829-1000 mm arasında olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yüksek eğimli mahallelerde yağış miktarı 2000 mm'ye kadar ulaşmakta ve bu da hem toprak yıkanması hem de drenaj sorunları açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır. İlkbaharda artan nem ve yağışlı gün

sayısı, fındıkta fungal hastalıkların yayılmasını kolaylaştırmakta; yaz aylarında ise düşük yağış, kuraklık stresi riskini artırmaktadır.

Bu bütüncül değerlendirmeler ışığında, sürdürülebilir fındık üretimi için aşağıdaki stratejik politika önerileri geliştirilebilir:

- ✚ Gençleştirme ve Yenileme Çalışmaları: Yomra ilçesinin tüm genelinde yaşlı bahçelerin gençleştirilmesi, verimli çeşitlerin yaygınlaştırılması ve mekanizasyona uygun arazi düzenlemeleri öncelikli hale getirilmelidir
- ✚ Toprak Yönetimi ve Besleme Stratejileri: Organik maddece fakir podzolik ve drenaj sorunlu gley topraklarda organik gübreleme, yeşil gübreleme ve toprak ıslah projeleri yaygınlaştırılmalı; mahalle bazlı toprak analizlerine dayalı gübreleme planları hazırlanmalıdır.
- ✚ Mekânsal Tarım Planlaması: Rakım, bakı ve eğim faktörleri dikkate alınarak mahalle bazlı tarımsal planlamalar yapılmalı, riskli alanlarda mikro-klima düzenlemeleri, geç olgunlaşan çeşitler ve cep teras uygulamaları gibi alternatif yöntemler teşvik edilmelidir.
- ✚ Sulama ve Drenaj Altyapısı: Yaz kuraklığının etkili olduğu alanlarda damla sulama sistemleri desteklenmeli, yüksek yağış alan eğimli mahallelerde ise erozyon kontrol yapıları ve drenaj hatları kurulmalıdır.
- ✚ Eğitim, Yayım ve Teknik Destek: Üreticilere yönelik sürekli eğitimlerle modern tarım teknikleri, hastalık-zararlı mücadele yöntemleri ve iklim risk yönetimi konularında farkındalık artırılmalıdır.
- ✚ Kooperatifleşme ve Arazi Toplulaştırması: Parçalı arazi yapısı ve küçük ölçekli üretim birimlerinin yarattığı verimsizliklerin önüne geçilmesi için arazi toplulaştırma projeleri ve üretici birliklerinin desteklenmesi önem arz etmektedir.
- ✚ Veri Tabanlı Tarım Politikaları: Mahalle bazlı mekânsal veriler, ÇKS kayıtları ve harita analizleri entegre edilerek destekleme modelleri farklılaştırılmalı; coğrafi önceliklere dayalı tarımsal politika setleri oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışmada ortaya konan mekânsal analizler ve tarımsal değerlendirmeler, Yomra ilçesinde fındık üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla bilimsel temelli karar destek mekanizmalarının

geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yerel üretim planlamalarının sadece üretim artışını değil, aynı zamanda doğal kaynak koruma, üretici refahı ve kırsal kalkınma hedeflerini gözeterek yapılandırılması gereklidir.

Teşekkür: Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından **FYL-2024-11175** nolu proje olarak desteklenmiştir. Çalışmanın yürütülmesinde desteklerinden dolayı BAP birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Atmaca, B., & Cüce, M. (2023). Kelkit Vadisi'nde ceviz yetiştiriciliğine uygun alanların tespitinde coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanımı: Giresun ili Şebinkarahisar ilçesi örneği. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2), 561-582.
- Cristofori, V., Roupshael, Y., Mendoza-de Gyves, E., & Bignami, C. (2014). Hazelnut cultivation and training systems. *Scientia Horticulturae*, 169, 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.003>
- Dengiz, O., Özdemir, N., Öztürk, E., & Yakupoğlu, T. (2009). Doğu Karadeniz Bölgesi Fındık Arazilerinin Tarımsal Kullanıma Uygunluk Sınıflarının Belirlenmesi, Pilot Çalışma; Ünye-Tekiraz Beldesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(3), 174-183.
- Doğan, A., Kurt, U. K., Kurt, H., Sarğın, B. (2025). Miras yoluyla parçalanmış tarım arazilerinin geleceği: Yomra örneğinde toplulaştırma zorunluluğu. In 7th International Anatolian Scientific Research Congress (pp. 207–221).
- Everest, T. (2021). Suitable site selection for pistachio (*Pistacia vera*) by using GIS and multi-criteria decision analyses (a case study in Turkey). *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 7686-7705.
- FAO. (2023). *Food and Agriculture Organization Statistics*. <https://www.fao.org> (Erişim tarihi: 25.03.2025).
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.
- Günay, S. (2007). Türkiye'de Ekolojik Fındık Tarımının Başlaması ve Etkileri Üzerine Bir Örnek: Çamlıca Köyü (Samsun). *Ekoloji*, 16(63), 7-15.
- Karaca, S., Sarğın, B., & Türkmen, F. (2019). Bazı Arazi ve Toprak Niteliklerinin Coğrafi Bilgi Sistem Analizleriyle İncelenmesi: Van İli Arazi ve Toprak Özellikleri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 199-205. <https://doi.org/10.19159/tutad.542543>
- Karadeniz, T., Bostan, S. Z., Tuncer, C., & Tarakçıoğlu, C. (2008). *Fındık Yetiştiriciliği* (Bilimsel Yayınlar Serisi Yayın No: 1). Ordu: Ordu Üniversitesi Yayınları.

- Kıcıman, A. (2021). *Orta Karadeniz Coğrafi Bölgesi'nde Mevsimsel İklim Değişikliklerinin Toprak Erozyon Duyarlılığı Üzerine Etkilerinin Parametrik Olarak Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Köksal, A. İ. (2002). *Turkish hazelnut cultivars*. Ankara: Hazelnut Promotion Group.
- Kurt, H. (2004). Fındığın üretim ve pazarlama aşamasındaki sorunları. 3. Milli Fındık Şurası Bildirileri, 3, 158-162. Giresun: 10-14 Ekim.
- Kurt, H., & Güler, S. (2018). Anadolu coğrafyasında geçmişten günümüze fındık. *Bahçe*, 47(Özel Sayı 2), 317-327.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based multicriteria decision analysis: a planning support system for regional tourism development. *Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Mehlenbacher, S. A. (1991). Hazelnuts (Corylus). In *ISHS Acta Horticulturae 290: Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1991.290.18>
- MGM. (2025). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler*. (Erişim tarihi: 10.02.2025).
- Özbek, S. (1978). *Özel Meyvecilik* (Yayın No: 128, Ders Kitabı: 11). Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını.
- Özyazıcı MA, Aydoğan M, Bayraklı B, Dengiz O, 2013. Doğu Karadeniz bölgesi kırmızı-sarı podzolik toprakların temel karakteristik özellikleri ve verimlilik durumu. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 28(1): 24-32.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). *Fındık Bahçelerinde Yenileme ve Gençleştirme El Kitabı*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları.
- Tercan, E., & Dengiz, O. (2022). Determination of rice (*Oryza sativa* L.) site suitability using multi-criteria decision-making based on the best-worst method. *Geocarto International*, 37(27), 15982-15998.

- Tonkaz, T., & Bostan, S. Z. (2010). Giresun ili standardize yağış indeksi değerlerinin fındık verimi ile ilişkilerinin incelenmesi. I. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Kongresi Bildirileri, 362-369.
- Trabzon İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü. (2014). *Trabzon İli Tarımsal Raporu*. Trabzon, İl Müdürlüğü Yayını.
- TÜİK. (2024). *Türkiye İstatistik Kurumu Tarımsal Verileri*. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12-25.03.2025).
- Ustaoğlu, B., & Karaca, M. (2014). The effects of climate change on spatiotemporal changes of hazelnut cultivation areas in the Black Sea Region, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12, 309-324.
- Ünal, E., Aydoğdu, M., Ceylan, N., Sezer, A., Özenç, N., & Duyar, Ö. (2010). Giresun İlinde Fındık Alanlarının Uzaktan Algılama ile Tespit Edilmesinde Arazi Topografyasının Etkisinin İncelenmesi ve Alternatif Tarım Ürünlerine Uygunluğunun Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 1-10.
- Yaltırık, F. (1988). *Türkiye'nin doğal fındık türleri ve orman fındıkları*. Orman Bakanlığı Yayınları. İstanbul.
- Yomra Tarım ve Orman İl Müdürlüğü. (2024). *Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) Verileri*.
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Trabzon: Seçil Ofset.
- UR-1: <https://earthexplorer.usgs.gov>

BÖLÜM 18

BİTKİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE AGROEKOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇANDAR¹
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur ŞAVKAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779495>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir, Türkiye. ayse.candar@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2385-5602.

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye. ayse.cetin@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0826-1243.

GİRİŞ

Agroekoloji, en basit tanımıyla, tarımda ekolojik prensiplerin uygulanmasıdır. Ancak bu kavram oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir; zira hem tarım hem de ekoloji dinamik alanlardır ve küresel gıda sisteminin sürdürülemez olduğuna dair artan kanıtlar ışığında hızla değişim geçirmektedir. Mevcut tarım uygulamaları, iklim değişikliğinin (Campbell vd., 2017) ve diğer küresel sınırların aşılmasının (Steffen vd., 2015) önemli sebeplerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ekoloji, hem bir bilim dalı (Tansley, 1935) hem de çevre koruma ile ilgili siyasi hareketleri (Sills, 1975) tanımlamaktadır. Tarım ise, bilimsel bir disiplin olmaktan ziyade, insanların gıda üretimi için çeşitli bilim alanlarını içeren bir konu odaklı uygulamalar bütünüdür (Spedding, 1996).

"Agroekoloji" terimi ilk kez Bensin'in (1928, 1930) iki bilimsel çalışmasında ve daha sonra Gliessman (2007) ile Warner'ın (2007a) eserlerinde yer almıştır. Son yıllarda agroekoloji terimi, bilimsel literatürde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Web of Science veritabanında agroecolog* veya agro-ecolog* terimlerinin kullanımı 1991 yılında altı iken, 2007'de bu sayı 141'e yükselmiştir. Bu durum, tarım ve gıda sistemlerinde yeni bilgi ve bakış açıları için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

1980'lerin başında agroekoloji, sürdürülebilir tarıma bir alternatif ve Yeşil Devrim'in getirdiği monokültürleşme, sanayileşme ve kurumsal gıda egemenliğine karşı bir direniş biçimi olarak ortaya çıkmıştır (Altieri, 1995; Gliessman, 2013). Terim başlangıçta ekolojik ilkelerin tarımsal üretime uygulanması olarak tanımlanırken, 1990'ların sonunda kapsamı tüm gıda sisteminin ekolojisini kapsayacak şekilde genişlemiştir (Francis vd., 2003). Bu dönüşüm, üreticiler ve tüketiciler arasındaki ilişkileri yeniden inşa etmeyi, aracı sistemlerin olumsuz etkilerini azaltmayı ve adil, erişilebilir, ilişkiye dayalı pazarlar geliştirmeyi amaçlamıştır. Gıda sistemini dönüştürmek için benimsenen bu yaklaşım sadece teknik değil, aynı zamanda politik-ekonomik güç yapılarına da meydan okumayı içermektedir (Gliessman, 2007; IPES-Food, 2016). Bu bağlamda "Agroekolojik hareket nedir?" sorusunun yanıtı henüz kesin olmamakla birlikte, ülkeden ülkeye önemli farklılıklar göstermektedir. Brezilya'da agroekolojik hareket, gıda güvenliği, egemenlik ve özerklik için mücadele eden bir çiftçi grubu ya da kırsal kalkınma amacı güden yerel halkın daha politik bir hareketi olarak ortaya çıkabilirken;

ABD’de ise daha çok uzmanlaşmış tarımsal üretim sistemleri içinde ekolojik ve çevresel sorunlara daha etkili yanıtlar vermek amacıyla sosyal ortaklıklar aracılığıyla alternatif tarımı geliştirmeye yönelik bir çiftçi grubu hareketi şeklinde kendini göstermektedir. Bu hareketler, açıkça eylem odaklıdır ve genel olarak sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir tarım gibi daha geniş ortak hedeflere yanıt olarak gerçekleşmektedir (Wezel vd., 2009). Günümüzde ise agroekoloji; araştırma, eğitim, eylem ve değişimi birleştiren disiplinler arası, katılımcı ve eylem odaklı bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım ekolojik, ekonomik ve sosyal bileşenleri kapsamaktadır. Sürdürülebilir gıda sistemleri için bütüncül, sistem düzeyinde ekolojik düşünceye dayanmaktadır (Gliessman, 2018).

Birçok yazar, agroekoloji biliminin sürdürülebilir tarım sistemlerinin tasarımı ve yönetimi için pratik çözümler sunması gerektiğini belirtmektedir. Bu bağlamda, agroekolojinin bilimsel yönü ile çiftçiler, tüketiciler ve diğer paydaşların ihtiyaçları arasında güçlü bağlantılar kurulması önemlidir. Ayrıca, katılımcı ve çiftlik temelli yöntemlerin uygulanması ile sosyal, kültürel ve etik boyutların göz önünde bulundurulmasının da önemli olduğu ifade edilmiştir (Wetzel vd., 2009). Tarımı sürdürülebilir bir hale getirmek, yalnızca teknik bir mesele değil, aynı zamanda ekolojik, toplumsal ve kültürel düzeyde karmaşık bir zorluk olarak değerlendirilmektedir. Gliessman (2018), bu zorluğun üstesinden gelebilmek için agroekolojiye üç farklı açıdan yaklaşılması gerektiğini vurgulamıştır. İlk olarak bilimsel boyutta tarım türleriyle çevre ve doğal sistemler arasındaki ilişkileri anlamak için ekolojik bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgi, sürdürülebilir tarım sistemlerini tasarlamak ve yönetmek amacıyla modern ekoloji ilkeleriyle geliştirilmelidir. İkinci uygulama yönü ise, çiftçilerin yerel, deneysel ve geleneksel bilgilerini merkeze almakta; tarım bilgisinin üretimiyle uygulamasını birbirinden ayırmak yerine, bu ikisini bütünleştirmektedir. Son olarak toplumsal hareket ise, gıdaya erişim, dağıtım ve güç ilişkilerindeki adaletsizlikleri sorgulamakta ve bu alanlarda dönüşümü hedeflemektedir. Ancak bu üç yönün bir arada çalışması ile gerçek ve kalıcı bir gıda sistemi dönüşümünün mümkün olabileceği vurgulanmıştır (Gliessman, 2018).

Özetle, bu çalışma, agroekolojinin tanımı, temelleri, bitki yetiştiriciliğindeki agroekolojik yaklaşımları ele almaktadır. Ayrıca,

agroekolojik uygulamaların sürdürülebilirliği ve gelecekteki araştırmalar için potansiyeli de değerlendirilmiştir.

1. AGROEKOLOJİNİN TEMEL İLKELERİ

Agroekoloji, tarım bilimini ekolojik prensipler ve toplumsal hareketlerle birleştiren çok disiplinli bir alandır. Bu alan, yalnızca tarımsal üretimi değil, aynı zamanda gıda sistemlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını da içerir (Gliessman, 2018). Bu tanım, agroekolojinin tarımı bir ekosistem olarak ele aldığını ve doğal süreçlerle uyumlu bir üretim gerçekleştirmeyi hedeflediğini vurgulamaktadır. Agroekolojinin temel prensipleri, sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Birçok çalışma, agroekolojik ilkeleri farklı şekillerde tanımlamış ve bunlar Nicholls vd. (2016) tarafından; daha yakın zamanda ise FAO (2018) ve CIDSE (2018) tarafından özetlenmiştir. Bu ilkeler, tarımsal gıda sistemlerinin üretim ve ekolojik yönetimini kapsamakla kalmayıp, aynı zamanda son dönemlerde sosyal hareketlerin etkisiyle ortaya çıkan daha geniş kapsamlı sosyo-ekonomik, kültürel ve politik ilkeleri de içermektedir (HLPE, 2019). Bu bağlamda, FAO'nun agroekolojinin 10 unsuru ile sıkı bir ilişki içinde olan 13 temel agroekolojik ilke önerilmiştir (Tablo 1). Ancak, bu ilkeler, daha net bir şekilde ifade edilebilmesi için daha ayrıntılı bir hale getirilmiştir.

Tablo 1. Agroekolojinin temel prensipleri.

No	İlke Başlığı	Açıklama
1	Geri Dönüşüm	Yerel yenilenebilir kaynakların kullanılmasını ve besin ile biyokütle döngülerinin mümkün olduğunca kapatılmasını teşvik etmek.
2	Girdi Baskısını Azaltma	Dış girdilere olan bağımlılığı azaltmak veya ortadan kaldırmak.
3	Toprak Sağlığı	Organik madde yönetimi ve biyolojik aktiviteyi artırarak toprak sağlığını ve verimliliğini güvence altına almak.
4	Hayvan Sağlığı	Hayvanların sağlığını ve refahını güvence altına almak.
5	Biyçeşitlilik	Tür, genetik kaynak ve işlevsel çeşitliliği korumak; tarımsal sistemlerde zaman ve mekân ölçeğinde çeşitliliği geliştirmek.

6	Sinerji	Bitki, hayvan, toprak ve su etkileşimleri arasında sinerji oluşturarak ekosistem hizmetlerini artırmak.
7	Ekonomik Çeşitlenme	Küçük ölçekli çiftçilerin gelir kaynaklarını çeşitlendirerek ekonomik bağımsızlık ve tüketiciye yönelik esneklik sağlamak.
8	Bilginin Ortak Üretimi	Yerel ve bilimsel bilginin çiftçiler arası paylaşımıyla yatay bilgi akışını ve inovasyonu desteklemek.
9	Sosyal Değerler	Kültürel kimlik, cinsiyet eşitliği ve yerel toplum değerlerine dayalı, sağlıklı ve çeşitli beslenme biçimlerini desteklemek.
10	Adalet	Gıda üretimi ve tüketimi süreçlerinde adil çalışma koşulları, eşitlik ve sosyal içerikli ilkeleri uygulamak.
11	Bağlantı	Üretici ve tüketicileri birbirine yaklaştırarak yerel ekonomileri destekleyerek; adil ve kısa tedarik zincirlerini teşvik etmek.
12	Doğal Kaynak Yönetimi	Küçük çiftçilerin doğal ve genetik kaynakların sürdürülebilir yöneticileri olarak rollerini tanımlamak ve desteklemek.
13	Katılım	Gıda sistemlerinin yönetiminde üretici ve tüketicilerin karar alma süreçlerine katılımını artırmak.

Kaynak: Sinclair vd., 2019.

Bu temel ilkeler, agroekolojinin ekolojik ve sosyal boyutlarını bütünsel bir yaklaşımla bir araya getirerek sürdürülebilir tarımın temelini oluşturur. Ekolojik açıdan, enerji akışının ve besin döngüsünün doğal süreçlere uygun bir şekilde düzenlenmesi, toprağın sağlığını ve sistemin kendini yenileme yeteneğini korumaktadır. Bu süreçler, biyokütlenin üretimi ve yeniden kullanımıyla da desteklenmektedir (Glissemean, 2004). Fonksiyonel biyoçeşitliliğin artırılması, zararlılara karşı kimyasal bağımlılığı azaltırken ekosistemdeki canlılar arasındaki dengeyi sağlamaktadır; bu da biyolojik etkileşimlerin güçlenmesine olanak tanımaktadır. Tüm bu süreçler birbirleriyle iç içe geçmiş durumda olup biyoçeşitlilik hem enerji döngüsünü desteklemekte hem de toprak ve su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunmaktadır (Tivy, 1990; Altieri, 1995; Glissemean, 2004). Sosyal açıdan agroekoloji, yerel bilgi ve çiftçilerin deneyimlerine dayanarak üretim sistemlerini şekillendirmekte; bu durum hem kültürel çeşitliliği hem de gıda egemenliğini desteklemektedir. Ayrıca, küçük çiftçilerin ekonomik olarak

güçlenmesini ve kırsal toplulukların sosyal adalet temelinde kalkınmasını amaçlamaktadır (Gliessman, 2004; Gliessman, 2018). Böylece agroekoloji, doğayla uyumlu üretim sistemleri geliştirirken toplumsal dayanışmayı ve adil paylaşımı gözeten bir tarım modelinin oluşmasına olanak tanımaktadır.

2. BİTKİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE AGROEKOLOJİK UYGULAMALAR

Agroekolojik yaklaşım; bitkisel ürünleri, hayvanları ve hayvansal ürünleri, toprağı, ağaçları ve diğer faktörleri zamansal ve mekânsal olarak sınıflandırılmış şemalarda bir araya getirerek çeşitlendirilmiş çiftliklerin kendi üretkenliğini, toprak verimliliğini ve ürün korumasını destekleyebilmesi için doğal süreçleri ve biyolojik etkileşimleri optimize eden entegre ve dayanıklı ekosistemler olarak özetlenmiştir (Altieri, 2002). Bitki yetiştiriciliğinde kullanılan agroekolojik yaklaşımın net bir uygulama biçimi olmamakla birlikte aşağıdaki bazı faktörlere göre yapılan tarımsal uygulamanın ne kadar agroekolojik olduğu değerlendirilebilmektedir (Wezel, 2017);

- Biyolojik süreçlerden ne ölçüde yararlanıldığı
- Çevre dostu, eşitlikçi ve yerel olarak uygulanmış ve sahiplenilmiş olma durumu
- Yetiştiricilik sorunlarına ayrı ayrı önlem almaya odaklanmak yerine bir sistem yaklaşımı içinde entegre olup olmamaları

Agroekolojik tarım uygulamalarının bazıları dünyanın çeşitli yerlerinde kısmen de olsa uygulanan yöntemlerken bazıları da yakın zamanda geliştirilen ve günümüze kadar sınırlı ölçülerde benimsenen yöntemlerdir (Wezel, 2017). Sözü edilen yöntemler ürün çeşitliliğinin artırılması, karışık ekim, üretim alanlarının birleştirilmesi, ürün karışımlarının ve ürünle ilgili biyolojik çeşitliliğin sağlanması için habitat yönetimi teknikleri, biyolojik zararlı kontrolü, toprak yapısı ve sağlığının iyileştirilmesi, besin maddelerinin, enerjinin ve atıkların üretim sürecine girdi oluşturacak şekilde geri dönüştürülmesini kapsamaktadır (Sinclair vd., 2019). Agroekolojinin ilkeleri kapsamında bitki yetiştiriciliği açısından geliştirilen uygulamalar aşağıdaki alt başlıklarda gruplandırılarak tartışılmıştır.

2.1. Ürün Çeşitliliği, Polikültür ve Ürün Rotasyonu (Ekim Nöbeti = Münavebe)

Ürün çeşitliliği, monokültür üretimden kaçınarak farklı ürünlerin bir tarım sistemi içinde yetiştirilmesini içermektedir. Bu uygulama sayesinde iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı olumsuz çevre koşullarından veya biyotik faktörlerden kaynaklanan ürün kayıplarına karşı başarı sağlamak ve risklerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (Wang vd., 2021; Kalinga vd., 2022). Bu sayede üretim deseninin optimizasyonu sağlanarak bitki için gerekli besin maddeleri ve azot, farklı bitkilerin yetiştirilmesiyle toprağa geri kazandırılmaktadır. Sağlanan ürün çeşitliliğiyle birlikte hastalık ve zararlıların doğal yollarla kontrolünün sağlanmasının yanı sıra farklı kök yapısına sahip bitkilerin yetiştirilmesiyle de toprak sağlığı iyileştirilmektedir (Thakur vd., 2023). Ürün çeşitliliğinin sağlanmasına yönelik agroekolojik uygulamalar, ayrıca pazar fırsatlarını genişletmekte ve iklim değişimine adaptasyonu da kolaylaştırmaktadır (Vikas ve Ranjan, 2024).

Bitki çeşitliliğini artırma yöntemleri arasında polikültür tarım ve ekim nöbeti yer almaktadır. Yetiştiricilikte uygulanan bu agroekolojik yaklaşımlar bitkilerin dayanımını ve sürdürülebilir üretimini desteklemektedir (Kerr vd., 2023). Çeşitli bitkilerin birlikte ve dönüşümlü olarak yetiştirilmesini ifade eden polikültür üretim, monokültür üretimin aksine ekosistem sürdürülebilirliğini sağlayarak ve kaynak verimliliğini arttırarak toprak sağlığını iyileştirme, zararlı ve hastalık kontrolü sağlama ve iklim değişikliğinden kaynaklanan riskleri azaltma gibi çeşitli işlevleri yerine getirmektedir (Wilson ve Lovell, 2016). Polikültür tarım uygulamalarında genellikle mısır, baklagiller ve kabakgillerden oluşan üçlü ya da baklagil-tahıl kombinasyonlarından oluşan ekim nöbeti teknikleri uygulanmakta olup bu sayede hem toprak sağlığı korunmakta hem de sürdürülebilir üretim geleneksel yöntemlerle çevre dostu bir şekilde sağlanmaktadır (Al Aysh, 2016).

Dünyada bitki çeşitliliğini sağlamak ve biyoçeşitliliği teşvik etmek üzere yapılan agroekolojik uygulama örnekleri ve bunların sağladığı faydalar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Bitki çeşitliliğini veya biyoçeşitliliği arttırmaya yönelik dünyada yapılan agroekolojik uygulamalar.

Ülke	Agroekolojik Uygulama	Ekosistem ve/veya Çevre Üzerindeki Pozitif Etkisi
İspanya	“Banc d’Aliments de la Terra” (Terra Gıda Bankası) Girişimi	Yerel ürün çeşitliliğinin korunması, yerli türlerin geliştirilmesi, agroekolojinin genetik kaynakların korunması ve zengin tarımsal mirasın korunmasındaki rolünü vurgulayan bir harekettir (1).
Meksika	“Milpa” Sistemi: Mısır, baklagiller ve kabakgillerin birlikte ekimi	Geleneksel ürünleri korurken, yerel hayvan türlerini beslemekte, ayrıca bu yaklaşım toplum odaklı katılımı örneklemekte, kültürel mirası ve ekolojik sürdürülebilirliği teşvik etmektedir (2).
Japonya	Geleneksel yöntemlerle agroekolojik pirinç yetiştiriciliği	Yerli pirinç çeşitlerini ve toprak verimliliğini korumak, ayrıca faydalı böcek popülasyonlarını destekleyerek ekosistem sağlığı ve dayanıklılığına katkıda bulunmak (3).
Çin	Agroekolojik karma ekim sistemleri	Genetik çeşitliliğin korunması, hastalık ve zararlılara dayanıklılığı artırma, yerel bitki türlerinin korunmasına ve dayanımlı tarım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (4).
Peru	And dağlarındaki patates yetiştiriciliğinde agroekolojik uygulamalar	Farklı patates çeşitleriyle geleneksel tarım bilgilerinin entegrasyonu ile genetik çeşitlilik korunmakta, yerel gıda güvenliğini sağlamakta ve yerel ekosistem dinamiklerini desteklemektedir (5).
ABD	Mısır- soya fasulyesi- buğday ile ürün rotasyonu	Benimsenen klasik bir agroekolojik stratejidir. Bu strateji sayesinde besin çeşitliliği sağlanmakta, hastalık ve zararlı riski azaltılmakta, toprak verimliliği, sürdürülebilir ve dayanımlı ürün verimi arttırılmaktadır (6, 7).

Kaynaklar: (1) González-Puente, 2020; (2) Lenné, 2023; (3) Schrager vd., 2023; (4) Niggli vd., 2021; (5) Zimmerer vd., 2002; (6) Mirsky vd., 2013; (7) Huang vd., 2021.

2.2. Toprağın Zenginleştirilmesi ve Verimliliğin Arttırılmasına Yönelik Uygulamalar

Bitkisel üretimdeki riskleri azaltmak için dünya genelinde uygulanan agroekolojik stratejilerin bir diğer basamağını da toprak verimliliği oluşturmaktadır. Toprağın zenginleştirilmesi ve toprak verimliliğinin arttırılmasıyla bitkilerin sağlıklı bir şekilde yetiştirilmesinin yanında hastalık ve zararlılara karşı da dayanım elde edilmesi, böylece tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması hedeflenmektedir (Piwowar, 2021). Bitki yetiştiriciliğinde uygulanan agroekolojik stratejiler her ne kadar ayrı ayrı bölümler halinde ele alınmış olsa da bunların tamamını, birbirini destekleyen dolayısıyla da birbirini etkileyen, pratikte ayrılmaz uygulamalar olarak düşünmek daha doğru bir yaklaşımdır.

Tablo 3. Toprak sağlığını ve verimliliğini arttırmaya yönelik dünyada yapılan agroekolojik uygulamalar.

Ülke	Agroekolojik Uygulama	Ekosistem ve/veya Çevre Üzerindeki Pozitif Etkisi
Fransa	Mikorizal funguslarla teşvik edilen organik bağıcılık	Toprak altı biyolojik çeşitliliğini koruyarak daha sağlıklı asmaların yetiştirilmesini sağlamanın yanında agroekolojinin toprak mikroorganizmaları ve bağ sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktadır (1).
Nijerya	Hint yer elması (yam) yetiştiriciliğinde agroekolojik uygulamalar	Polikültür yetiştiricilik ve kimyasal kullanımının azaltılmasıyla toprak sağlığının korunması, yararlı böcek ve mikroorganizma faaliyetlerinin teşvik edilmesi, bu sayede biyoçeşitliliğin korumasını sağlamaktadır (2).
Brezilya	Yetiştiricilikte örtü bitkisi ve malçlama uygulaması	Toprak işleme yapmayan çiftçiler erozyonu azaltmak ve toprak yapısını iyileştirmek için malçlama ve örtü bitkisi kullanımını benimsemiştir. Bu agroekolojik uygulamalar buharlaşmayı ve sızıntıları önleyerek su kaybını azaltmış ve genel toprak sağlığını iyileştirerek değişken yağış rejimlerine uyum sağlamıştır (3)

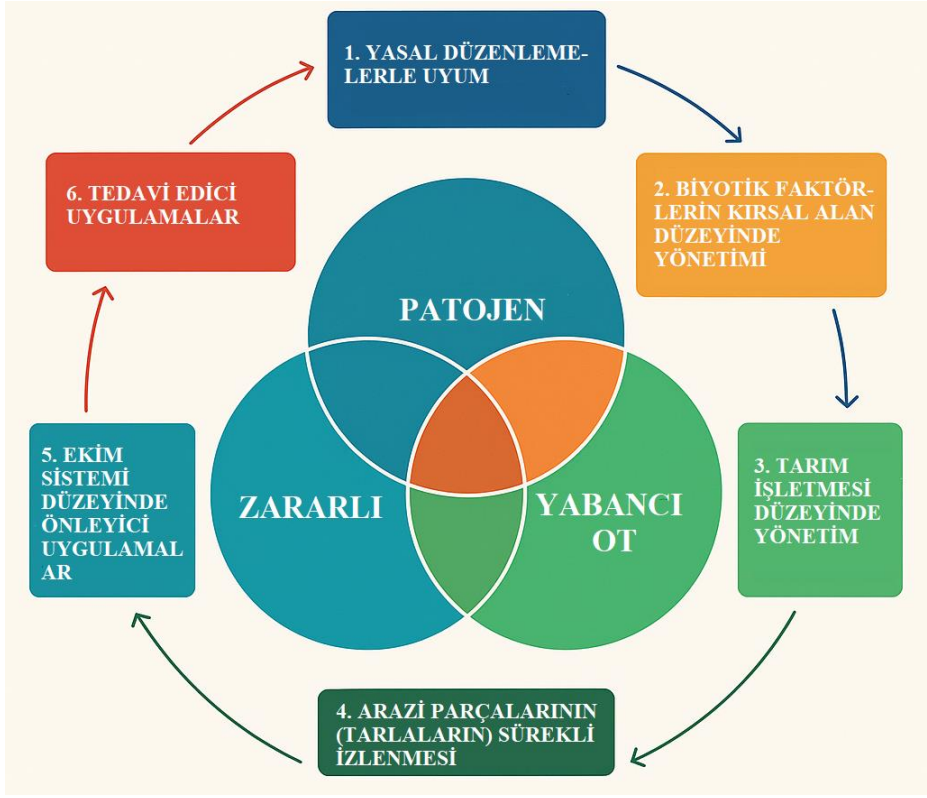
Kaynaklar: (1) Longa vd., 2017; (2) Bamire ve Amujoyegbe, 2005; (3) Ofstehage ve Nehring, 2021.

Malçlama, örtü bitkilerinin kullanımı, yeşil gübreleme, kompost ve toprağa yararlı mikroorganizmaların kullanımı gibi toprağı zenginleştiren ve toprak verimliliğini arttıran yaklaşımlar, sistemin sürdürülebilirliğini artırıcı etki göstermektedir (Harvey vd., 2014; Piwowar, 2021). Bu yöntemler toprağın su dengesini sağlamasının yanında toprak yapısını desteklemekte, erozyon nedeniyle oluşan kayıpları azaltmakta ve toprak sağlığını geliştirerek bitkilerin çevresel koşullara adaptasyonunu ve daha sağlıklı yetiştirilmesini teşvik etmektedir (Ofstehage ve Nehring, 2021). Dünya genelinde toprak sağlığına yönelik yapılan pek çok agroekolojik uygulama örneği bulunmaktadır (Tablo 3).

2.3. Bitki Sağlığına Yönelik Uygulamalar

Agroekolojik bitki koruma (ABK) ekoloji, agroekoloji, organik tarım, permakültür ve entegre zararlı yönetimi stratejilerinin birleşiminden oluşan bir uygulama alanıdır (Deguine vd., 2017; Kogan ve Heinrichs, 2020). Daha geniş bir tanımlamayla toprak sağlığının iyileştirilmesi, bitki ve hayvan toplulukları arasındaki etkileşimlerin geliştirilmesi gibi doğal yollarla hastalık ve zararlıların kontrol altına alınması şeklinde ifade edilmektedir. Bu sayede ekolojik süreçler teşvik edilmekte ve yenilikçi bitki koruma modelleri oluşturularak bitki yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik sağlanmaktadır (Hubert ve Couvet, 2021).

Agroekolojik bitki koruma yaklaşımı, entegre zararlı yönetimi uygulamaları başta olmak üzere son yarım yüzyıldır bitki korumanın deneyimlerinden yararlanılarak ortaya koyulan yenilikçi bir stratejidir. Entegre zararlı yönetimi stratejisinden alınan dersler, ABK'nın benzer kısıtlardan kaçınmasını sağlarken, tarımsal gıda sistemlerinde sıfır pestisit kullanılarak hastalık ve zararlılarla mücadele edilmesini teşvik etmektedir. Ayrıca agroekolojik bitki koruma yaklaşımında kimyasal pestisitlerin yasaklandığı ve paydaşların bu gıda sistemi etrafında toplandığı organik tarımdan da ilham alınmaktadır. Son olarak ABK, permakültürde olduğu gibi üretim hedeflerinden yetiştiricilik sistemlerine ve hastalık/zararlı yönetimine kadar tarım sistemlerini yeniden tasarlamayı hedeflemektedir (Deguine vd., 2023).



Şekil 1. Farklı seviyelerdeki agroekolojik bitki koruma uygulamaları

Kaynak: Şekil yazarlar tarafından Deguine vd. (2023)'ne göre oluşturulmuştur.

ABK'nın geliştirilmiş yapısı en önemli avantajı olup bu özellik, sistemlerin herhangi bir düzeyde farklı hastalık ve zararlılara hatta bitkinin farklı büyüme aşamalarına uyarlanabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, agroekolojik bitki korumada spesifik tarla uygulamaları yerel koşullara, üretim hedeflerine ve gıda talebine göre uyarlanabilmekle birlikte, ABK'nın hem tropik hem de ılıman koşullarda etkili olduğu kanıtlanmıştır (Deguine vd., 2017). Agroekolojik bitki koruma uygulamaları sırasında patojen, zararlı ve yabancı ot yönetimi [1] yasal düzenlemelere uyum, [2] biyotik faktörlerin popülasyonlarının kırsal alan düzeyinde yönetimi, [3] biyotik faktörlerin popülasyonlarının tarım işletmesi düzeyinde yönetimi, [4] arazi parçalarının (tarlaların) sürekli izlenmesi, [5] ekim sistemi düzeyinde önleyici uygulamalar ve [6] son çare olarak tedavi edici uygulamalar olmak üzere 6 aşamada yapılmaktadır (Şekil 1).

ABK önlemlerinin çoğu önleyici nitelikte olup kullanım düzeyleri ekim sistemi ve üretime bağlı olarak değişmektedir. Biyolojik mücadele, kaynakların ve doğal yaşam alanlarının korunması; koparma, biçme, pestisit kullanımı gibi yok edici uygulamaların kısıtlanması ve doğal düşmanların besin kaynaklarıyla donatılarak sayısının artırılması ve aktivitesinin teşvik edilmesi gibi koruyucu yöntemlerle yapılmaktadır (Deguine vd., 2023). Patojen, zararlı ve yabancı otların agroekolojik yönetim stratejileri Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiş olup dünya genelinde yapılan agroekolojik bitki koruma uygulama örnekleri ve bunların ekosistem üzerindeki olumlu etkileri Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4. Agroekolojik bitki koruma (ABK) uygulamalarına dünyadan örnekler.

Ülke	Agroekolojik Uygulama	Ekosistem ve/veya Çevre Üzerindeki Pozitif Etkisi
Kenya	Geleneksel “Shamba” bahçelerinde agroekolojik uygulamalar	Entegre zararlı yönetimi ve polikültür tarım uygulamaları, yerel bitki çeşitliliğini korumakta, faydalı böcekler için yaşam alanı sağlamakta ve küçük ölçekli tarım işletmelerinde toprak sağlığını iyileştirmektedir (1).
Hindistan	“Mahsuri” gibi yerli pirinç çeşitlerinin yeniden üretime kazandırılması	Genetik çeşitliliği korumakta, zararlı ve hastalıklara karşı dayanım sağlamakta ve atalardan kalma tarımsal bilgi hazinesinin korunmasına yardımcı olmaktadır (2).
Fas	Fez-Meknes bölgesinde agroekolojik sebze yetiştiriciliği	Hastalık ve zararlılarla mücadelede kimyasal kullanımının azaltılmasıyla sağlıklı ve çevre dostu tarım uygulamalarının teşviki için politika oluşturmaya katkı sağlayacak sonuçlar elde edilmiştir (3).

Kaynaklar: (1) Mukhovi vd., 2020; (2) Singh vd., 2014; (3) Rhioui vd., 2023.

3. GELECEKTE AGROEKOLOJİ VE SONUÇ

Agroekoloji, doğayla uyumlu tarımı ve çiftçi bilgisini ön plana çıkaran bir yaklaşım olarak, iklim krizi ve büyük tarım şirketlerinin artan etkisi karşısında adil ve sürdürülebilir gıdaya ulaşmak isteyen birçok kişi tarafından tercih edilmektedir. Bu yaklaşımlar, tarım sistemlerini daha dirençli, verimli

ve çevre dostu hale getirerek, bitki hastalıklarıyla mücadelede sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (Ewert vd., 2023; Vikas ve Ranjan, 2024).

Günümüzde agroekolojinin bazı yönleri, özellikle Avrupa ülkelerinin gıda politikalarında daha fazla yer bulmaya başlamıştır. Lakin agroekolojinin nasıl bir yol izlemesi gerektiği konusunda ise bazı soru işaretleri vardır. Özellikle agroekolojinin teknoloji, küresel ticaret ve büyük tarım şirketleriyle nasıl ilişki kuracağı belirsizdir. Yine, siyasi ve ekonomik değişimlere, tüketim alışkanlıklarına ve şehir-kırsal ilişkilerine ne kadar uyum sağlayabileceği de net değildir. Bu nedenle, agroekolojinin geniş ölçekte uygulanabilirliği hâlâ tartışılmaktadır (Carlile ve Garnett, 2021; HPLE, 2019).

Agroekologlar, gıda sisteminde büyük bir dönüşüm sağlamaya çalışırken bazen karmaşık sorulardan kaçınıp, sadece en radikal ve köklü agroekoloji tanımlarını kabul etmektedirler. Bu tür tanımlar, politik anlamda faydalı olabilir; ancak teknolojiye ve modernleşmeye karşı ideolojik bir duruş sergilediği düşüncesiyle, agroekolojiyi eleştirenler için zayıf bir nokta hâline gelmektedir. Bu da agroekolojinin küçük çiftçileri kısıtlayan, katı bir hareket olarak algılanmasına yol açmaktadır. Ancak bu basitleştirilmiş ve karşıtlığa dayalı tanımlar, agroekolojinin sahadaki karmaşık ve çeşitli uygulamalarını tam olarak yansıtmamakla birlikte pek çok agroekolog da artık biliyor ki, dönüşüm süreçleri genellikle karmaşık, düzensiz ve her duruma göre farklıdır. Bu yüzden, agroekolojinin gelecekte kimler tarafından nasıl şekillendirileceği, başka gıda sistemi planlarıyla ne ölçüde örtüşeceği ya da onların yerine geçip geçmeyeceği ve nasıl bir sürdürülebilir gıda geleceği yaratacağı konusundaki belirsizlikler halen devam etmektedir (Carlile ve Garnett, 2021).

Bu kitap bölümünde agroekolojinin temel prensipleri, bitki yetiştiriciliğinde agroekolojik uygulamalar ve dünya genelindeki başarılı agroekolojik yaklaşımlara dair örnekler kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca, agroekolojinin geleceği ile ilgili olumlu yönleri ve karşılaştığı kısıtlamalar da gözler önüne serilmiştir. Bitki yetiştiriciliğinde uygulanan agroekolojik yöntemlerin çiftlik düzeyinde bazı sınırlamaları bulunmaktadır ve bu yaklaşımların daha geniş kitleler tarafından benimsenmesinin önünde çeşitli yasal, ekonomik ve kültürel engeller yer almaktadır. Agroekolojinin sürdürülebilir tarımı teşvik etme potansiyelinin tam anlamıyla ortaya çıkabilmesi için bu engellerin aşılması büyük bir önem taşımaktadır. Sonuç olarak, agroekolojinin sürdürülebilir ve çevre dostu tarım sistemlerinin

geliştirilmesinde devrim niteliğinde bir potansiyele sahip olduğu ve gelecekteki uygulama alanları açısından umut verici olduğu söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Al Aysh, F.M. (2016). Intercropping is a missing ring for sustainability. *LS Int. Journal of Life Sciences*, 5: 119-126. <https://doi.org/10.5958/2319-1198.2016.00018.X>.
- Altieri, M.A. (1995). *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. 2nd ed. Boulder, CO: Westview Press.
- Altieri, M.A. (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3): 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3).
- Bamire, A.S. and Amujoyegbe, B.J. (2005). Economic analysis of land improvement techniques in smallholder yam-based production systems in the agro-ecological zones of Southwestern Nigeria. *Journal of Human Ecology*, 18(1): 1-12.
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F. et al. (2017). Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22(4): 8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>.
- Carlile, R. and Garnett, T. (2021). What is agroecology? TABLE Explainer Series. TABLE, University of Oxford, Swedish University of Agricultural Sciences and Wageningen University & Research.
- CIDSE (Coopération Internationale pour le Développement et la Solidarité). (2018). "The Principles of Agroecology. Towards Just, The Contribution of Agroecological Approaches to Realizing Climate-Resilient Agriculture 37 Resilient and Sustainable Food Systems." Brussels, Belgium: CIDSE. <https://www.cidse.org/publications/just-food/food-and-climate/theprinciples-of-agroecology.html>.
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Bellon, S., Côte, F., Lauri, P.-E., Lescourret, F., Ratnadass, A., Scopel, E., Andrieu, N., Bàrberi, P. et al. (2023). "Chapter One-Agroecological crop protection for sustainable agriculture". In D.L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy, Vol. 178*, (pp. 1-59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.11.002>.

- Deguine, J.-P., Gloanec, C., Laurent, P., Ratnadass, A. and Aubertot, J.-N. (2017). *Agroecological Crop Protection*. Springer Science+Business Media BV, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1185-0_1.
- Ewert, F., Baatz, R. and Finger, R. (2023). Agroecology for a sustainable agriculture and food system: From local solutions to large-scale adoption. *Annual Review of Resource Economics*, 15: 351-81. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102422-090105>.
- FAO (2018). “Agroecology Knowledge Hub. 10 Elements.” Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/en/>.
- Francis, C.A., Lieblein, G., Gliessman, S.R., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. and Poincelot, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22: 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10.
- Gliessman, S. (2018). Defining agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(6): 599-600. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329>.
- Gliessman, S.R. (2004). Integrating agroecological processes into cropping systems research. *Journal of Crop Improvement*, 11(1-2): 61-80. https://doi.org/10.1300/J411v11n01_04.
- Gliessman, S.R. (2007). *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gliessman, S.R. (2013). Agroecology: Growing the Roots of Resistance. In *Agroecology and the transformation of agri-food systems: Transdisciplinary and participatory perspectives*, eds. V. E. Mendéz, C. M. Bacon, and R. Cohen. Special Issue, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 19–31.
- González-Puente, M. (2020). Accés a la terra, desagrarització i reagrarització: discursos des d'un banc de terres al Camp de Tarragona. *Arxiu d'Etnografia de Catalunya*, 21: 69-96. <https://raco.cat/index.php/AEC/article/view/378406>.
- Harvey, C.A., Chacon, M., Donatti, C.I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, A., et al. (2014). Climate-smart landscapes: opportunities and challenges

- for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters*, 7(2): 77-90. <https://doi.org/10.1111/conl.12066>.
- HLPE (2019). “Agroecological and Other Innovative Approaches for Sustainable Agriculture and Food Systems That Enhance Food Security and Nutrition.”
- Huang, Y., Tao, B., Xiaochen, Z., Yang, Y., Liang, L., Wang, L., et al. (2021). Conservation tillage increases corn and soybean water productivity across the Ohio River basin. *Agricultural Water Management*, 254: 106962. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106962>.
- Hubert, H. and Couvet, D., (2021). In: La transition agro-ecologique. Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde? Tomes 1 et 2. Presses des Mines, Paris.
- IPES-Food. 2016. From Uniformity to Diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. www.ipes-food.org(open in a new window)
- Kalinga, A.S., Kangelawe, R.Y., and Lyimo, J.G. (2022). The significance of the diversification of food crops in abating impacts of climate variability: the case of Rungwe District, Tanzania. *J. Geogr. Assoc. Tanzania*, 41: 1-21. <https://doi.org/10.56279/jgat.v41i2.191>.
- Kerr, R.B., Postigo, J.C., Smith, P., Cowie, A., Singh, P.K., Rivera-Ferre, M., et al. (2023). Agroecology as a transformative approach to tackle climatic, food, and ecosystemic crises. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 62: 101275. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101275>.
- Kogan, M. and Heinrichs, E. (2020). Integrated Management of Insect Pests: Current and Future Developments. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Lenné, J. (2023). Current agricultural diversification strategies are already agroecological. *Outlook Agriculture*, 52(3): 273-280. <https://doi.org/10.1177/00307270231199796>.
- Longa, C. M., Nicola, L., Antonielli, L., Mescalchin, E., Zanzotti, R., Turco, E. and Pertot, I. (2017). Soil microbiota responds to green manure in

- organic vineyards. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6): 1547-1560. <https://doi.org/10.1111/jam.13606>.
- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Teasdale, J.R., Curran, W.S., Reberg-Horton, C.S., Spargo, J.T., et al. (2013). Overcoming weed management challenges in cover crop- based organic rotational no-till soybean production in the eastern United States. *Weed Technology*, 27: 193-203. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00078.1>.
- Mukhovi, S.M., Jacobi, J., Llanque, A., Rist, S., Delgado, F., Kiteme, B. and Speranza, C.I. (2020). Social self-organization and social-ecological resilience in food systems: lessons from smallholder agriculture in Kenya and indigenous Guaraní communities in Bolivia. *Food Studies: An Interdisciplinary Journal*, 10(1): 19-42. <https://doi.org/10.18848/2160-1933/CGP/v10i01/19-42>.
- Nicholls, C.I, Altieri, M.A. and Vazquez. L. (2016). Agroecology: Principles for the conversion and redesign of farming systems. *Journal of Ecosystem and Ecography*, S5: 10. <https://doi.org/10.4172/2157-7625>.
- Niggli, U., Wang-Müller, Q., Willer, H. and Fuchs, J. (2021). Innovation in agroecological and organic farming systems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 29(3): 423-430. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200469>.
- Ofstehage, A. and Nehring, R. (2021). No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 19(3-4): 335-348. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1910419>.
- Piwowar, A. (2021). The use of pesticides in polish agriculture after integrated pest management (IPM) implementation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 26628-26642. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12283-w>.
- Rhioui, W., Al Figuigui, J., Lahlali, R., Laasli, S.-E., Boutagayout, A., El Jarroudi, M. and Belmalha, S. (2023). Towards sustainable vegetable farming: Exploring agroecological alternatives to chemical products in the Fez-Meknes Region of Morocco. *Sustainability*, 15(9): 7412. <https://doi.org/10.3390/su15097412>.
- Schrager, B., Ikeda, H. and Yukitsugu, T. (2023). Successes and challenges of a university-based agroecological community garden and educational

- program in Japan. *Journal of Agriculture Food Systems and Community Development*, 12(4): 1-15. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2023.124.011>.
- Sills, D.L. (1975). The environmental movement and its critics. *Human Ecology*, 3(1): 1-41. <https://doi.org/10.1007/BF01531771>.
- Sinclair, F., Wezel, A., Mbow, C., Chomba, S., Robiglio, V. and Harrison, R. (2019). The contribution of agroecological approaches to realizing climate- resilient agriculture. Rotterdam and Washington, DC. Available online at www.gca.org.
- Singh, R.K., Singh, A. and Pandey, C.B. (2014). Agro-biodiversity in rice–wheat-based agroecosystems of eastern Uttar Pradesh, India: implications for conservation and sustainable management. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 21(1): 46-59. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.869272>
- Spedding, C.R.W. (1996). *Agriculture and the Citizen*. London: Chapman and Hall.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R. et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223): 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Tansley, A.G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3): 284-307. <https://doi.org/10.2307/1930070>.
- Thakur, N., Nigam, M., Mann, N.A., Gupta, S., Hussain, C.M., Shukla, S.K., et al. (2023). Host-mediated gene engineering and microbiome-based technolog optimization for sustainable agriculture and environment. *Funct. Integr. Genomics*, 23: 57. <https://doi.org/10.1007/s10142-023-00982-9>.
- Vikas and Ranjan, R. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8: 1405409. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409>.
- Wang, G., Bei, S., Li, J., Bao, X., Zhang, J., Schultz, P. A., et al. (2021). Soil microbial legacy drives crop diversity advantage: linking ecological plant-soil feedback with agricultural intercropping. *Journal Applied Ecology*, 58: 496-506. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13802>.

- Wezel, A. (2017). *Agroecological Practices for Sustainable Agriculture: Principles, Applications, and Making the Transition*. New Jersey, USA: World Scientific.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. and David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 503-515. <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>.
- Wilson, M.H., and Lovell, S.T. (2016). Agroforestry-the next step in sustainable and resilient agriculture. *Sustainability*, 8: 574. <https://doi.org/10.3390/su8060574>.
- Zimmerer, K., Cleveland, D.A. and Soleri, D. (2002). Social and agroecological variability of seed production and the potential collaborative breeding of potatoes in the Andean countries. In *Farmers, Scientists, and Plant Breeding: Integrating Knowledge and Practice*, Eds. D.A. Cleveland and D. Soleri (Wallingford: CABI Publishing), 83-106.

BÖLÜM 19

KANATLI HAYVAN BESLEMEDE DOĞAL YEM KATKI MADDELERİ: FİTOBİYOTİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇAYAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779547>

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Kırşehir, Türkiye.
huseyin.cayan@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-7731-2967

GİRİŞ

Günümüzde kanatlı hayvancılık sektörü, artan küresel protein talebine yanıt verebilmek amacıyla daha sürdürülebilir, ekonomik ve verimli üretim modellerine yönelmektedir. Ancak bu dönüşüm sürecinde, hayvan refahının korunması ve nihai ürün kalitesinin artırılması hedefleri doğrultusunda en büyük zorluklardan biri, hayvanların çevresel stres faktörlerine ve enfeksiyöz hastalıklara karşı duyarlılıklarının artmış olmasıdır. Bu bağlamda, özellikle etlik piliçlerin beslenmesinde büyümeyi teşvik edici antibiyotikler uzun yıllar boyunca hem hayvan sağlığının korunması hem de yemden yararlanmanın artırılması amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak antibiyotiklerin kontrolsüz ve uzun süreli kullanımı; dirençli bakteri suşlarının gelişmesine, hayvansal ürünlerde kalıntı riskinin artmasına ve dolayısıyla halk sağlığı açısından ciddi tehditlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu olumsuz gelişmeler, özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde antibiyotik kullanımının yasaklanmasına ve hayvan beslemesinde doğal, güvenli ve etkili alternatiflerin araştırılmasına öncülük etmiştir (Gadde ve ark., 2017).

Çeşitli aromatik bitki ve baharatların tohum, meyve, kök, kabuk, yaprak, esans yağ ve çam reçinesi şeklindeki bitki özlerine fitobiyotikler denilmektedir (Çetin ve Göçmen, 2013). Bir başka tanıma göre de fitobiyotik veya fitojenik yem katkıları bitkilerden ve baharatlardan elde edilen, fonksiyonel olduğu kadar aromatik yapısı da bulunan bitki ekstraktları için kullanılan bir terimdir (Erdoğan ve ark., 2007). Fitojenik yem katkı maddeleri, çok çeşitli otlar, baharatlar ve bunlardan elde edilen ürünlerden oluşur ve esas olarak esansiyel yağlardır (Windisch ve ark., 2008).

Bitkisel katkı maddeleri, diğer bir deyişle fitobiyotikler, tıbbi ve aromatik bitkilerin tohum, meyve, kök, kabuk, yaprak, uçucu yağ ve çam reçinesi gibi kısımlarından elde edilen bitki özleri olarak tanımlanmaktadır (Çetin ve Göçmen, 2013). Başka bir tanıma göre ise fitobiyotik ya da fitojenik yem katkı maddeleri, bitkilerden ve baharatlardan elde edilen, fonksiyonel etkilerinin yanı sıra aromatik özellikler de taşıyan bitki ekstraktlarını ifade eden bir terimdir (Erdoğan ve ark., 2007). Fitojenik katkıları; çeşitli otlar, baharatlar ve bunlardan elde edilen ekstraktlar, uçucu yağlar ve toz formundaki ürünleri kapsayan, biyolojik olarak aktif bileşenler açısından zengin doğal maddelerdir. Bu bileşenlerin sahip olduğu antimikrobiyal, antioksidan, sindirim sistemi düzenleyici ve immünomodülatör (bağışıklık sistemini dengeleyici) özellikler,

onları özellikle kanatlı hayvan beslemesinde antibiyotiklere potansiyel bir alternatif hâline getirmektedir (Windisch ve ark., 2008). Ayrıca, uçucu yağlar ve polifenoller gibi aktif bileşenler aracılığıyla bağırsak mikrobiyotasını dengelemeleri, yemden yararlanmayı artırmaları ve büyüme performansını desteklemeleri, bu doğal ürünlerin hayvan besleme uygulamalarındaki önemini daha da pekiştirmektedir (Hashemi & Davoodi, 2011).

Tarihsel olarak, bitkilerin tedavi amaçlı kullanımı antik uygarlıklara kadar uzanmakta olup, özellikle Çin, Mısır, Yunan ve Roma toplumlarında hem insan hem de hayvan hastalıklarının önlenmesi ve tedavisinde bitkisel çözümler yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Jaric ve ark., 2007). Hayvanların farklı bitkilere karşı verdikleri tepkilerin dikkatle gözlemlenmesi, hangi bitkilerin hangi hastalıklar üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunun anlaşılmasını sağlamış; potansiyel olarak zararlı veya toksik özellik gösteren bitkilerin ise yemden uzak tutulmasına olanak tanımıştır.

Günümüzde bu geleneksel bilgi, modern bilimsel yöntemlerle desteklenmekte ve fitobiyotiklerin kanatlı sağlığı üzerindeki etkileri hem laboratuvar hem de saha koşullarında kapsamlı şekilde araştırılmaktadır. Nitekim yapılan çalışmalar, kekik, adaçayı, rezene, sarımsak, adaçayı, biberiye, fesleğen, çakşır, anason, tarçın, kimyon, ısırgan, zencefil ve çörek otu gibi birçok bitkinin büyüme performansı, bağışıklık yanıtı, bağırsak morfolojisi ve et kalitesi gibi önemli parametrelerde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Ghasemi ve ark., 2014).

Bu çalışma, fitobiyotiklerin kanatlı hayvan beslemesindeki rolünü, etki mekanizmalarını ve performans üzerine etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

FİTOBİYOTİKLERİN ETKİ MEKANİZMALARI

Günümüzde gelişen analitik teknikler sayesinde, bitkilerde bulunan ve olumlu biyolojik etkilere sahip çok sayıda biyolojik olarak aktif bileşik belirlenebilmekte ve sınıflandırılabilmektedir. Bu gelişmeler, fitobiyotiklerin yem katkısı olarak daha kontrollü ve bilinçli biçimde kullanımına olanak sağlamıştır.

Kanatlı hayvanların beslenmesinde; taze, kurutulmuş, fermente edilmiş ya da dondurularak kurutulmuş (freeze-dried) formlardaki bitkisel katkı maddelerine ek olarak, su veya alkol bazlı ekstraktlar, uçucu yağlar ve bu

bileşenlerin kombinasyonlarından oluşan ticari preparatlar da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu formlar, etken maddelerin biyoyararlanımını artırmak, etki süresini uzatmak ve sabit dozajla kontrollü etki sağlamak açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Aroche ve ark., 2018).

Kanatlı hayvan rasyonları, temel besin maddeleri, vitaminler ve minerallerin yanı sıra, hayvan performansını ve refahını artırmak amacıyla çeşitli yem katkı maddeleriyle zenginleştirilmektedir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 1831/2003 sayılı yönetmeliğine göre, yem katkı maddesi; yem özelliklerini iyileştirmek, hayvanların besin gereksinimlerini karşılamak, genetik potansiyel ve üretim özellikleri ile refah düzeylerini olumlu yönde etkilemek ve genel olarak hayvansal üretimi artırmak amacıyla yeme bilinçli olarak ilave edilen madde, mikroorganizma veya kimyasal bileşik olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda değerlendirilen katkı maddelerinden biri de fitobiyotiklerdir [Regulation (EC) No 1831/2003] (Krauze, 2021).

Fitobiyotiklerin, kanatlılarda sindirim süreçlerini düzenlediği, safra ve sindirim enzimlerinin salgılanmasını desteklediği, iştahı artırdığı, besin maddelerinin emilimini iyileştirdiği ve toksinlerin uzaklaştırılmasına yardımcı olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, birçok bitkisel katkı maddesinin daha spesifik ve hedefe yönelik biyolojik etkiler gösterdiği de bilinmektedir. Bazı fitobiyotik bileşenler:

- Patojen mikroorganizmaların çoğalmasını inhibe edebilir,
- Bağırsak mikrobiyotasının dengesini koruyabilir,
- Bağışıklık, üreme ve endokrin sistemleri uyabilir,
- Antioksidan ve antialerjik etkiler gösterebilir,
- Doku onarımını hızlandırabilir,
- Kan dolaşımını uyabilir,
- İnflamasyonu baskılayabilir,
- Bağırsak mukozasının rejenerasyonunu teşvik ederek villus gelişimini artırabilecek etki mekanizmalarına sahip olduğu bildirilmektedir.

Tablo1'de bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin aktif bileşenleri ve etki mekanizmalarına ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Bazı fitobiyotiklerin içerdikleri aktif bileşikler ve etki mekanizmaları

Bitki Adı	Bitkinin Bölümü	Aktif Bileşik	Etki Mekanizması
Adaçayı	Yaprak	Sineol	Sindirim uyarıcı, antiseptik
Anason	Tohum	Anetol	Sindirim uyarıcı
Bayır turpu	Kök	Allil izotiyosiyanat	İştah arttırıcı
Biber	Tohum	Sabinen	Sindirim uyarıcı, ishal önleyici
Biberiye	Yaprak	Sineol	Sindirim uyarıcı, antiseptik
Defne	Yaprak	Sineol	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı, antiseptik
Hardal	Tohum	Allil izotiyosiyanat	Sindirim uyarıcı
Hindistan cevizi	Tohum	Sabinen	Sindirim uyarıcı, ishal önleyici
Karabiber	Meyve	Piperin, sabinen	Sindirim uyarıcı
Karanfil	Çiçek	Öjenol	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı, antiseptik
Kekik	Tüm bitki	Timol, karvakrol	Sindirim uyarıcı, antiseptik, antioksidan
Keklik otu	Yaprak, çiçek	Karvakrol	Antiseptik, antiviral
Kereviz	Yaprak, kök	Fitalid	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı
Kimyon	Tohum	Kumin aldehit	Sindirim uyarıcı
Kişniş	Yaprak, tohum	Linalol	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı
Maydanoz	Yaprak	Apiol	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı, antiseptik
Nane	Yaprak	Mentol	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı, antiseptik
Sarımsak	Soğan	Allisin	Sindirim uyarıcı, antiseptik
Tarçın	Kabuk	Sinmalaldehit	İştah arttırıcı, sindirim uyarıcı, antiseptik
Zencefil	Rizom	Zingerol	Sindirim uyarıcı

(Özbudak, 2019)

Tablo 1’de belirtilen bitkilerin bu olumlu etkileri, genellikle izopren türevleri, flavonoidler ve glukozinolatlar gibi sekonder metabolitler aracılığıyla gerçekleşmekte olup, bu bileşiklerin hayvansal ürünlerin nihai kalitesi üzerinde de belirleyici etkilere sahip olduğu bildirilmektedir (Özbudak, 2019).

Avrupa Birliği ülkelerinde ve Türkiye’de, 2006 yılında antibiyotik büyütme faktörlerinin hayvansal üretimde kullanımı; özellikle doku kalıntısı riski ve antibiyotik dirençli bakteri suşlarının gelişimi gibi halk sağlığını tehdit eden olumsuz etkiler nedeniyle yasaklanmıştır. Bu yasaklama, yem katkı

maddesi olarak kalıntı bırakmayan, toksik olmayan ve doğal kaynaklı alternatiflerin araştırılmasını zorunlu kılmış; bu bağlamda fitobiyotikler, antibiyotiklere potansiyel bir alternatif olarak bilimsel ve endüstriyel anlamda ön plana çıkmıştır (Yeşilbağ, 2007).

Fitobiyotikler; bitkilerin yaprak, kök, çiçek, meyve gibi çeşitli kısımlarından veya bu kısımlardan elde edilen özütlerden oluşabilmektedir. Bunun yanı sıra, uçucu yağlar, flavonoidler, fenolik bileşikler gibi saf biyolojik aktif maddeler de hayvan beslemede katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, fitobiyotiklerin etkileri her zaman sabit ve öngörülebilir değildir. Bitkisel bileşiklerin kimyasal içeriği; yetiştirme koşulları, hasat zamanı, işleme ve saklama yöntemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, kullanılan özütleme yöntemi, maddelerin birbiriyle olan sinerjik veya antagonistik etkileşimleri, hayvan türüne özgü tolerans düzeyleri ve olası mikrobiyolojik kontaminasyon da etkinliği doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bazı çalışmalar fitobiyotiklerin antimikrobiyal ve anti inflamatuvar etkileri konusunda çelişkili bulgular bildirmiştir. Fitobiyotiklerin etkinliğinin; hayvan türü, çevresel koşullar ve kullanılan bitkisel materyalin özellikleri ile yakından ilişkili olduğu unutulmamalıdır (Windisch ve ark., 2008; Hashemi ve Davoodi, 2011; Krauze, 2021).

FİTOBİYOTİKLERİN KANATLI HAYVANLARIN PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kanatlı hayvanların rasyonlarında bitkisel kökenli yem katkılarının kullanımı, yalnızca besin maddelerinin emilimi ve biyoyararlanımını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda bağışıklık sistemini uyarıcı etki de gösterebilmektedir. Bu tür katkılar, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranı üzerinde olumlu etkiler oluşturarak; canlı ağırlık artışı, yem dönüşüm oranı, günlük canlı ağırlık kazancı ve ölüm oranı gibi temel performans parametrelerinde genel bir iyileşme sağlamaktadır (Windisch ve ark., 2008).

Bitkisel kökenli yem katkı maddeleri, endokrin sistemi güçlü bir şekilde uyarak besin maddelerinin dolaylı metabolizmasını etkileyebilmektedir. Özellikle tarçın, zencefil, sarımsak, çemen otu, kekik, sinir otu, adaçayı, mercanköşk, ekinezya, melisa, kimyon, nane, ısırgan otu, papatya, yalancı iğde, deve diken ve yonca gibi çok sayıda bitki türü; metabolizmayı ve besin

emilimini uyarıcı, sindirim kanalındaki inflamasyonu baskılayıcı, tonik etkili ve ishal önleyici özelliklere sahiptir (Wenk, 2003).

Bağırsak bağışıklığının güçlendirilmesi ve mikrobiyota dengesinin sağlanması amacıyla bitkisel katkı maddelerinin kullanıldığı bildirilmektedir. Bu bileşiklerin, bağırsak ortamında patojen mikroorganizmalarla rekabete girerek yararlı mikrobiyal kolonizasyonun teşvik edildiği, enterosit geçirgenliğinin ve besin emiliminin artırıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca, patojenlerin bağırsak epitel dokusuna tutunmasının ve çoğalmasının sınırlandırıldığı; bunun, koruyucu bir biyofilm tabakasının oluşturulması yoluyla gerçekleştiği belirtilmektedir (Giannenas ve ark., 2012).

Bununla birlikte, söz konusu bitkiler; antiparazitik, anti inflamatuvar ve antioksidan özellikleri sayesinde genel olarak hayvan sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Patojenlerin yapışma ve çoğalma kapasitesinin azaltılması, enterosit yapısının ve fonksiyonunun korunması ve bağırsak immün sistemine ait hücrelerin olgunlaşmasının hızlandırılması yoluyla, bağışıklık yanıtının güçlenmesi desteklenmektedir (Vinus ve ark., 2018).

Tablo 2. Farklı fitobiyotiklerin kanatlı hayvanlarının fizyolojik fonksiyonları ve performansı üzerine etkisi

Bitki	Kullanılan Kısım	Hayvanlar üzerindeki etkileri	Kaynaklar
Tarçın	Kabuk, yaprak / tarçın yağı	İştahın ve sindirimin artırılması yoluyla performansın iyileştirildiği, antioksidan ve antimikrobiyal etkiler sayesinde bağırsak sağlığının desteklendiği; ayrıca çevresel stresin olumsuz etkilerinin azaltılabildiği bildirilmiştir.	Krauze ve ark. (2021); Abd El-Hack ve ark. (2020)
Sarımsak	Ezilmiş soğan	Büyüme performansının ve yem dönüşüm oranının iyileştirildiği; bağışıklık sisteminin güçlendirildiği (antikor titresi, lizozim aktivitesi ve makrofajların fagositik aktivitesinde artış sağlandığı); stresin olumsuz etkilerinin azaltıldığı, sindirim fonksiyonları ile kan lipid profilinin olumlu yönde düzenlendiği bildirilmiştir.	Abd El-Ghany, (2024); Chandran ve ark. (2022); Akyıldız ve Denli (2016)
Ekinezya	Yaprak, kök / kuru ot, ekstraktları	Bağışıklık sisteminin düzenlendiği (fagositik aktivite, lizozim aktivitesi ve antikor üretiminde artış sağlandığı); antimikrobiyal, antitümöral, antidiyabetik ve antioksidan etkiler gösterildiği; sindirimin uyarıldığı; büyüme performansının ve	Ashour ve ark. (2025); Ghafouri ve ark. (2023)

		yemden yararlanma oranının iyileştirildiği bildirilmiştir.	
Moringa	Yaprak / ekstrakt	Yumurta veriminin artırıldığı, yem dönüşüm oranının düşürüldüğü, çevresel stresin olumsuz etkilerinin azaltıldığı ve güçlü antioksidan aktivite gösterildiği bildirilmiştir.	Khan ve ark. (2021); Aroche ve ark. (2018)
Nane	Yaprak / toz formu	İştahın artırıldığı, sindirimin uyarıldığı ve yemden yararlanmanın geliştirildiği; antiseptik etkinin sağlandığı, yumurta verimi, kalitesi ve tazeliğinin iyileştirildiği; ayrıca yumurta sarısının renk özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin olumlu yönde değiştirildiği bildirilmiştir.	Asadi ve ark., (2017); Hussein, (2021); Şevket ve ark. (2025)
Çörek otu	Tohumu, yağı, küspesi	Etlik piliçlerin performans özelliklerinin iyileştirildiği, antioksidan kapasitenin ve bağışıklık yanıtının artırıldığı, et kalitesinin geliştirildiği ve patojenik bakteri popülasyonunun azaltıldığı bildirilmiştir.	Fathi ve ark. (2023); Zaazaa ve ark., (2023)
Aloe vera	Yaprak / su ekstraktı, toz, jel	Bağışıklık sisteminin artırıldığı (granülosit ve enzim aktivitesi ile antikor üretiminin desteklendiği), çevresel stresin olumsuz etkilerinin azaltıldığı, antidiyabetik ve antioksidan etkilerin gösterildiği (lipid peroksidasyonunun azaltıldığı, antioksidan durumun iyileştirildiği), sindirim fonksiyonları ve bağırsak mikrobiyotasının geliştirildiği, performansın ve yemden yararlanmanın artırıldığı, karaciğer ve böbrek gibi hayati organların korunduğu bildirilmiştir.	Darabighane ve Nahashon (2014); Saini ve ark. (2022)
Adaçayı	Yaprak, ekstrakt, yağ	Hayvanların performansların iyileştiği, but eti çoklu doymamış yağ asit konsantrasyonunu artırdığı ve bağırsaklarda yararlı bakterileri artırdığı zararlı bakterileri ise baskıladığı belirlenmiştir. Büyütme-bitirme dönemlerinde broiler karma yemlerinde fitojenik yem katkı maddeleri olarak verimli bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.	Vlaicu ve ark. (2022)
Zeytin	Yaprak, yağ, ekstrakt	Etlik piliçlerde büyüme performansını artırdığı, yemden yararlanmayı iyileştirdiği, et kalitesini ve bağırsak sağlığı olumlu yönde etkiler. Yumurta tavuklarında yumurta kalite kriterlerini iyileştirdiği ve yumurta sarı kolesterol miktarını azalttığı ve doğal katkı maddesi olabileceği bildirilmiştir.	Çayan ve Erener (2015); Erener ve ark. (2020)

Ayrıca, fitobiyotiklerin yemlere ilavesinin, sindirim enzimlerinin salgılanmasını ve aktivitesini artırdığı, sindirim hızını yükselttiği ve pankreas ile karaciğerin işlevlerini uyardığı belirlenmiştir (Suresh ve Srinivasan, 2007). Etlik piliç yemine 100 ppm ve 200 ppm tarçın kaynaklı uçucu yağ ilavesiyle, canlı ağırlık artışında, yemden yararlanma oranında ve genel sağlık durumunda iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir (Al-Kassie, 2009). Ayrıca, yeme %0,5 oranında sarımsak veya zerdeçal tozu ilavesiyle, etlik piliçlerin büyüme performansının ve yem dönüşüm oranının iyileştiği; ölüm oranının ise azaldığı belirlenmiştir (Durrani ve ark., 2006). Bu verim artışlarının, etlik piliçlerin sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösteren bazı önemli alkaloid bileşiklerin varlığı ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir.

Kaya ve Turgut (2012), yumurtacı tavuk rasyonlarına farklı düzeylerde adaçayı, kekik, nane ekstraktı ve E vitamini ilavesinin; yumurta verimi, kabuk ağırlığı ve kabuk kırılma mukavemetini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığını ($P<0.01$), hasarlı yumurta oranını ise önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Ayrıca bu katkıların, serum kolesterol düzeyini artırdığı ve 21 ile 42 gün süreyle depolanan yumurtalarda TBARS oluşumunu anlamlı derecede yavaşlattığı da belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, adaçayı ve kekik ekstraktlarının, bazı performans ve kalite parametreleri üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu, ayrıca antioksidan özellik taşıyan E vitamini yerine lipid oksidasyonunu önleyici doğal alternatifler olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir. Araştırmacılar, bu bitkisel ekstraktların aynı zamanda kolesterol düşürücü ajanlar olarak da görev yapabileceğini ve 300 ppm düzeyinde yumurtacı tavuk rasyonlarına güvenle ilave edilebileceğini belirtmişlerdir.

Etlik piliç rasyonlarına kadife çiçeği (*Calendula*) veya mısır ilavesiyle, karkas renginin iyileştirildiği ve deriye sarımsı bir ton kazandırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, nane ve hercai menekşe ilavesinin, tavuk etindeki yağ asidi profilini değiştirerek doymamış yağ asitlerinin oranını artırdığı bildirilmiştir. Buna karşılık, şerbetçiotu, ısırgan otu ve limon gibi bazı bitkisel katkıların, söz konusu profili olumsuz yönde etkileyerek çoklu doymamış yağ asitlerinin oranını artırabileceği belirlenmiştir (Hippenstiel ve ark., 2011).

Bitkisel katkı maddelerinin kümes hayvanı beslenmesinde kullanımının, yumurta ağırlığı, kabuk kalınlığı ve dayanıklılığı, yumurtlama oranı ve yumurtlama süresinin uzaması üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği belirlenmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020). Ayrıca, yeme sarımsak tozu (%1–

5), zencefil, dut, çörek otu, kekik, nane ve altın başak gibi bitkilerin ilave edilmesiyle; yumurta ağırlığında, yumurtadaki protein miktarında ve yumurta sarısının antioksidan içeriğinde artış sağlandığı bildirilmiştir (Olobatoke ve Mulugeta, 2011).

Karma yemlere, bitkisel içerikler veya tıbbi bitkilerden elde edilen biyolojik olarak aktif maddelerin eklenmesinin, sofralık yumurtaların besin değerini artırabileceği belirlenmiştir. Yumurta tavuklarının diyetine fitobiyotiklerin dahil edilmesiyle, yumurta sarısındaki kolesterol miktarında azalma sağlandığı bildirilmiştir. Diyette aşırı kolesterol bulunması, insanlarda ateroskleroz gelişimini teşvik etmekte ve kan damarlarında zararlı serbest radikal reaksiyonlarını uyaramaktadır (Çayan ve Erener, 2015).

Yumurta sarısındaki kolesterol düzeyini azaltmak amacıyla, diyetle sarımsak, zencefil, çörek otu, kara çay, ısırgan otu, adaçayı, kekik ve nane gibi çeşitli bitkilerin eklenmesi önerilmektedir (Azeke ve Ekpo, 2009). Bu kapsamda, yumurtalar çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) ile zenginleştirilmekte ve aynı zamanda yumurta sarısındaki lipidlerin oksidatif stabilitesinin artırılması hedeflenmektedir. Zencefilin tavuk yemine ilavesiyle, antioksidan enzim aktivitelerinde artış sağlandığı; buna karşılık MDA düzeylerinin (lipid peroksidasyon ürünü) ve yumurta sarısı kolesterolünün azaldığı belirlenmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020).

Çayan ve Erener (2015), tavuk yemine zeytin yaprağı tozu ilavesinin, yumurta sarısının renk yoğunluğunu artırdığını ve sarısındaki kolesterol içeriğini yaklaşık %10 oranında azalttığını rapor etmiştir. Sunder ve ark. (2016) ise, tavukların günlük olarak Hint dutu (*Morinda citrifolia*) tozu tüketmesinin, yumurta ağırlığı ile kabuk kalınlığında artış sağladığını ortaya koymuştur.

FİTOBİYOTİKLERİN FİZYOLOJİK TEPKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Fitobiyotik katkı maddelerinin, hücre düzeyinde meydana gelen metabolik ve biyokimyasal değişimlerle ilişkili olarak, genellikle enzim ve hormonların uygun aktivitesine bağlı fizyolojik reaksiyonların seyrini düzenlediği bildirilmiştir (Ognik ve Krauze, 2016; Hossain ve ark., 2014). Ayrıca, bitkisel katkı maddelerinin fizyolojik işlevlerin düzenlenmesini iyileştirerek, kanatlıların performansını artırabileceği de çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Tablo 3) (Vinus ve ark., 2018).

Tarçın yağı, sarımsak, ekinezya, lavanta, nane, ısırgan otu, zencefil, kekik ve adaçayı gibi bitkisel ürünlerin kanatlı rasyonlarına eklenmesiyle kandaki triasilgliserol düzeylerinin azaltılabildiği, HDL kolesterol oranının artırılabilirdiği bildirilmiştir. Bu etkilerin, kolesterol sentezinde anahtar rol oynayan 3-hidroksi-3-metilglutaril koenzim A redüktaz (HMG-CoA redüktaz) enziminin inhibisyonuna bağlı olarak gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca, bu tür katkıların aminotransferaz enzim aktivitelerinde azalma veya normalleşme sağladığı ve böylece karaciğer fonksiyonlarının iyileştirilmesine katkıda bulunabildiği ifade edilmiştir (Krauze ve ark., 2021; Abd El-Hack ve ark., 2020)

Krauze ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, tavukların kanındaki serbest yağ asitleri düzeylerinde gözlenen artışın, tarçın yağının triasilgliserol sentezi üzerinde baskılayıcı ve faydalı bir etki gösterdiği şeklinde yorumlandığı bildirilmiştir. Bu etkinin, glukoneogenez sürecinde glikoz sentezi için gliserolün kullanılmasıyla ilişkili olabileceği ifade edilmiştir. Bitkisel katkı maddelerinin fizyolojik reaksiyonları uyarıcı etkilerine dair çok sayıda örnek, dünya literatüründe yer almaktadır. Bu tür araştırmalar; farklı dozlarda, formlarda ve kullanım sıklıklarında yapılan uygulamaları kapsamaktadır. Uygulamalarda hem ekstraktlar, hem de kurutulmuş bitki materyalleri veya biyolojik olarak aktif bileşikler, genellikle yemle ya da içme suyu aracılığıyla hayvanlara verilmektedir (Krauze, 2021).

Tablo 3. Farklı fitobiyotiklerin kanatlı hayvanlarının biyokimyasal parametreler üzerine etkisi

Bitki	Kullanılan Kısım	Hayvanlar üzerindeki etkileri	Kaynaklar
Tarçın	Kabuk, yapraklar / tarçın yağı	HDL kolesterol düzeylerinin artırılabilirdiği; buna karşılık, total kolesterol ve triasilgliserol seviyelerinin düşürülebildiği bildirilmektedir. Ayrıca, laktat dehidrogenaz, kreatin kinaz ve β -hidroksibutirat dehidrogenaz enzim aktivitelerinde azalma sağlandığı; aminotransferaz enzimlerinin (AST, ALT) aktivitesinin ise düzenlenebildiği ifade edilmiştir.	Krauze ve ark. (2021); Abd El-Hack ve ark. (2020); Al-Kassie (2009)
Sarımsak	Ezilmiş soğan (diş)	HDL düzeyini artırır, total kolesterol ve triasilgliserol seviyesini azaltır	Hossain ve ark. (2014)
Ekinezya	Yaprak, kök /kurutulmuş bitki,ekstrakt	HDL kolesterol düzeylerinin artırılabilirdiği; total kolesterol ve triasilgliserol seviyelerinin ise azaltılabildiği bildirilmektedir.	Ognik ve Krauze (2016)

Lavanta	Tüm bitki, yağ	Karaciğerde safra asidi sentezi ve salgılanmasının artırılması yoluyla yağ sindirimi ve emiliminin iyileştirilebildiği; bunun sonucunda total kolesterol düzeylerinin azaltılabildiği bildirilmiştir.	Krauze ve ark. (2021)
Nane	Yaprak / toz	Total kolesterol, triasilgliserol, LDL ve glukoz düzeylerinin azaltılabildiği; buna karşılık HDL oranının artırılabilirdiği bildirilmiştir.	Vinus ve ark. (2018); Abdel-Wareth ve ark. (2019)
Isırgan otu	Yaprak, kök / su ekstraktı	Bıdırcınlarda serum lipid profilinin iyileştirilebildiği; kandaki trigliserid ve total kolesterol düzeylerinin azaltılabildiği bildirilmiştir.	Moula ve ark. (2019)
Zencefil	Kök / temel yağ	Serum lipid profilinin iyileştirilebildiği; trigliserid ve total kolesterol düzeylerinin düşürülebildiği, buna karşılık total protein, globulin ve antioksidan enzim düzeylerinin artırılabilirdiği bildirilmiştir.	Abd El-Hack ve ark. (2020)
Kekik	Yaprak / yağ	HDL kolesterol oranının artırılabilirdiği; total kolesterol ve triasilgliserol düzeylerinin düşürülebildiği, ayrıca elde edilen etin oksidatif stabilitesinin iyileştirilebildiği bildirilmiştir.	Méndez Zamora ve ark. (2017)
Adaçayı	Yaprak, yağ, ekstrakt	Total kolesterol ve LDL düzeylerinin azaltılabildiği, HDL kolesterol düzeyinin ise artırılabilirdiği bildirilmiştir.	Fathi ve ark. (2023)
Kekik	Yaprak, yağ	Serum kolesterol, kortizol, trigliserid düzeyleri ile heterofil: lenfosit oranının azaltılabildiği bildirilmiştir.	Banday ve ark. (2025)

Araştırmalar, bitkisel takviyelerin kanatlı hayvanlarda stres düzeylerini azaltabileceğini de ortaya koymuştur. Riyazi ve ark. (2015) tarafından yürütülen çalışmalarda, tavuğa %5 oranında fesleğen yaprağı esansiyel yağı ilavesinin, hayvanların kan hematolojik profilini iyileştirdiği bildirilmiştir. Bu tür bir katkıya örnek olarak, aloe vera gösterilebilir; çünkü bu bitkinin, kandaki kortikosteron seviyesini düşürerek, organizmanın stres faktörlerine karşı duyarlılığını azalttığı ve dolayısıyla hayvan refahını artırdığı ifade edilmiştir. Ayrıca, tavuk rasyonlarına adaçayı, ısırgan otu veya limon ilavesinin, kesim öncesi stres tepkisini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir (Burt, 2004).

FİTOBİYOTİKLERİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTESİ İLE BAĞIRSAK GELİŞİMİNE ETKİSİ

Esansiyel yağlar, organik asitler ve fitojenik yem katkı maddelerinin, gastrik salgıların üretimini artırdığı, kan dolaşımını canlandırdığı ve patojenik bakteri yükünü azalttığı bildirilmiştir (Buchanan ve ark., 2008). Bu bileşiklerin,

hücrelerin morfolojik yapısını doğrudan etkileyerek, hücre duvarlarına (membranlar dâhil) ve sitoplazmaya karşı etkili olabildiği belirlenmiştir. Bu özellikleri sayesinde, esansiyel yağlar günümüzde hayvansal üretim sistemlerinde antibiyotiklere potansiyel alternatifler arasında değerlendirilmektedir (Karasu ve Öztürk, 2014).

Fitobiyotiklerin bakteriyel hücre zarlarının geçirgenliğini artırarak, hücre içeriğinin dış ortama sızmasına ve sonuç olarak hücre ölümüne yol açtığı gösterilmiştir (Yang ve ark., 2015). Ayrıca, bu yağların kimyasal bileşimlerine bağlı olarak; araşidonik asit metabolizmasını, sitokin üretimini ve proinflatuar gen ekspresyonunu etkileyerek antiinflatuar etki gösterdiği de belirtilmiştir (Miguel, 2010).

Birçok bitkisel katkı maddesi arasında, polifenoller açısından zengin olan kekik, ekinezya, mercanköşk, adaçayı, sarımsak ve tarçın gibi bitki yağları ve ekstralarının, en güçlü antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Burt, 2004). Bitkisel kaynaklı biyoaktif bileşiklerin özellikle flavonoidler olmak üzere polifenoller, ayrıca tanenler, kumarinler, triterpenoidler, izopren türevleri, glukozinolatlar ve alkaloidlerin antimikrobiyal etkisinin, patojen mikroorganizmaların hücre zarı yapılarının bozulmasına dayandığı belirtilmiştir. Bu bozulma, hücre içi değerli iyonların dış ortama sızmasına neden olmakta ve patojenlerin virülansını azaltmaktadır (Windisch ve ark., 2008)

Du ve ark. (2016), etlik piliç rasyonlarına 60, 120 ve 240 mg/kg esansiyel yağ (%25 timol ve %25 karvakrol aktif bileşenleri içeren) eklemek suretiyle yapmış oldukları denemede, besin takviyesi olarak kullanılan esansiyel yağların bağırsak bütünlüğünü geliştirerek, *Clostridium perfringens*'e karşı etlik piliçlerde bağışıklık yanıtlarını düzenleyerek bağırsak hasarını hafiflettiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda 240 mg/kg'lık esansiyel yağ karışımını etlik piliçlerin *Clostridium perfringens*'e karşı mücadelesinde optimum doz olarak belirlemişlerdir.

Riyazi ve ark. (2015) tarafından yürütülen çalışmada, etlik piliç yemlerine literatürde aktif bileşenleri estragol, linalol, metil sinamat, metil öjenol, öjenol ve geraniol olarak bildirilen fesleğen (*Ocimum basilicum*) esansiyel yağının, 200, 400 ve 600 mg/kg düzeylerinde ilave edildiği belirtilmiştir. Deneme sonuçlarına göre, yemlerdeki fesleğen esansiyel yağ düzeyinin artmasıyla birlikte, E. coli koloni oluşumlarında azalma,

Lactobacillus koloni sayısında ise artış gözlemlenmiştir. Bu durumun, bağırsak mikroflorasının iyileştirilmesine katkı sağladığı ve patojenlerin baskılanması yoluyla performans ve bağışıklık sisteminin dolaylı olarak desteklenebileceği ifade edilmiştir.

Puvača ve ark. (2014) tarafından bildirildiği üzere, uçucu yağlarda bulunan çeşitli biyoaktif bileşiklerin, sindirim kanalında ve dışkıda bulunan *Clostridium* türlerinin popülasyonunun azaltılmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle son yıllarda, tarçın bazlı preparatların (kabuk, toz veya yağ formunda) kullanımıyla ilgili beklentiler artmış; bu ürünlerin, içerdikleri sinamik asit ve sinamaldehit sayesinde gastrointestinal sistemde *Lactobacillus* türlerinin çoğalmasını teşvik ettiği rapor edilmiştir.

Öte yandan, Jamroz ve ark. (2006) tarafından yürütülen bir çalışmada, %5 karvakrol, %3 sinamaldehit ve %2 kapsikum oleorezin içeren bitkisel ekstrelerin kullanılmasıyla tavukların proventrikulus ve jejunum yüzeyinde kalın bir mukus tabakası oluşumunun teşvik edildiği bildirilmiştir. Oluşan bu mukus tabakasının, patojen mikroorganizmaların bağırsak epitel hücrelerine tutunma olasılığını azalttığı ve bunun sonucunda *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* ve maya-mantar gibi mikroorganizmaların popülasyonunun düşmesine katkı sağladığı belirtilmiştir.

Fitobiyotiklerin ince bağırsak morfolojisi üzerine etkileri, fitobiyotiklerin özelliklerine göre değişmekle beraber, genelde villus yüksekliğinde ve villus yüksekliği:kript derinliğinde artış şeklinde olmaktadır (Zeng ve ark., 2015). Yürütülen bir çalışmada (Agostini ve ark., 2012), yeme 100 mg/kg karanfil ilavesi etlik piliçlerin villus morfolojisi parametreleri üzerinde etkili olmazken, bir başka çalışmada (Mohammadi ve ark., 2014) farklı düzeylerde (100, 300 ve 500 mg/kg) kullanılması villus yüksekliği ile villus yüksekliği:cripra derinliği oranını artırmıştır. Karanfile benzer olarak, etlik piliç yemlerine 300 ve 600 mg/kg keklik otu esansiyel yağı ilavesi ince bağırsak villus yüksekliğini etkilemezken, cripta derinliğini düşürdüğü ve villus yüksekliği:cripta derinliği oranını artırdığı bildirilmiştir (Peng ve ark., 2016).

Coşkun ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada, bıldırcın rasyonlarına farklı oranlarda kekik (*Thymus capitatus*) ilavesinin, hayvanların ince bağırsak villus gelişimini olumlu yönde etkileyerek bağırsak histomorfolojisini iyileştirdiği bildirilmiştir. Ayrıca, bu uygulamanın sekum

mikrobiyotasında zararlı bakterileri baskıladığı ve yararlı bakterilerin popülasyonunu artırdığı da ifade edilmiştir.

Abdollahi ve ark. (2024), farklı seviyelerde çörek otu tohumu, virginiamisin ve E vitamininin, etlik piliçlerin performansı, bağırsak histomorfolojisi, ileal sindirilebilirlik ve mikrobiyal popülasyon üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirdikleri çalışmalarında; jejunumda, E vitamini veya çeşitli düzeylerde çörek otu içeren diyetlerle beslenen gruplarda villus yüksekliği ve villus alanının anlamlı düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca, *Lactobacillus* popülasyonunun, virginiamisin ve 20 g/kg çörek otu tohumu içeren gruplarda önemli düzeyde yükseldiği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, piliç rasyonlarına 20 g/kg çörek otu tohumu ilavesinin, performansı, bağırsak morfometrik indekslerini ve yararlı bakterilerin sayısını artırabileceği sonucuna varılmıştır.

Bitkisel ürünlerin antibakteriyel etkilerinin seçici nitelikte olması, onları geleneksel antibiyotiklere kıyasla önemli bir avantaja sahip kılmaktadır. Antibiyotikler hem faydalı hem de zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını baskılayarak bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkileyebilirken; tarçın, kekik ve mercanköşk gibi bitkilerden elde edilen bitkisel ekstraktlar, özellikle patojen bakterilerin çoğalmasını sınırlandırıcı bir etki göstermektedir. Ancak bu etkinin, birden fazla biyoaktif bileşen içeren yüksek konsantrasyondaki ekstraktlarla elde edildiği unutulmamalıdır (Tipu ve ark., 2006).

FİTOBİYOTİKLERİN KANATLILARIN İMMÜN YANITI ÜZERİNE ETKİSİ

Bağıışıklık sistemini uyarıcı özelliklere sahip bitkisel katkı maddelerinin, hayvanların bağışıklık durumunu iyileştirerek immün yanıtlarını güçlendirmesi, böylece genel sağlık durumunu koruyup üretim verimliliğini artırması beklenmektedir. Rasyonlara ilave edilen bu tür bitkisel preparatlar; makrofajların fagositik aktivitesini artırabilir, antikor titresi düzeylerini yükseltebilir, B ve T lenfositlerini aktive edebilir, lizozim sentezini artırabilir, interferon üretimini teşvik edebilir ya da kanser önleyici etkiler gösterebilir (Krauze, 2021).

Bağıışıklık sistemini uyarıcı etkiye sahip bitkisel ürünler arasında sarımsak, ekinezya, tarçın, sinir otu, aloe vera, arnika, kekik, ısırgan otu ve ginseng gibi bitkiler öne çıkmaktadır. Bu bitkilerin bağışıklık üzerindeki

olumlu etkileri, içerdikleri güçlü bağışıklık sistemi uyarıcı bileşiklere dayanmaktadır. Bu bileşikler arasında özellikle polifenoller, kükürtlü bileşikler, alkaloidler, terpenler, saponinler, uçucu yağlar ve tanenler yer almaktadır (Nazeer ve ark., 2002)

Aroche ve ark. (2018), *Anacardium occidentale* (%60), *Psidium guajava* (%20) ve *Morinda citrifolia* (%20) karışımından elde edilen toz formundaki bir bitkisel takviyenin, broyler rasyonlarına ilavesinin bağışıklık sisteminin hızlı tepki verme kapasitesini artırdığını ve genel bağışıklık yanıtını iyileştirdiğini bildirmiştir. Bu etkinin, özellikle immünoglobulin G (IgG) düzeyindeki artış ve makrofaj gibi bağışıklık hücrelerinin sentezinin desteklenmesi yoluyla gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Artan immünoglobulin (özellikle IgG ve IgA) konsantrasyonu, bağışıklık sistemindeki iyileşmenin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmekte olup; bu immünoglobulinler, özellikle bağırsak düzeyinde patojen mikroorganizmalara karşı ilk savunma hattını oluşturan başlıca koruyucu faktörlerdir.

IgG, gastrointestinal sistemde (GIT) meydana gelen bakteriyel saldırılar sırasında başlıca savunma bariyerlerinden biri olarak görev yapmaktadır. Bu immünoglobulinin erken fazda artışı, özellikle hayvanlarda yemden yararlanmanın artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Serum antikor düzeyi, doğal bir ürünün bağışıklık yanıtı üzerindeki etkisini değerlendirmede kullanılan önemli bir biyobelirteç olarak kabul edilmektedir (Aroche ve ark., 2018)

Rahimi ve ark. (2021), etlik piliç rasyonlarına sarımsak ilavesiyle yapılan beslemenin, lökosit ve lenfosit sayısını artırdığını ve serum IgG düzeyini anlamlı şekilde yükselttiğini bildirmişlerdir.

Benzer şekilde, Tajodini ve ark. (2015), broyler rasyonlarına enginar tozu (*Cynara scolymus*) ilavesiyle gerçekleştirdikleri çalışmalarında, serum antikor düzeylerinin anlamlı biçimde arttığını ve buna bağlı olarak bağışıklık sistemi aktivitesinin güçlendiğini rapor etmişlerdir.

Ayrıca, Krause ve ark. (2021), içme suyuna 0,25 mL/L tarçın yağı içeren bir preparatın ilavesinin, tavuklarda metabolizma ve bağışıklık sistemi üzerine olumlu etkiler gösterdiğini bildirmiştir.

FİTOBİYOTİKLERİN OKSİDATİF STRES ÜZERİNDEKİ DÜZENLEYİCİ ROLÜ

Bitkisel antioksidanların sağlık üzerine olan olumlu etkileri, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu ve etkilerine karşı gösterdikleri koruyucu ve dengeleyici mekanizmalarla ilişkilidir. Yapılan araştırmalar, bitkisel kaynaklı bileşiklerin antioksidan aktivitelerinin; kanser, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon ve inme riskini azaltabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hayvansal kaynaklı gıdalarda bu bileşikler, lipid oksidasyonunu geciktirerek acılaşma sürecini yavaşlatmakta, toksik oksidatif ürünlerin oluşumunu önlemekte ve böylece ürünün besin değerinin korunmasına katkı sağlamaktadır (Muanda ve ark., 2011).

Canlı organizmalarda serbest radikal oluşumuna neden olan oksidatif süreçler sürekli olarak gerçekleşmektedir. Ancak bu süreçler, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlardan oluşan karmaşık bir savunma sistemi tarafından dengelenmektedir. Söz konusu sistem, reaktif oksijen türlerinin toksik etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Krauze, 2021).

Reaktif oksijen türleri; lipidlere, proteinlere ve DNA'ya zarar verebilmekte, aynı zamanda bağışıklık sisteminin etkinliğini de zayıflatabilmektedir. Bu durum, hayvan dokularında yapısal bozulmalara yol açarak hayvan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Ayrıca et, süt ve yumurta gibi hayvansal ürünlerin kalitesinin düşmesine ve raf ömürlerinin kısılmasına neden olabilir (Burt, 2004)

Fitobiyotiklerin yapısında yer alan polifenoller, özellikle flavonoidler, tanenler, fenoller, terpenler ve hidrolize edilebilir proantosiyonidinler; hücrelerde glutatyon düzeyinin korunmasında ve hücre zarındaki lipitlerin peroksidasyona karşı savunulmasında görev alan temel antioksidan bileşiklerdir. Flavonoidler arasında, özellikle narenciye ve üzümde bol miktarda bulunan hesperidin, diosmin, dolphinin, epikateşin, resveratrol, kaempferol, kuersetin ve luteolin, en güçlü antioksidan aktiviteye sahip bileşikler olarak öne çıkmaktadır (Muanda ve ark., 2011).

Son yıllarda bitkisel kökenli pek çok antioksidan kaynağı detaylı şekilde araştırılmıştır. Bu kaynaklar arasında yer alan çeşitli aromatik bitkiler ve baharatların, özellikle yağ ve yağ içeriği yüksek gıdalarda lipid peroksidasyon sürecini geciktirme potansiyeline sahip güçlü antioksidan özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu bitkisel kaynakların bilimsel çalışmalarda

artan biçimde ele alınmasına neden olmuştur (Brenes ve Roura, 2010). Ballıbabagiller (*Lamiaceae*) familyasına ait keklik otu (*Origanum vulgare*), kekik (*Thymus vulgaris*) ve biberiye (*Rosmarinus officinalis*) gibi türlerden elde edilen uçucu yağların, kanatlı sağlığına katkı sağlayan başlıca mekanizmalarından biri, karvakrol ve timol gibi fenolik terpen bileşiklerinin yüksek düzeyde bulunmasına bağlı olarak gösterdikleri güçlü antioksidan etkidir (Placha ve ark., 2014).

Fitobiyotiklerin antioksidan etkileri;

- Antioksidan enzimlerin (örneğin süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz) aktivitesinin artırılması veya modülasyonu,
 - Kan plazmasının toplam antioksidan kapasitesinin yükseltilmesi,
 - Lipit peroksidasyon sürecinin inhibisyonu,
 - Hücrel ve dokusal lipit bileşenlerinin oksidatif hasarının önlenmesi
- gibi çeşitli biyokimyasal mekanizmalarla ortaya çıkmaktadır (Ognik ve ark., 2016).

Yapılan araştırmalar, kanatlı hayvan yetiştiriciliğinde biberiye, kekik, kadife çiçeği, adaçayı, karanfil, sarımsak, zencefil ve safran gibi bitkisel kaynakların, et ve yumurtada lipid oksidasyonunu önlemek amacıyla yaygın şekilde kullanıldığını ortaya koymuştur (Florou-Paneri ve ark., 2006).

Basmacıoğlu ve ark. (2004), etlik piliçlerde gerçekleştirdikleri çalışmada, keklik otu (*Origanum onites*) ve biberiye (*Rosmarinus officinalis*) esansiyel yağlarının, piliç etinin depolanma süresince lipid oksidasyonunu azaltmada potansiyel bir sinerjik etki gösterebileceğini bildirmişlerdir. Çalışmada, bu iki esansiyel yağın yemlere toplam 150 mg/kg (her biri 75 mg/kg) düzeyinde karışım halinde ilave edilmesinin, göğüs etinin 15 gün ve sonrasında duyusal kalitesini korumada, sentetik bir antioksidan olan alfa-tokoferol asetat kadar etkili olduğu tespit edilmiştir.

Shirzadegan ve Falahpour (2014), etlik tavukların yemlerine farklı oranlarda yeşil çay ekstresi, tarçın, sarımsak ve hindiba içeren bitkisel karışımın 2.5, 5.0 ve 7.5 g/kg düzeylerinde ilavesinin; antioksidan durumu iyileştirdiğini ve karaciğer dokusundaki süperoksit dismutaz enzim aktivitesini artırdığını bildirmiştir. Bu etkinin, hepatositleri lipid peroksidasyonunun zararlı etkilerine karşı koruyarak karaciğer sağlığını desteklediği belirtilmiştir.

Cherian ve ark. (2013), pelin otunun (*Artemisia annua*) etlik piliç rasyonlarına %2 ve %4 oranlarında katılmasıyla, tiyobarbitürik asit reaktif

maddesi (TBARS) olarak ölçülen lipit oksidasyon ürünlerinin göğüs ve but kaslarında, kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde daha düşük düzeylerde bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgular doğrultusunda araştırmacılar, pelin otunun kanatlı diyetlerinde kullanılabilecek, antioksidan potansiyele sahip doğal bir fitojenik yem katkı maddesi olabileceğini vurgulamışlardır.

Coşkun ve ark. (2025), bıldırcın rasyonlarına farklı oranlarda kekik (*Thymus capitatus* L.) ilavesinin, hayvanların göğüs etlerinde farklı depolama süreleri boyunca gerçekleşen lipit oksidasyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) düzeylerini anlamlı şekilde azalttığını ve bu durumun etin raf ömrü üzerinde olumlu etkiler sağladığını bildirmişlerdir.

KAYNAKÇA

- Abd El-Ghany, W. A. (2024). Potential effects of garlic (*Allium sativum* L.) on the performance, immunity, gut health, anti-oxidant status, blood parameters, and intestinal microbiota of poultry: an updated comprehensive review. *Animals*, 14(3), 498.
- Abd El-Hack, M. E., Alagawany, M., Abdel-Moneim, A. M. E., Mohammed, N. G., Khafaga, A. F., Bin-Jumah, M., ... & Elnesr, S. S. (2020). Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) oil as a potential alternative to antibiotics in poultry. *Antibiotics*, 9(5), 210.
- Abdel-Wareth, A. A., Kehraus, S., & Südekum, K. H. (2019). Peppermint and its respective active component in diets of broiler chickens: growth performance, viability, economics, meat physicochemical properties, and carcass characteristics. *Poultry science*, 98(9), 3850-3859.
- Abdollahi, A., Karimi, A., & Sadeghi, A. (2024). The effects of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed on performance, intestinal morphology, ileum microbial count, and nutrient digestibility of broilers. *Journal of Central European Agriculture*, 25(4), 932-944.
- Agostini, P.S., Sola-Oriol, D., Nofrarias, M., Barroeta, A.C., Gasa, J., Manzanilla, E.G. 2012. Role of in-feed clove supplementation on growth performance, intestinal microbiology, and morphology in broiler chicken. *Livest. Sci.* 147, 113–118.
- Akyildiz, S., & Denli, M. (2016). Application of plant extracts as feed additives in poultry nutrition. *Anim. Sci*, 59(2393), 2260.
- Al-Kassie, G. A. (2009). Influence of two plant extracts derived from thyme and cinnamon on broiler performance.
- Aroche, R., Martinez, Y., Ruan, Z., Guan, G., Waititu, S., Nyachoti, C. M., ... & Lan, S. (2018). Dietary inclusion of a mixed powder of medicinal plant leaves enhances the feed efficiency and immune function in broiler chickens. *Journal of Chemistry*, 2018(1), 4073068.
- Asadi, N., Hussein, S. D., Tohidian, M. T., Abdali, N., Mimandipoure, A., Rafieian-Kopaei, M., & Bahmani, M. (2017). Performance of broilers supplemented with peppermint (*Mentha piperita* L.) powder. *Journal of evidence-based complementary & alternative medicine*, 22(4), 703-706.

- Ashour, E. A., Aldhalmi, A. K., Ismail, I. E., Kamal, M., Elolimy, A. A., Swelum, A. A., & Abd El-Hack, M. E. (2025). The effect of using *Echinacea* extract as an immune system stimulant and antioxidant on blood indicators, growth efficiency, and carcass characteristics in broiler chickens to produce a healthy product. *Poultry science*, 104(1), 104392.
- Ashour, E. A., Aldhalmi, A. K., Ismail, I. E., Kamal, M., Elolimy, A. A., Swelum, A. A., & Abd El-Hack, M. E. (2025). The effect of using *Echinacea* extract as an immune system stimulant and antioxidant on blood indicators, growth efficiency, and carcass characteristics in broiler chickens to produce a healthy product. *Poultry science*, 104(1), 104392.
- Azeke, M. A., & Ekpo, K. E. (2009). Egg yolk cholesterol lowering effects of garlic and tea. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(12), 1113-1117.
- Banday, M. T., Wani, M., Alqahtani, F. M., Adriani, L., Alhomrani, M., Adil, S., ... & Abdulaziz, O. (2025). Enhancing meat-type chicken performance through *Thymus vulgaris* leaf powder supplementation by affecting serum lipid profile, stress physiology, immunity, antioxidants, cecal microbiology, and jejunal histomorphology. *Archives Animal Breeding*, 68(2), 311-323.
- Basmacioğlu, H., Tokuşoğlu, Ö. Z. L. E. M., & Ergül, M. U. S. T. A. F. A. (2004). The effect of oregano and rosemary essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance and lipid oxidation of meat enriched with n-3 PUFA's in broilers. *South African Journal of Animal Science*, 34(3), 197-210.
- Brenes, A., & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal feed science and technology*, 158(1-2), 1-14.
- Buchanan, N.P., Hott, J.M., Cutlip, S.E., Rack, A.L., Asamer, A., Moritz, J.S. 2008. The effects of a natural antibiotic alternative and a natural growth promoter feed additive on broiler performance and carcass quality. *Journal of Applied Poultry Research*, June 2008, 17(2):202-210.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.

- Cayan, H., & Erener, G. (2015). Effect of olive leaf (*Olea europaea*) powder on laying hens performance, egg quality and egg yolk cholesterol levels. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 538.
- Chandran, D., Emran, T. B., Nainu, F., Sharun, K., Kumar, M., Mitra, S., ... & Dhama, K. (2022). Beneficial effects of dietary *Allium sativum* (Garlic) supplementation on health and production of poultry: A mini-review. *Toxicol. Rep*, 9, 821-824.
- Cherian, G., Orr, A., Burke, I. C., & Pan, W. (2013). Feeding *Artemisia annua* alters digesta pH and muscle lipid oxidation products in broiler chickens. *Poultry science*, 92(4), 1085-1090.
- Coskun, I., Cayan, H., Turgud, F. K., & Akay, V. (2025). Differentiation of growth performance, gut health, and meat quality characteristics of Japanese quails fed diets containing *Thymus capitatus* L.(Hoffm. et Link) and symbiotic (SynerAll®). *Biologia*, 1-11.
- Çetin, M., & Göçmen, M. (2015). Kanatlı hayvanların beslenmesinde antibiyotiklere alternatif olarak kekik (thyme) kullanmanın etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 17(3), 35-40.
- Darabighane, B., & Nahashon, S. N. (2014). A review on effects of *Aloe vera* as a feed additive in broiler chicken diets. *Annals of Animal Science*. 143:491-500.
- Du, E., Wang, W., Gan, L., Li, Z., Guo, S., & Guo, Y. (2016). Effects of thymol and carvacrol supplementation on intestinal integrity and immune responses of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. *Journal of animal science and biotechnology*, 7(1), 19.
- Durrani, F. R., Ismail, M., Sultan, A., Suhail, S. M., Chand, N., & Durrani, Z. (2006). Effect of different levels of feed added turmeric (*Curcuma longa*) on the performance of broiler chicks. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1(2), 9-11.
- Erdoğan, Z., Erdoğan, S., Aslantaş, Ö., & Çelik, S. (2007). sinbiyotik ve fitobiyotik katkısının broylerlerde performans, ince bağırsak ağırlığı ve pH'sı, sekal koliform sayısı ve oksidatif metabolizma üzerine etkileri. IV. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi, 64(70), 24-28.
- Erener, G., Ocak, N., Ozturk, E., Cankaya, S., Ozkanca, R., & Altop, A. (2020). Evaluation of olive leaf extract as a growth promoter on the performance,

- blood biochemical parameters, and caecal microflora of broiler chickens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20180300.
- Erener, G., Ocak, N., Ozturk, E., Cankaya, S., Ozkanca, R., & Altop, A. (2020). Evaluation of olive leaf extract as a growth promoter on the performance, blood biochemical parameters, and caecal microflora of broiler chickens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20180300.
- Fathi, M., Hosayni, M., Alizadeh, S., Zandi, R., Rahmati, S., & Rezaee, V. (2023). Effects of black cumin (*Nigella sativa*) seed meal on growth performance, blood and biochemical indices, meat quality and cecal microbial load in broiler chickens. *Livestock Science*, 274, 105272.
- Florou-Paneri, P., Giannenas, I., Christaki, E., Govaris, A., & Botsoglou, N. (2006). Performance of chickens and oxidative stability of the produced meat as affected by feed supplementation with oregano, vitamin C, vitamin E and their combinations. *European poultry science*, 70(5), 232-240.
- Gadde, U., Kim, W. H., Oh, S. T., & Lillehoj, H. S. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Animal health research reviews*, 18(1), 26-45.
- Ghafouri, S. A., Ghaniei, A., Tamannaee, A. E. T., Sadr, S., Charbgo, A., Ghiassi, S., & Abuali, M. (2023). Evaluation of therapeutic effects of an herbal mixture (*Echinacea purpurea* and *Glycyrrhiza glabra*) for treatment of clinical coccidiosis in broilers. *Veterinary Medicine and Science*, 9(2), 829-836.
- Ghasemi, H. A., Kasani, N., & Taherpour, K. (2014). Effects of black cumin seed (*Nigella sativa* L.), a probiotic, a prebiotic and a synbiotic on growth performance, immune response and blood characteristics of male broilers. *Livestock Science*, 164, 128-134.
- Giannenas, I., Florou-Paneri, P., Papazahariadou, M., Christaki, E., Botsoglou, N. A., & Spais, A. B. (2003). Effect of dietary supplementation with oregano essential oil on performance of broilers after experimental infection with *Eimeria tenella*. *Archives of Animal Nutrition*, 57(2), 99-106.
- Hashemi, S. R., & Davoodi, H. (2011). Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary research communications*, 35(3), 169-180.

- Hippenstiel, F., Abdel-Wareth, A. A. A., Kehraus, S., & Südekum, K. H. (2011). Effects of selected herbs and essential oils, and their active components on feed intake and performance of broilers—a review. *European Poultry Science*, 75(4), 226-234.
- Hossain, M. A., Mostofa, M., Alam, M. N., Awal, M. A., & Rahman, M. M. (2014). Effects of garlic (*Allium sativum*) feed supplement on hemato-biochemical properties in broiler chickens with sub-clinical toxicity of lead. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 1(1), 87-96.
- Hussein, S. M. (2021). Effect of peppermint (*Mentha piperita*) powder on performance, gut morphology and immune organs response of coccidiosis infected broilers. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 52(2), 276-290.
- Hussein, S. M., M'Sadeq, S. A., Beski, S. S. M., Mahmood, A. L., & Frankel, T. L. (2021). Different combinations of peppermint, chamomile and a yeast prebiotic have different impacts on production and severity of intestinal and bursal abnormalities of broilers challenged with coccidiosis. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 1924-1934.
- Jamroz, D., Wiertelicki, T., Houszka, M., & Kamel, C. (2006). Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90(5-6), 255-268.
- Jarić, S., Popović, Z., Mačukanović-Jocić, M., Djurdjević, L., Mijatović, M., Karadžić, B., ... & Pavlović, P. (2007). An ethnobotanical study on the usage of wild medicinal herbs from Kopaonik Mountain (Central Serbia). *Journal of ethnopharmacology*, 111(1), 160-175.
- Karasu, K., & Öztürk, E. (2014). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kanatlılarda antioksidan ve antimikrobiyal etkileri. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(Özel Sayı-2), 1766-1772.
- Kaya, A., & Turgut, L. (2012). Yumurtacı Tavuk Rasyonlarına De÷erli Oranlarda Katılan Adaçayı (*Salvia officinalis*), Kekik (*Thymbra spicata*), Nane (*Menthae piperitae*) Ekstraktları ile Vitamin E'nin Performans, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı TBARS Değerleri Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 49-58.

- Khan, R. U., Khan, A., Naz, S., Ullah, Q., Laudadio, V., Tufarelli, V., & Ragni, M. (2021). Potential applications of *Moringa oleifera* in poultry health and production as alternative to antibiotics: a review. *Antibiotics*, 10(12), 1540.
- Krauze, M. (2021). Phytobiotics, a natural growth promoter for poultry. *Advanced studies in the 21st century animal nutrition*, 8.
- Krauze, M., Cendrowska-Pinkosz, M., Matusevičius, P., Stępniewska, A., Jurczak, P., & Ognik, K. (2021). The effect of administration of a phytobiotic containing cinnamon oil and citric acid on the metabolism, immunity, and growth performance of broiler chickens. *Animals*, 11(2), 399.
- Méndez Zamora, G., Durán Meléndez, L. A., Hume, M. E., & Silva Vázquez, R. (2017). Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 515-520.
- Miguel, M.G. 2010. Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: a short review. *Molecules* 2010, 15, 92529287.
- Moula, N., Sadoudi, A., Touazi, L., Leroy, P., & Geda, F. (2019). Effects of stinging nettle (*Urtica dioica*) powder on laying performance, egg quality, and serum biochemical parameters of Japanese quails. *Animal Nutrition*, 5(4), 410-415.
- Muanda, F., Koné, D., Dicko, A., Soulimani, R., & Younos, C. (2011). Phytochemical composition and antioxidant capacity of three malian medicinal plant parts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011(1), 674320.
- Nazeer, M. S., Pasha, T. N., Shahid Abbas, S. A., & Zulfiqar Ali, Z. A. (2002). Effect of *Yucca* saponin on urease activity and development of ascites in broiler chickens.
- Ognik, K., & Krauze, M. (2016). The potential for using enzymatic assays to assess the health of turkeys. *World's Poultry Science Journal*, 72(3), 535-550.
- Ognik, K., Cholewińska, E., Sembratowicz, I., Grela, E., & Czech, A. (2016). The potential of using plant antioxidants to stimulate antioxidant mechanisms in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 72(2), 291-298.

- Olobatoke, R. Y., & Mulugeta, S. D. (2011). Effect of dietary garlic powder on layer performance, fecal bacterial load, and egg quality. *Poultry science*, 90(3), 665-670.
- Özbudak, S. (2019). Fitobiyotikler ve Etlik Piliçlerin Beslenmesindeki Rolü. *Journal of Poultry Research*, 16(1), 23-29.
- Peng, Q.Y., Li, J.D., Li, Z., Duan, Z.Y., Wu, Y.P. (2016). Effects of dietary supplementation with oregano essential oil on growth performance, carcass traits and jejunal morphology in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 214 : 148–153.
- Placha, I., Takacova, J., Ryzner, M., Cobanova, K., Laukova, A., Strompfova, V., ... & Faix, S. (2014). Effect of thyme essential oil and selenium on intestine integrity and antioxidant status of broilers. *British Poultry Science*, 55(1), 105-114.
- Puvača, N., Lukač, D., Ljubojević, D., Stanačev, V., Beuković, M., Kostadinović, L., & Plavša, N. (2014). Fatty acid composition and regression prediction of fatty acid concentration in edible chicken tissues. *World's Poultry Science Journal*, 70(3), 585-592.
- Rahimi, D., Yarahmadi, H. M., Yaghobfar, A., & Fakhraei, J. (2021). Effects of garlic powder and *Satureja Khuzestanica* essential oil on male ross 308 chickens performance, blood lipid profile, immune responses, intestinal microflora, and morphology. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 16(1).
- Riyazi, S. R., Ebrahimnezhad, Y., Hosseini, S. A., Meimandipour, A., & Ghorbani, A. (2015). Comparison of the effects of basil (*Ocimum basilicum*) essential oil, avilamycin and protexin on broiler performance, blood biochemistry and carcass characteristics. *Archives Animal Breeding*, 58(2), 425-432.
- Saini, R., Chhikara, S. K., Sahu, S., & Yadav, D. C. (2022). The Potential of Aloe vera as a Herbal Feed Additive for Livestock—A Review. *Int. J. Bio-Resour. Stress Manag*, 13, 163-170.
- Shirzadegan, K., & Falahpour, P. (2014). The physicochemical properties and antioxidative potential of raw thigh meat from broilers fed a dietary medicinal herb extract mixture. *Open Veterinary Journal*, 4(2), 69-77.

- Suresh, D., & Srinivasan, K. (2007). Studies on the in vitro absorption of spice principles—curcumin, capsaicin and piperine in rat intestines. *Food and chemical toxicology*, 45(8), 1437-1442.
- Şevket, E. V. C. İ., Cinar, M., Erva, E. S. E. R., Kanber, K. A. R. A., & ŞENOL, A. (2025). Effect of Peppermint Oil (*Mentha piperita*) Supplementation in Quail Diets on Egg Production and Some Egg Quality Characteristics, Oxidative Stress Parameters and Lipid Profile. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 31(1).
- Tajodini, M., Samadi, F., Hasani, S., Hashemi, S. R., & Samadi, S. (2015). Influence of artichoke (*Cynara scolymus*) leaf powder on growth performance, carcass traits and blood parameters in broiler chickens.
- Tipu, M. A., Akhtar, M. A., Anjum, M. I., & Raja, M. L. (2006). New dimension of medicinal plants as animal feed. *Pakistan Vet. J.*, 26(3): 144-148.
- Vinus, R. D., Sheoran, N., Maan, N., & Tewatia, B. (2018). Potential benefits of herbal supplements in poultry feed: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 7(6), 651-656.
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E., Turcu, R. P., Saracila, M., Panaite, T. D., & Cornescu, G. M. (2022). Nutritional composition and bioactive compounds of basil, thyme and sage plant additives and their functionality on broiler thigh meat quality. *Foods*, 11(8), 1105.
- Wenk, C. (2003). Herbs and botanicals as feed additives in monogastric animals. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(2), 282-289.
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of animal science*, 86(suppl_14), E140-E148.
- Yang, C., Chowdhury M.A.K., Hou Y., Gong J. (2015). Phytogetic compounds as alternatives to in-feed antibiotics: potentials and challenges in application. *Pathogens* 4, 137156.
- Yeşilbağ, D. (2007). Fitobiyotikler. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(1-2), 33-39.
- Zaazaa, A., Mudalal, S., Sabbah, M., Altamimi, M., Dalab, A., & Samara, M. (2023). Effects of Black Cumin Seed (*Nigella sativa*) and Coconut Meals (*Cocos nucifera*) on Broiler Performance and Cecal Microbiota. *Animals*, 13(3), 535.

Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of animal science and biotechnology*, 6(1), 7.

BÖLÜM 20

PEYZAJ PLANLAMA VE TASARIM KAVRAMLARINA GENEL BAKIŞ

Dr. Derya DURAN GÖKALP¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16779716>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kırşehir, Türkiye.
derya.durangokalp@ahievran.edu.tr ORCID ID:0000-0002-1211-5556

GİRİŞ

Kentsel ve kırsal alanlardaki yaşam koşulları ekonomik, sosyal, kültürel ve diğer tüm etkenlere bağlı olarak yaşam kalitesini olumlu yada olumsuz yönden etkilemektedir. Giderek zorlaşan yaşam koşulları insanlar üzerinde farklı etkilere neden olmaktadır. Doğal yaşam alanlarına duyulan özlem her geçen gün artmaktadır. Kent yaşamının sunduğu imkan ve olanaklar belli bir yaşantıdan sonra insanlar üzerinde psikolojik baskılara dönüşmektedir. Bu nedenle kent yerleşimleri arasında kalan peyzaj alanları; kaçış noktaları, dinlenme yada günümüz deyimiyle resetlenme ortamları yaratmaktadır. Bu ortamlar büyük ölçekli kent parkları, rekreasyon alanları olabilirken küçük bir semt parkı yada ağaç gölgesi de olmaktadır. Peyzaj kendi içerisinde farklı anlamalar taşısa da yaşam döngüsü içinde çevresel, ekolojik, psikolojik, sosyo-kültürel, tarihsel, planlama ve tasarım olarak geniş bir etkiye sahiptir. Büyük yada küçük ölçekli olsun planlama ve tasarım aşamalarında farklı meslek grupları ile bir arada koordineli olarak çalışmak, sürdürülebilirlik ve uygunluk açısından önem taşımaktadır.

1. Peyzaj

Avrupa Peyzaj Sözleşmesi'ndeki (APS) tanıma göre “peyzaj; özellikleri, insan ve/veya doğal faktörlerin etkileşimi sonucunda insanlar tarafından algılandığı şekilde oluşan bir alandır”. Bu tanımla doğal ve yapay peyzajlar birlikte tanımlanmaktadır. Sözleşme kapsamında peyzajın tanımına, doğa parkları ve rezervleri, zarar görmüş peyzajlar ile tarihi alanlar, her türlü açık alanlarla insan aracılığı ile oluşturulmuş peyzajlar da girmektedir (Kaska, 2012). Peyzaja anlam olarak; manzara veya görünüm denilmektedir. Bir noktadan bakınca görüş açısında bulunan doğal ve kültürel varlıkların bir arada oluşturdukları görünüşür.

2. Peyzaj planlama

Peyzaj planlama ihtiyaçlara yönelik alan kullanım kararların alındığı bir süreçtir. Planlamada mevcut peyzaj değerlerine yönelik öncelikle kaynak envanter ve analiz çalışmaları yapılmalıdır. Peyzajları iyileştirme, ıslahı, çevresel etkilerin oluşturduğu olumsuz özellikler arazi uygunluğuna bağlı olarak en iyi kullanım şartlarını sağlamayı hedef edinmelidir. Her alanın kendi özelliklerine bağlı olarak uygulanabilecek en doğru kullanım kararları planlama ile alınmalıdır. Peyzaj planlama çalışma ölçeği 1:1000-1:50.000 arasında

olabileceği gibi çalışma alanı büyüklüğüne bağlı olarak üstünde de olabilir.

Peyzaj planlama makro plan ölçekli (1/1000 ve üstü) bir çalışma iken, peyzaj tasarım mikro plan ölçekli bir çalışmadır (1/1000 ve altı). Peyzaj planlama özellikle ekolojik faktörler göz önünde tutularak, arazinin en uygun kullanımına ilişkin plan kararlarının alındığı bir süreçtir. Bu sebeple planlar “kullanım karar planları” olarakta adlandırılmaktadır. Ülke ölçeğinde bölge, kent, yerleşim ölçeğine basamak basamak aktarılarak ayrı ayrı birbirinden bağımsız planlaması yapılmalıdır (Korkut vd. 2010).

Peyzaj planlama Avrupa ülkelerinde üstten- alt ölçeğe hiyerarşik bir düzen içindedir. Almanya’da peyzaj planlama 3 farklı ölçekte; bölgesel peyzaj programı, yerel peyzaj planları, master planları olarak yapılmaktadır (Uzun vd., 2010). Hollanda da ise; peyzaj planlama çalışmaları mekânsal planlara bağlıdır. İspanya’da doğal kaynak planlarına bağlı ‘Doğal Kaynak Planlama Rehberi’ bulunmaktadır (Uzun vd., 2012). İtalya’da ise estetik kavramların üstün geldiği peyzaj düzenlemeleriyle görsel niteliklerin korunması üzerine odaklanmıştır (Uzun vd., 2012). Uluslararası nitelikte bir sözleşme olan Avrupa Peyzaj Sözleşmesi, ulusal sözleşmelerden üstte olup APS’ye göre; peyzajlar çeşitlilik ve kalite yönünden ortak bir kaynaktır, bu kaynakların; planlanması, yönetilmesi ve korunmasında iş birliği önemlidir (Çırak, B.N. & Demir Alp, S. 2023).

Farklı meslek disiplinlerinin yanısıra bilgisayar ve uzaktan algılama programlarıyla birlikte çalışılan diğer programlar; peyzaj fonksiyonlarının yapısının ve değişimlerinin anlaşılmasında, planlanmasında kolaylık sağlamaktadır (Uzun vd., 2010).

Peyzaj planlama çalışmalarında; doğal kaynakların korunması, insanlar için yaşam kalitesinin geliştirilmesi ve kolay uygulanabilir kararların alınabilmesi önemlidir (Şenöz, 2013)

Planlamanın ana amacı; mevcut doğal peyzajın yapısını korumak, planlamada imar çalışmaları denetimiyle sürdürülebilirlik sağlamak, yerel paydaşların ve kullanıcıları planlamaya dahil ederek aktifleştirmek, alanla ilgili çevresel kaynak değerlerini iyileştirme, ıslah ve korumaya yönelik çalışmalar yapmak olmalıdır.

3. Peyzaj tasarımı

Planlamada belirlenen alanların tasarım olarak detaylı gösterimidir. Peyzaj tasarımında, planlama aşamasında belirlenen alan kullanım kararlarına bağlı olarak alanlar şekillendirilerek detaylandırılır ve arazinin kullanımı detayları ile ortaya konulmalıdır.

Peyzaj planlama sürecinin son aşaması, peyzaj tasarım sürecinin ilk aşamasıdır. Planlamada alına kararlar bağlı olarak alanlar şekillendirilir. Uygun olan en iyi mekânsal kompozisyon ortaya konulmalıdır. Peyzaj tasarım süreci genel olarak tasarımcının kontrolündedir. Bir başka deyişle tasarımcının tecrübesi, vizyonu, bilgi ve kültürü birikimi, estetik anlayışı, yeteneği tasarımlarına yansır. Peyzaj tasarımlarında ayrıntılı iki veya üç boyutlu grafiksel sunumlar tasarımın anlaşılabilirliğini güçlendirir. Çalışma ölçeği 1:1-1:1000 arasındadır (Korkut vd. 2010).

Planlama ve tasarım aşamalarında alanın çevre uyumuna ve birbirleri ile olan ilişkilerine bakıldığında dört aşamaya ayrılmaktadır.

- 1- Kentsel alandaki bir planlama parselin özellikleri
- 2- Kırsal alandaki bir planlama parselin özellikleri
- 3- Eğimli bir alandaki planlama parselin özellikleri
- 4- Düz bir alandaki planlama parselin özellikleri

3.1 Kentsel alandaki bir planlama parselin özellikleri

Kentsel alanlarda mekan sınırlıdır. Bu alanları en iyi şekilde değerlendirmek ve ortaya çıkarmak gereklidir. Kentsel alandaki küçük ölçekli bir alanı olduğundan büyük gösterecek tasarımlar yapılmalıdır. Bu nedenle tasarımda küçük ölçekli objeler kullanılmalı alanın dışında yer alan güzel objeleri tasarıma dahil edilerek tamamlayıcı bir etki oluşturulmalıdır.

Kentsel alanda insan psikolojik olarak olumsuz bir etki altındadır. İnsanı huzura kavuşturacak tasarımlar yapılmalıdır. Kentsel alanlarda insan çevresindeki yapılar formal renkler cansızdır. Bu yüzden daha kavisli, yuvarlak çizgili, yumuşak formlar (salkım söğüt, kavisli yollar gibi) kullanılmalıdır. Kentsel alanlar aynı zamanda toz, duman, gürültü, sıcaklık gibi bazı olumsuz faktörlerin etkisi altındadır. Bu olumsuz etkileri azaltmak için bitkisel materyaller ile paravanlar kullanılmalıdır. Yaz sıcaklığını azaltmak için gölgeli ağaçlara, su yüzeylerine, pergola gibi gölgelik oturma alanlarına önem verilmelidir. Kent içinde doğaya ait bir peyzaj oluşturulmalıdır (Korkut vd.

2010).

3.2 Kırsal alandaki bir planlama parselin özellikleri

Kırsal alanlar, kentsel alanlara göre daha büyük ve geniş alanlardır. Doğa ile daha bütünleşik, doğal bitki varlığına sahiptir. Ancak bakım imkânları, sulama ve kullanma koşulları ile daha kısıtlıdır. Alan özelliği, formu gereği tasarımcıyı kısıtlamadan daha geniş alanlarda çalışma fırsatı sunar.

Kırsal alanlarda yapılar formlarını arazi yapılarından alır. Meteorolojik olayların direk etkisi altındadır. Mikroklima koşullarına uygun olarak peyzaj analizlerinin özenle yapılması gerekmektedir (Korkut vd. 2010).

3.3 Eğimli bir alandaki planlama parselin özellikleri

Eğimli alanda parseli etkileyen en önemli faktör tesviye (eş yükselti) eğrileri olup, planlama unsurlarının yerleşimlerini belirler ve etkiler (Korkut vd. 2010).

Eğimli alanlarda geniş düzlükler olmadığı için toprak tesviyeleri ile düzlükler oluşturulabilir. Eğim yada meyil basamaklar ve kavisli yollar ile birleştirilebilir. Bu alanlar gezinti yolları, yürüyüş ve seyir teraslarına imkan sağlar. Gözlem yapabilme, alanı geniş bir perspektif açısından seyretme olanakları ile makro peyzajdan fayda sağlar.

Eğimin fazla olması erozyon ve drenaj sorunlarını da aynı oranda artırır. Bitki örtüsünün az olduğu yada olmadığı alanlarda bu sorun daha da fazladır. Bu sorunları giderici yada azaltıcı önlemleri almak tasarımcının sorumluluğundadır.

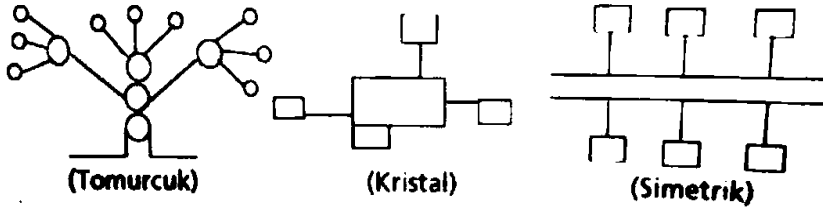
Eğimli alanlardaki yapılar bulunduğu konum itibariyle önem taşır. Bu alanlarda üst noktalara yerleştirilen yapılar görsel alanlara görüş ve teşhir imkanları yaratır.

Eğimli alanlar dinamik yapıları sayesinde tasarımcıya arazi özelliğine göre kaya bahçeleri, şelale, su yolu, görsel seyir alanları gibi hareketlilik katacak tasarımlara ilham verir. Düz alanların monotonluğu bu alanlarda yoktur.

3.4 Düz bir alandaki planlama parselin özellikleri

Düz arazi sadece iki boyutu (en ve boy) olan bir yüzeydir. Yüksekliği yani hacmi yoktur. Bu sebeple tasarımda bazı problemler ortaya çıkabilir. Düz alanlar “Tomurcuk”, “Kristal”, “Simetrik” yerleşim gibi her çeşit yerleşime

uygundur (Korkut vd. 2010).



Şekil 1: Bazı yerleşim tipleri

Kaynak: Korkut vd. 2010

Düz alanlar yapısal unsurların yerleşimi için uygun alanlar olsa da hareketli olmadığından monotonluk hissi yaratırlar. Bu monotonluk tasarımcının planlaması ile kırılabilir. Planlamada düz alanlarda kullanılan her obje baskın ve ön planda görünür. Yapılacak olan hatalarda bir o kadar dikkat çekici olur. Bu yüzden kullanılacak tasarım öğelerine, objelere, bitkisel ve yapısal unsurların birbirleriyle olan ilişkilerine, oran ve ölçülerine önem verilmelidir.

Düz alanlar, iklim faktörlerinden özellikle güneşlenme etkisi altındadır. Bir tepede ise güneşlenme her yerde aynı değildir. Aynı zamanda gizlilik paravan, ağaçlar, duvar, çalı gibi unsurlar ile sağlanabilir. Düz alanlarda yatay çizgiler planlama elemanı olarak baskındır. Yapılar bu çizgiye paralel yada dikey karakter de olabilir.

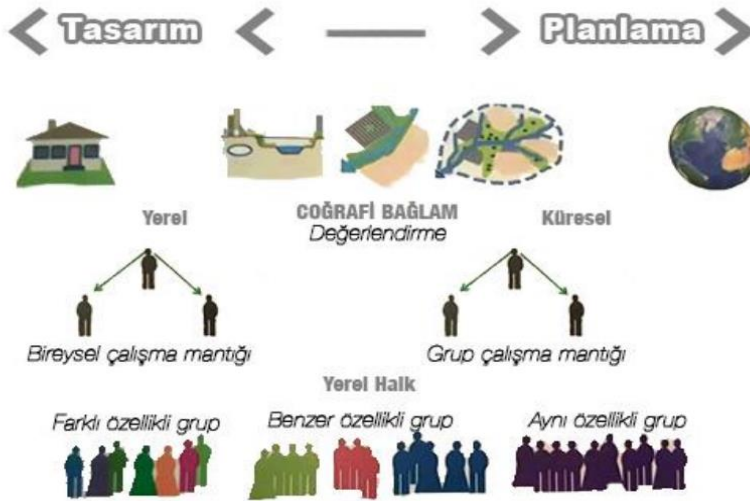
Düz alanlarda insan gökdelen şeklinde yüksek yapılaşmalarla kendi ölçüsünü kaybetmektedir. Alanlardaki insan ölçüsü kademeli olarak kullanılan bitkisel peyzaj tasarımlarıyla insan ölçüsüne çekilir. İnsana güven ve mekan duygusu yaratılır.

Peyzaj tasarımı, belirlenen kullanımların birbirleriyle olan ilişkilerini kurgulamaya dayalı bir tasarım disiplini. Peyzaj tasarım aşamasında tek düzelikten çok çoklu kullanımlar amaçlanır. Tasarım, soyut planları fiziksel yapıya çevrilebilen bir sistemdir. Burada çoğulculuğun amacı kullanılabilen kaynaklar arasında daha çok ilişkiler kurma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Sonuçta tasarım; eldeki mevcut malzemelerle yenilikçi bir sentez oluşturmaktır. Bu sistem, Nijhuis (2015)'a göre dört ilkedен oluşmaktadır.

- 1- Peyzajı üç boyutlu olarak algılamak;
- 2- Peyzajı tarihsel olarak algılamak,

- 3- Peyzajı ölçek sürekliliği olarak algılamak,
- 4- Peyzajı devam eden süreç olarak algılamaktır.

Sonuç olarak; peyzaj planlama ve tasarım kavramları makro ve mikro ölçüde birbirleri ile bağlantılı kavramlardır. Peyzaj planlama alan kullanım kararlarının alındığı süreç olmakla birlikte tasarıma altlık oluşturmakta ve öncülük etmektedir. Planlama aşamasında peyzaj alanının; eğim bakı, yükseklik, toprak, jeolojik, su-bitki varlığı, iklim özellikleri, ulaşım-ulaşılabilirlik, sosyo-kültürel ve demografik yapısı gibi tüm özellikleri analiz edilmelidir. Yapılan tüm analizlere bağlı olarak peyzaj tasarım süreci geliştirilmelidir. Tasarımcının özellikleri ve niteliklerine göre planlanan alan kullanımlarının birbirleriyle uyumu, ilişkisi, aktif kullanımı ve sürdürülebilir olması önemlidir.



Şekil 1: Tasarım ve planlama ilişkisi

Kaynak: Steinitz, 2012

Peyzaj tasarım ve planlama birbiriyle çok ilişkili aşamalardır. Birinin varlığı diğerini dolaylı veya doğrudan olarak etkilemektedir. Kavramların tam olarak ayırımının yapılamayacağı Carl Steinitz, Jack Dangermond gibi mesleğinde uzman olan kişiler tarafından ifade edilmektedir. Ama genel olarak peyzaj tasarımı, peyzajda mevcut öğelerin düzenlenmesini içeren teknik ve sanatsal çizimleri içinde barındırabilirken, peyzaj planlama daha büyük alanları

kapsayan, yapılan işin içinde farklı kullanıcıların olduğu uzun dönemleri kapsamaktadır (Holden, 2013). Peyzaj planlama ve tasarım, şeffaflık ve yaratıcılık gibi konular doğrultusunda ayrı metodolojik yaklaşımları barındırmaktadır. Örnek olarak peyzaj tasarımında; fikir ve konseptlerin ortaya çıkmasında sezgi ve yaratıcılık ön planda, entelektüel bakış açısıyla problemlerin çözümü önemlidir. Peyzaj planlamada ise; bilimsel uygulamalar görülmektedir. Standart prosedürlerin yanısıra, CBS analizleri sonucunda oluşturulmuş altlıklar, yasal uygulamalar ile sınırlandırılmıştır (Çabuk S.N., 2014).

Tablo 1. Peyzaj tasarım ve planlama kavramlarını ölçek olarak incelenmesi

Eylem	Ölçek	Anahtar kelimeler
Mekansal planlama	>1:50000	CBS, araştırma, geliştirme, doğa koruma, siyaset, imar haritaları, arazi kullanımı, diyagramlar, modeller, ekonomi, istatistikler, sosyoloji grafikleri, demografi vs.
Peyzaj planlama		Araştırma, peyzaj ekolojisi, koridorlar, alanlar, mekânsal ve simülasyon modelleri, güvenlik açığı, çekicilik, uygunluk; ÇED-çevresel etki değerlendirme süreçleri, etkileşimler, koruma, CBS, arazi kullanımları, imar haritaları ve şemaları vb.
Peyzaj tasarım (geniş ölçek)		Peyzaj ekolojisi, süreç, araştırma, değişim, tasarım, modeller, CAD, bölgesel zon haritaları, çizimler, plan ve eskizler, diyagramlar vb.
Peyzaj tasarım (detay ölçek)	<1:1000	Form, sanat, değişim, şekil, CAD, tasarım, planlar, teknik çözümler, çizimler veya eskizler, ayrıntılar, yapılar, peyzaj teknikleri, dikim planları, sulama, drenaj, bakım vb.

Kaynak: Gazvoda,2002.

Planlanacak peyzaj alanının kentsel, kırsal, eğimli, düz olmasına bağlı olarak açıklanan planlama kavramlarına uygun tasarım ölçütlerine dikkat edilmelidir. Alan özellikleri plan unsurlarını ve tasarımlarını doğrudan etkilemektedir. Her alanın mevcut peyzaj özelliklerinin korunarak ortaya çıkarılması, vurgulanması, analiz edilmesi ve sürdürülebilir nitelikte olması planlama ve tasarım aşama ölçütlerinin belirlenmesi ile yol gösterici olabilmektedir. Alan özelliklerine bağlı olarak peyzaj planlama ve tasarım süreçleri diğer meslekler ile de değerlendirilmesi gereken kavramlar olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Çabuk, S.N. ve Değerliyurt, M. (2014). Değişen Gezegenimizde Yaşanabilir ve Sağlıklı Çevreler İçin Peyzaj Mimarlığı içinde (s. 94-126). Ankara: Detay Yayıncılık.
- Çırak, B.N. & Demir Alp, S. (2023). *Türkiye’deki peyzaj planlama sürecine ekosistem restorasyonu entegrasyonu*. GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism, Recreation and Sports Sciences (ATRSS), 6 (2): 359-377
- Holden, R. (2013). The Garden Visit. http://www.gardenvisit.com/landscape_architecture/landscape_debate/definition_eid.(Erişimtarihi: 10.07.2025).
- Gazvoda, D. (2002). Characteristics Of Modern Landscape Architecture And Its Education. Landscape and Urban Planning. 60, 117–133.
- Kaska, E. (2012). Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (Aps) ve Türkiye’deki Uygulamaların İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Korkut, A.B. & Şişman, E.E. & Özyavuz, M. (2010). *Peyzaj Mimarlığı*. İstanbul: Verda Yayınları.78-83.
- Nijhuis, S. (2015). GIS-based landscape design research. Rotterdam: Architecture and The Build Environment
- Steinitz, C. (2012). Framework for Geodesign: Changing Geography by Design. Redlands: ESRI Press.
- Şenöz, E. (2013). Kaynak Envanter Ve Analizinde CBS Desteği: Geotasarım Kuramının Deneyimlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Uzun, O., Karadağ, A. & Gültekin, P. (2010). Coğrafi bilgi sistemlerinin ve uzaktan algılama’nın peyzaj planlamada kullanımı. III. Uzaktan Algılama ve Coğrai Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 97-106. 11 – 13 Ekim 2010, Kocaeli.
- Uzun, O., İlke E.F., Çetinkaya, F. & Açıksöz, S. (2012). peyzaj planlama: konya ili, bozkırseydeşehir-ahırılıyalıhüyük ilçeleri ve suğla gölü mevkiî peyzaj yönetimi koruma ve planlama projesi, Ankara

BÖLÜM 21

BİTKİ FENOLOJİ MODELLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Sebahattin YILMAZ¹
Zir. Yük. Müh. Kadir Aytaç ÖZAYDIN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780054>

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye. sebahattinyilmaz@ahievran.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6184-8465

² Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye. kadiraytac.ozaydin@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0003-4654-9106

GİRİŞ

Fenoloji kavramı, genellikle bitki ve hayvanlarda mevsimsel olarak tekrarlanan olayların zamanlamasını ve bu zamanlamanın iklim faktörleriyle ilişkilerinin incelenmesi olarak tanımlanır (Schwartz, 2013). Bir terim olarak "fenoloji" ilk olarak 1853 yılında Belçikalı botanikçi Charles Morren tarafından ortaya atılmış olup, kökenini Yunanca “görünmek” veya “belirmek” anlamına gelen *phaino* kelimesinden almaktadır (Demarée ve Rutishauser, 2009). İlkbaharda bitkilerin filizlenmesi ve çiçek açması, sonbaharda yaprakların renk değiştirmesi, kuşların göç etmesi ve yuva yapması, böceklerin yumurtadan çıkması ve hayvanların kış uykusuna girmesi, fenolojik olaylara örnek olarak verilebilir. Günümüzde, “fenoloji” olarak adlandırılan insan bilgisi ve etkinliklerinin uygarlık tarihi kadar eski olduğu düşünülmekle birlikte bir bilimsel disiplin olarak gelişmesi ve kabul edilmesi çok yakın dönemde gerçekleşmiştir. Bu çerçevede, İsveçli botanikçi Carolus Linnaeus’un (veya Carl von Linné) doğa takvimi çalışmaları, fenoloji bilimi için bir başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir (Schwartz, 2013).

18. yüzyılda Linnéus’un öncülüğünde kurulan fenolojik gözlem ağları ve bu ağların kıta ölçeğine ulaşarak sistematik bilgi toplama çabalarına dönüşmesi, 19. ve 20. yüzyıllarda Alman araştırmacılar Ihne ve Hoffman’ın fenoloji haritalarını oluşturarak bu bilgileri kullanışlı hale getirmeleri, dünyanın çeşitli ülkelerindeki bilim adamlarının tarım, bahçecilik ve ormancılık alanlarında fenolojik ve meteorolojik gözlemleri birleştirip eş güdümlü olarak yürütmeye başlamaları, Schnelle (1955)’in fenoloji biliminin faaliyet ve sınırlarını tanımlama çabaları bir çevre bilimi olarak şekillenmesinde önemli ilerleme taşları olmuştur (Hopp, 1974; Schnelle, 1955; Schwartz, 2013). Fenoloji bilimi, Lieth’in (1974) disiplinler arası bir perspektifle alanın kapsamını yeniden tanımlaması ve çevresel sistemlerdeki çeşitli sorunlara çözüm üretme potansiyelini ortaya koymasıyla önemli bir aşama kaydetmiştir (Lieth, 1974; Schwartz, 2013). 21. yüzyılın başı itibarı ile de fenoloji bütünleyici bir çevre bilimi olarak konumunu sağlamlaştırmış ve özellikle iklim değişikliği araştırmalarının temel bir bileşeni haline gelmiştir (Morellato vd., 2013). Modern anlamda fenoloji, biyoloji ve meteoroloji bilimleriyle yakından ilişkili olup biyosfer ile atmosferin karşılıklı etkileşimlerini mekânsal, zamansal ve ekolojik bağlamda incelemeye olanak tanıyan bir bilim dalıdır (Liang, 2019).

Bitki fenolojisi ya da diğer adı ile fitofenoloji, fenoloji biliminin botanik, biyoklimatoloji, otoekoloji (tür ekolojisi) ve tarımsal bilimler (tarla bitkileri, bahçecilik ve ormancılık) ile birleştirilmesiyle ortaya çıkmış alt bir disiplindir. Bu alan, bitki gelişiminin hava koşullarına bağlı mevsimsel ve gözle görülebilir olaylarını inceleyen, fenoloji bilimi içerisinde önemli bir çalışma sahası olarak tanımlanmaktadır (Wang, 1963). 1930'lu yıllara kadarki dönemde bitki fenolojisinde daha çok yabani bitkiler üzerine odaklanılmış olmakla birlikte bu dönemden itibaren kültür bitkileri üzerindeki gözlemler de artmaya başlamıştır (Schnelle, 1955; Wang, 1963). Yine bu dönemde bitkilerin fenolojisine ilişkin bilimsel yaklaşımlar geliştirilmeye başlanılmış, fenolojik bilginin faydalı bilgiye dönüştürülmesi için bitki gelişimine etki eden meteorolojik faktörlerle fenolojik safhalar arasında korelasyon ve regresyon ilişkileri kurulmaya çalışılmıştır (Wang, 1963).

Bitki fenolojisinde, 20. yüzyılın ortalarında istatistiksel yöntemlerdeki ilerlemeler ve çevresel veri toplama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, betimleyici gözlem temelli fenoloji yaklaşımlarından, tahmine dayalı modelleme tekniklerine geçiş yaşanmıştır. Bu süreçte, matematiksel fenoloji modelleri ve simülatörler geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır (Caprio, 1974; Lieth, 1974; Reader vd., 1974; Waggoner ve Parlange, 1974). Aynı dönemde, fenoloji bilgilerinin bilgisayarlarla haritalamaları başlamış, nokta bazlı gözlem verilerinin tüm alana enterpolasyonu gerçekleştirilerek sinagrafik (synagraphic) haritalar oluşturulmuş ve verilerin kullanımında yeni bir aşamaya geçilmiştir (Lieth ve Radford, 1971). Bilgisayar destekli haritalama teknolojisi, büyük miktardaki fenolojik verinin hızlı biçimde analiz edilmesini ve haritaya dönüştürülmesini sağlamış ve fenolojik bilgilerin karar alma süreçlerinde kullanılmasını mümkün kılmıştır (Caprio vd., 1974). Bitki gelişimi ve fenofazlarıyla iklim verileri arasındaki ilişkilerin araştırılmasına yönelik daha önceden başlayan çalışmalar, bilgisayarların hesaplama kapasitesinin artmasıyla birlikte modelleme yaklaşımına evrilerek yeni bir boyut kazanmıştır (Chuine vd., 2013; Lieth, 1974; Reader vd., 1974; Wang, 1963). Bitkilerde üzerinde yürütülen fenolojik gözlemler ve bunlara dayalı gerçekleştirilen modelleme çalışmaları, yalnızca bitkilerle iklim/çevre etkileşiminin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda fenoloji bilimindeki metodolojilerin gelişmesine de öncülük etmiştir (Chuine ve Régnière, 2017; Lieth, 1974; Reader vd., 1974).

Bitkilerin fenolojik modellemesi, uzun süren fenolojik gözlem sonuçlarının değerlendirilmesi ve çevre-bitki, iklim-bitki etkileşimini açıklama çabaları sonucunda gelinen bir noktadır. De Réaumur'un (1735) derece-gün toplamı kavramını ortaya koyduğu bir yayınlı başlayan yaklaşım, fenoloji modellemesinin başlangıcını oluşturmaktadır (Chuine ve Régnière, 2017; Réaumur, 1735). Réaumur, bitki gelişiminin, fenolojik olayın gerçekleştiği zamandaki sıcaklıkla değil, zaman içindeki sıcaklık toplamına orantılı olduğunu öne sürmüştür. Bu, bitki fenolojisi modellemesindeki en önemli varsayımdır (Chuine ve Régnière, 2017). Réaumur'un derece-gün toplamı yaklaşımı, 20. yüzyılda ısı toplamına (heatsum) dayalı farklı isimlerle anılan bitki fenoloji modellerine dönüşmüştür (Waggoner ve Parlange, 1974). Isı toplamına dayalı bu modeller, bitki fenofazlarının çevreyle ilişkisini açıklayan en temel modeller olarak kabul edilmektedir. Isı toplamı modeli yaklaşımı halen geçerliliğinin korumakla birlikte zaman içerisinde sistem ekolojisiyle bütünleşmiş, foto periyot, yağış ve toprak nemi gibi çok sayıda çevresel faktörün entegre edildiği simülasyon modelleri geliştirilmiştir (Bindi vd., 2015; Cleland vd., 2007; Leolini vd., 2018; Pau vd., 2011; Schultz, 1992; Wang ve Engel, 1998).

İçinde bulunduğumuz yüzyılda türlerin fenolojisi ve fenolojik tahminler, temel bazı bilimsel soruların cevaplanması ve uygulamalı araştırmalar açısından çok daha önemli bir konu haline gelmiştir (Cleland vd., 2007). Fenolojik olayların zamanlaması, türlerin demografisi, türler arası etkileşimler ve karbon döngüsü gibi ekosistem işlevleri dahil olmak üzere çok çeşitli ekolojik süreçleri etkilemektedir (Chuine, 2010; Diez vd., 2012). Bu nedenle, bitki fenolojisinin doğru bir biçimde temsil edilmesi, ekosistemlerin iklim değişikliğine verdiği tepkileri daha iyi anlayabilmek için büyük önem taşımaktadır. Fenoloji modelleri, ekosistemlerin iklim değişikliğine verdiği tepkileri incelemek ve karasal ekosistemlerin karbon, su ve enerji dengesini değerlendirmek için önemli bir araç olarak kabul edilmektedirler (Fu vd., 2020). Bitki fenoloji modelleri ile karbon ve su döngülerinin dinamiklerini kontrol eden büyüme mevsiminin uzunluğu ve zamanlaması simüle edilebilmekte (Chuine, 2000), ayrıca popülasyonların rekabet gücünü, coğrafi dağılımını ve yoğunluğunu değiştirebilecek iklim değişikliklerine karşı ağaçların tepkileri tahmin edilebilmektedir (Kramer ve Mohren, 1996).

Günümüzde, uzaktan algılama (UA), coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojileri ve makine, derin öğrenme algoritmalarının kullanımı sayesinde, fenolojik olaylar çok daha detaylı ve büyük ölçekli olarak tahmin edilebilmektedir (Dai vd., 2019; Fu vd., 2020; Garnot vd., 2025; Katal vd., 2022; Morain, 1974; Scaglione vd., 2008; van Bree vd., 2025). Bu gelişmeler sayesinde, bitki fenolojisi modellemesi, bitkisel üretimin planlanması, iklim değişikliği araştırmaları ve ekosistem izleme çalışmalarında temel bir bilimsel araç haline gelmiştir (Liang, 2019; Menzel vd., 2006; Richardson vd., 2012; Richardson vd., 2013; Sparks ve Menzel, 2013). Bu çalışmada, literatür taramasına dayalı olarak bitki fenolojisi modellemesine ilişkin genel bir bakış açısı sunmak hedeflenmiştir. Öncelikle literatürde öne çıkan temel model türleri tanıtılmış, özellikle başlangıç modelleri ve mekanistik modellerin yapısı, işleyişi ve kullanım amaçları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Modellerin güçlü ve sınırlı yönlerine değinilmiş, çeşitli uygulama alanlarından örnekler verilerek modellerin günümüzde nasıl kullanıldığı anlatılmaya çalışılmıştır. Modellerin iklim değişikliği ile ilişkisi vurgulanmış ve gelecekteki kullanım ve gelişimlerine ilişkin değerlendirmelerde bulunulmuştur.

BİTKİ FENOLOJİ MODELLEMESİNE GENEL BAKIŞ

"Modelleme" terimi, gerçek durumlarla ilişkili olarak çok farklı alanda ve değişik konularda kullanılmakta olup oldukça geniş bir kapsama sahiptir (Dym, 2004; Kuneš, 2012). Bilimsel çalışmalarda modelleme, sözlüklerde, "Hesaplamalar yapmak veya ne olabileceğini tahmin etmek için matematiksel modeller kullanma etkinliği (bir sistem veya sürecin basit tanımları)" (TCD, 2025) ve "bilgisayarların bir şeyin (ekonomi veya iş gibi) geçmiş, şimdiki veya gelecekteki durumunu açıklamak için bir dizi fikir ve sayı kullandığı bir süreç" (TBD, 2025) şeklinde tanımlanmaktadır. Lieth (1974), ekolojik çalışmalarda modellemeyi, "Biyolojik süreçler (fenolojik olaylar dahil) ile bunların itici veya kontrol edici güçleri arasındaki ilişkileri veya sebeplerini daha doğru bir şekilde tanımlamak, anlamak, tahmin etmek ve simüle etmek için biyolojik süreçler ve çevresel parametreler arasındaki veya farklı biyolojik süreçler arasındaki ilişkileri ölçme girişimi" olarak tanımlamaktadır. Bu modelleme, grafiksel, sayısal veya kodlanmış programlı analizler yoluyla gerçekleştirilir, sözel, betimleyici ya da görsel (resimsel) sunumlar kullanılmaz.

Fenolojik modellemenin temelleri Réaumur'un 1735'teki derece-gün yaklaşımına dayandırıldığından uzun bir geçmişe sahip olduğunu söylemek mümkündür (Chuine vd., 2013; Wang, 1963). Réaumur (1735), ilk defa, fenolojik olayların gerçekleşme tarihlerindeki yıllar ve yerler arasındaki farklılıkların, belirli bir başlangıç tarihinden itibaren o fenolojik olayın gerçekleştiği tarihe kadarki günlük sıcaklık farklılıkları ile açıklanabileceğini öne sürmüştür. Zamanın en önemli mahsulleri olan ekinler ve asmaların hasat tarihlerinin önemseniş ve takip ediliyor olması sayesinde, büyüme dönemindeki sıcaklıklarla bitki gelişimlerinin ilişkilendirilmesi mümkün olabilmıştır. Bu varsayım, aradan geçen yüzyıllara rağmen günümüzde hâlâ fenolojik modellemenin temel dayanak noktalarından biri olarak önemini korumaktadır (Chuine vd., 2013). Bitki gelişiminin sıcaklık toplamına bağlı olarak belirli bir eşiğe ulaştığında tetiklendiği kabulü, günümüz modellerinin çoğunda ya doğrudan ya da türevsel biçimde yer almaktadır. Bununla birlikte, 20. yüzyılın sonlarında bilgisayar bilimlerinde yaşanan devrim, entegre zararlı yönetim anlayışının benimsenmesi (Integrated Pest Management-IPM) ve küresel iklim değişikliğiyle ilgili artan endişelerden ötürü fenoloji modellemesine ilgi önemli düzeyde artmıştır (Chuine ve Régnière, 2017). Zira, küresel ısınmanın, artan sıcaklıkların fenolojik olayların zamanlamasını değiştirmesi nedeniyle bitkilerin işlevleri ve uyum yetenekleri üzerinde önemli etkiler yaratması beklenmektedir (Chuine, 2010; Cleland vd., 2007).

Bitki fenoloji modellemesi yaklaşımı, ürün tahmin (crop forecasting), ürün büyüme (crop growth) ve simülasyon (growth simulation) modellerinden farklı bir alanı kapsamaktadır (Murthy, 2004; Thornley ve Johnson, 1990). Ürün tahmin, büyüme ve simülasyon modellerinde iklimin yanı sıra toprak özellikleri gibi çeşitli çevresel faktörler de dikkate alınmakta, farklı çevre koşullarındaki bitki büyüme ve gelişimini hesaplamak ve tahmin edebilmek için bu koşulları sisteme tanımlama imkânı sunulmaktadır (Bindi vd., 2015; Boote vd., 1998; Costa vd., 2015; Zhu vd., 2021). Öte yandan, bitki fenolojisini açıklamaya çalışan modeller bu tarz ürün tahmin ve simülasyon modellerinde alt modül veya bileşen olarak yer almakta, model girdilerinin farklı fenolojik safhalara göre farklı etkiler oluşturmasını mümkün kılarak daha doğru model çıktılarının alınmasına katkı sağlamaktadır (Cassardo vd., 2022; Chmielewski vd., 2013; Chuine vd., 2013).

1974 yılında fenoloji modellemesi ile ilgili değerlendirme yapan Lieth, o zamana kadar gerçekleştirilen modelleme çalışmalarının sistem ekolojisinden ziyade, belirli bitki türlerinin veya fenofazlarının çevresel etmenlere verdiği tepkilerin analizine odaklandığı belirtmektedir. Araştırmacı aynı zamanda, modelleme türleri ve modelleme ile ilgili terminolojinin gelişim sürecinde olduğunu, aynı modelleme yaklaşımının kullanım amacına ya da yöntemine bağlı olarak farklı şekillerde adlandırılabilirdiğini ve bu durumun da kavramsal açıdan çeşitliliğe neden olduğunu belirtmektedir. Modellemede, deterministik ve stokastik, öngörücü ve simülasyon temelli, mekânsal ve zamansal, fizyolojik ve çevresel, ampirik ve teorik gibi birçok karşıt ya da eşdeğer kavramın bir arada kullanıldığı ve terminolojinin henüz tam olarak standartlaşmamış olması nedeniyle literatürde farklı yaklaşımların eşzamanlı olarak kullanıldığını bildirmektedir (Lieth, 1974).

Bitki fenolojisindeki değişimleri tetikleyen veya düzenleyen temel parametrelere ilişkin bilgiler doğrultusunda, farklı ölçütlere dayalı çok sayıda bitki fenoloji modeli geliştirilmiş ve başarıyla test edilmiştir (Zhao vd., 2013). Bununla birlikte, alandaki bilimsel gelişmeler doğrultusunda yeni modellerin geliştirildiği de görülmektedir (Chuine, 2000; Fu vd., 2020; Hänninen vd., 2019; Luedeling vd., 2021). Ortaya çıkan bu model çeşitliliği hem modellerin kategorize edilmesinde hem de model yaklaşımlarının değerlendirilmesinde farklı görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin, Cleland vd. (2007), bitki fenolojisi modellerini türe özel modeller ve vejetasyon tipi modeller olarak iki gruba ayırırken, Hänninen (1987) ise tek safhalı ve iki safhalı modeller olmak üzere sınıflandırmıştır. Chuine vd. (2013), bitkilerde kullanılan fenoloji modellerini, analitik, istatistiksel ve mekanik olmak üzere üç farklı grupta incelerken, Fu vd. (2020) modelleri daha sade biçimde istatistiksel modeller ve işlem tabanlı ters modeller olarak iki grupta değerlendirmektedir. Bu durum, Lieth (1974) tarafından daha önce dile getirilen terminolojinin standartlaşmama sorununun halen devam ettiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada yapılacak sınıflandırmalarda, kavramsal bütünlüğü ve kapsamlı yaklaşımı nedeniyle daha ziyade Chuine vd. (2013)'ün değerlendirme yaklaşımı esas alınacaktır.

Chuine vd. (2013)'ün sınıflandırmasına göre analitik modeller, bitki fenolojisindeki yıllık değişimlerden ziyade bitkilerin kaynak oluşturmak üzere karbon kullanımını (Kikuzawa, 1995), yaprak ömrünü ve fotosentez etkinliğini

dikkate alan modeller olarak tanımlanmaktadır (Kikuzawa, 1991; Kikuzawa, 1996; Kikuzawa ve Kudo, 1995). İstatistiksel fenoloji modelleri ise fenolojik olayların zamanlamasını iklimsel faktörlerle ilişkilendiren modellerdir. Bu tip modellerde parametreler, çeşitli istatistiksel model uyumu (fitting) teknikleri kullanılarak gözlem verilerinden tahmin edilir. İstatistiksel modeller, sıcaklıkla basit korelasyonların kullanıldığı az gelişmiş modellerden daha kompleks olanlara kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Matematiksel olarak çoklu regresyona dayalı bu modellerin genel notasyonu aşağıda verilmiştir.

$$y^{-1} = C + \sum_{k=1}^n A_k X_k \quad (1)$$

(1) Burada y , fenolojik olayın yıl içindeki gerçekleşme gününü (DOY: Day of the year) ifade etmektedir. C ve A_k sabitlerdir; X_k ise tahmin değişkenleridir. Bu değişkenler, iki farklı eşik sıcaklık (örneğin 0.6 °C veya 5 °C) için derece-gün toplamalarını, ortalama sıcaklığı ve sinoptik hava olaylarının (özellikle sıcak hava taşınımı) sayısını içermektedir (Chuine vd., 2013).

Mekanistik modeller ise bitkinin fizyolojik süreçleri ile yetiştirme ortamındaki itici çevresel faktörler (sıcaklık ve gün uzunluğu gibi) arasındaki bilinen veya varsayımsal neden-sonuç ilişkilerini biçimsel olarak tanımlayan modellerdir. Bu modeller, istatistiksel çıkarımlardan ziyade sistemlerin teorisine dayalı olan modellerdir. Nitekim, günümüzde yaygın olarak kullanılan birçok bitki fenolojisi modeli bu gruba dahildir. Mekanistik modeller arasındaki farklılıklar, genellikle modellemede dikkate alınan safha sayıları ile sıcaklık ve fotoperiyot gibi çevresel değişkenler için kullanılan tepki fonksiyonlarının yapısından kaynaklanmaktadır. Mekanik fenolojik modellerin genel yapısı ise aşağıdaki şekildedir;

$$t_n \text{ öyle ki } S_{n,t} = \sum_{t_n-1}^{t_n} R_{n,t}(Z) = S_n^* \quad (2)$$

(2) Burada n , bir gelişim safhasını (endodormansi, ekodormansi, meyve olgunlaşması gibi) ifade eder. $S_{n,t}$, n safhasında, t günündeki gelişim düzeyini gösterir; t_n , n . Safhanın bitiş günü; t_{n-1} , bir önceki safha olan $n-1$ safhasının bitiş

günüdür. $R_{n,t}$, n . safhadaki günlük gelişim hızını ifade eder ve bu hız, sıcaklık, fotoperiyot, su potansiyeli gibi günlük ya da saatlik çevresel değişkenlerden oluşan bir küme olan Z 'ye bağlı bir fonksiyondur. S_n^* ise t_n zamanına ulaşmak için gereken kritik gelişim düzeyini ifade eder. Fenolojik modellerin tamamına yakını bu çerçeveye uyarlanabilir. Büyüme Gün dereceleri (GDD) ya da diğer adlarıyla Termal Zaman Modeli, İlkbahar Isınma Modeli, bitki fenolojisinde kullanılan en basit model olup yalnızca üç parametre gerektirir ve tek safhalı bir model olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$R_{1,t}(x_t) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } x_t \leq T_b \\ x_t - T_b & \text{eğer } x_t > T_b \end{cases} \quad (3)$$

(3) Burada x_t günlük ortalama sıcaklığı, $t_{n-1} = t_0$ toplamaya başlanan günü, T_b toplamaya esas eşik sıcaklığı ve S_1^* , t_1 zamanında fenofazın tamamlanması için gereken bilinen derece-gün toplamını ifade eder (Chuine vd., 2013).

Bitki fenolojisi, özellikle küresel iklim değişikliğine ilişkin çalışmaların artmasıyla birlikte son yıllarda bilimsel ilginin yoğunlaştığı bir araştırma alanı hâline gelmiştir (Chuine ve Régnière, 2017; Fu vd., 2020). Bitki fenolojisi modelleme çalışmalarında genel eğilim, yaprak açılması ve çiçeklenme gibi fenolojik safhalara odaklanılması yönündedir. Buna karşın meyve olgunlaşması, büyümenin durması ve yaprak yaşlanması gibi diğer safhalara yönelik araştırmaların sayısı görece daha sınırlıdır. Bu durumun, yaprak açılması ve çiçeklenmenin hem en yaygın gözlemlenen safhalar olması hem de zamanlamalarının yüksek doğrulukla saptanabilmesiyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir. Yaprak açılması, bitkilerin esas üretimi açısından kritik öneme sahipken, çiçeklenme, çoğu durumda bitkinin üreme başarısını doğrudan etkileyen bir safha olarak önemsenmektedir. Fenoloji modellerinin önemli bir bölümü özellikle ağaç türleri temel alınarak geliştirilmiştir (Bkz. Tablo 1). Bu modellerin geliştirilmesi ve test edilmesinde kullanılan fenolojik veriler, doğal popülasyonlarda gerçekleştirilen uzun dönemli gözlemlerden ya da fenoloji bahçelerinde yürütülen sistematik çalışmalarda ve kontrollü deneysel araştırmalardan elde edilmiştir. Modellerde kullanılan iklim verileri ise

genellikle gözlemlerin yapıldığı alandan ya da yakınındaki meteoroloji istasyonlarından temin edilmektedir (Chuine vd., 2013).

BİTKİ FENOLOJİ MODELLERİ

Reaumur'dan bu tarafa, yapılan birçok çalışmada, derece-gün toplamı fenolojide yıldan yıla değişimi etkileyen ana faktör olarak kabul edilmektedir (Chuine vd., 2013). Derece-gün yaklaşımı, ısı birimi (heat unit) ve termal zaman (thermal time) kavramlarıyla birlikte kullanılmış, sonrasında da Büyüme Gün Dereceleri (Growing Degree Day:GDD) olarak önemli bir fonksiyon haline getirilmiştir. Birçok üründe büyüme ve gelişme için gereken sıcaklıklar GDD fonksiyonu ile ölçülerek fenolojik olayların zamanlaması daha iyi anlaşılmağa başlanmıştır. GDD hesaplamalarında farklı fonksiyonların kullanımı, fenolojik olayların tanımlarının ve tahminlerinin büyük ölçüde iyileşmesine katkı sağlamıştır (McMaster ve Wilhelm, 1997). GDD, 20. yüzyılın son çeyreğindeki yeni yaklaşımların bir sonucu olarak literatürde karşımıza Bahar Isınma Modeli (Spring Warming Model), Termal Zaman Modeli (Thermal Time Model) ve son olarak da Tek Safha Modeli (One Phase Model) olarak karşımıza çıkmaktadır (Hänninen, 2016b; Hunter ve Lechowicz, 1992; Parker vd., 2011). Bununla birlikte, halen Derece-gün (*Degree Day=Day Degree*), Büyüme Gün Dereceleri (*Growing Degree Day: GDD*), Isınma Gün Dereceleri (*Heat Degree Day*) olarak da isimlendirilmeye ve kullanılmaya devam edilmektedir (Due vd., 1993; Fernández-González vd., 2013; Miller vd., 2001; Molitor vd., 2014; Rafique vd., 2023). Ayrıca daha hassas modelleme ve özel amaçlar için Büyüme Saat Dereceleri (Growing Degree Hour: GDH) şeklinde saatlik sıcaklıklara dayalı olarak hesaplama yapan farklı versiyonlarda ortaya çıkmıştır (Cannell ve Smith, 1983; Cassardo ve Andreoli, 2022; Hänninen, 2016b; Santos vd., 2019).

Derece-gün modeli, birçok bitki türünde tomurcuk patlama zamanının (Bud burst: BB) belirlenmesinde en etkili metot olarak tanımlanmaktadır. Derece-gün modelleri, (i) sıcaklık ve gelişme hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ve (ii) bir taban veya eşik sıcaklığın üzerinde belirli miktarda 'ısı birimi' gerçekleştiğinde bir fenolojik aşamanın meydana geldiğini varsaymaktadır. Derece gün hesaplamalarının yapılmasında 1) birikimlerin başlayacağı tarih, 2) eşik sıcaklık değeri ve 3) gerekli ısı toplamı olmak üzere üç parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Başlangıç tarihi isteğe bağlı

olarak seçilebileceği gibi istatistik modellerden yararlanarak da belirlenebilir. Eşik sıcaklıklar, gelişme hızının sıcaklığa bağlı regresyonu ile belirlenir. Eşik sıcaklıkların belirlenmesinde fenolojik safhanın, çoğunlukla tomurcuk patlaması, ortaya çıkmasını sağlayan derece gün değeri bir dizi başlangıç tarihi ve eşik sıcaklık değerine dayalı olarak hesaplanır ve tomurcuk patlama tarihine ilişkin minimum standart tahmin hatasını sağlayan kombinasyon bulunmaya çalışılır (Hunter ve Lechowicz, 1992).

GDD yaklaşımı, bitkilerin yapraklanma gibi fenolojik olaylardan önce yalnızca ekodormansi evresinden geçtiğini varsaymaktadır. Ancak iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte, bitki fenolojisinde gözlenen karmaşık değişimlerin açıklanmasında bu tek safhalı modelin yetersiz kaldığı görülmüştür. Yeni araştırmalar, bitkilerin yapraklanma gibi ilkbahar fenofazlarına geçmeden önce, endodormansi adı verilen bir içsel dinlenme evresinden geçmeleri gerektiğini göstermiştir. Endodormansinin sona ermesi için belirli bir düzeyde soğuklama birikimi gerekirken, takip eden ekodormansi evresi ise sıcaklık birikimiyle (forcing) kırılmakta ve büyüme süreci başlamaktadır. Bu çift evreli süreçlerin keşfi, modelleme anlayışında da değişiklik yaratmış ve iki safhalı modeller (Two phase models) ortaya çıkmıştır. İki safhalı modellere geçişle birlikte, endodormansi ile ekodormansi arasındaki ilişkinin nasıl modelleneceği konusunda farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Fu vd., 2020). İki safhalı modeller;

Sıralı (Ardışık) Model (*Sequential Model*): Bu modelde, ekodormansi evresi ancak soğuklama gereksinimi (chilling requirement) tamamen karşılandıktan sonra başlar. Endodormansi ve ekodormansi birbirinden bağımsız, sırayla gerçekleşen süreçler olarak kabul edilir (Richardson vd., 1974).

Paralel Model (*Parallel Model*): Landsberg (1974) tarafından elma ağaçları üzerinde yürütülen çalışmayla önerilen bu modele göre, iki evre zamansal olarak örtüşebilir. Yani bitki, endodormansi evresindeyken ekodormansiye ait ısı birikimi de aynı anda başlayabilir.

Değişimli (Etkileşim) Model (*Alternate Model*): Cannell ve Smith (1983), Birleşik Krallık'ta yetiştirilen *Picea sitchensis* (Sitka ladini) türü üzerinde yürüttükleri çalışmada, tomurcuk patlaması için gerekli sıcaklık

birikiminin, öncesinde gerçekleşen soğuklama miktarına bağlı olarak üstel şekilde azaldığını ortaya koymuşlardır. Bu bulgu, sonraki pek çok araştırmada farklı amaçlarla kullanılmakla birlikte, Kramer (1994b) tarafından Değişimli Modelin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Bu model, endodormansi ve ekodormansi arasında dinamik bir etkileşim olduğunu ve tomurcuk açma sürecinin bu etkileşimle şekillendiğini öne sürer.

Birleşik Model (*Unified Model*): Chuine (2000), tek fazlı ve iki fazlı modelleri temsil etmek için daha esnek bir birleşik model geliştirerek, genelleştirme yapmıştır.

PhenoFlex Modeli: Luedeling vd. (2021) tarafından geliştirilen ve test edilen yeni bir modeldir. Bu model soğuklama alt modeli olarak Dinamik Model'e (Erez vd., 1990) ve ısınma alt modeli olarak Büyüme-Derece-Saat Modeli'ne (Growing Degree Hours - GDH) dayanmaktadır. PhenoFlex, bu iki alt modeli, soğuklama ve ısınma birikiminin ardışık biçimde gerçekleşmesinden tamamen paralel ilerlemesine kadar tüm geçiş biçimlerini esnek biçimde ayarlamaya imkân sağlayacak şekilde birbirine bağlamaktadır. PhenoFlex modelinde, özellikle türe, çeşide ve yere özgü kalibrasyonun kolaylıkla yapılması mümkündür.

Ilıman iklim meyve ağaçlarında ve kutup bölgelerindeki ormanlarda ilkbahar fenolojisinin öngörülmesi, özellikle iklim değişikliği bağlamında, bahçe planlamacıları, meyve üreticileri ve ormancılar açısından büyük önem taşımaktadır (Hänninen, 1990; Hänninen, 2016b; Hanninen ve Kramer, 2007; Luedeling vd., 2021; Schiffers vd., 2021). Bu yüzden, bahçe bitkileri alanında çalışan araştırmacılar, soğuklama ve ısınma gereksinimlerini tahmin etmek ve dormansi kırılmasını projekte etmek amacıyla, özellikle ağaç türlerinde kullanılan, endodormansi ve dormansi başlatma evrelerini daha ayrıntılı olarak ele alan daha karmaşık modeller geliştirmiştir (Chuine vd., 2013; Luedeling vd., 2021; Schiffers vd., 2021). Bu modeller ekodormansiye ilave olarak endodormansinin farklı safhalarını da dikkate alırlar. Bunlar arasında; Derin Dinlenme Modeli (*Deepening Rest Model*), Dört Safhalı Model (*Four-Phase Model*) önemli örneklerdendir (Chuine vd., 2013; Erez vd., 1990). Bu modellerin çoğu, hâlâ ağırlıklı olarak sıcaklığı ana itici faktör (driver) olarak kabul etmektedir. Ancak yakın dönemde yürütülen çalışmalar, yalnızca sıcaklığın değil, foto periyot gibi diğer çevresel değişkenlerin de fenolojik

süreçler üzerindeki etkili rolünü ortaya koymuştur. Özellikle, Caffarra vd. (2011) tarafından geliştirilen DORMPHOT modeli, foto periyodun ve sıcaklığın birlikte değerlendirildiği, iç mekân kontrollü deneylere dayalı ve ilkbahar fenolojisinin simülasyon doğruluğunu artırmayı amaçlayan bir modeldir (Chuine vd., 2013; Fu vd., 2020). Model ile yalnızca uzun gecelerin değil, aynı zamanda düşük hava sıcaklıklarının da dinlenmenin başlamasına (rest induction) etkisi gösterilebilmektedir. Soğuklama birikimi, gece uzunluğu ve yüksek hava sıcaklıklarının dormansinin kırılmasındaki karmaşık etkileşimi modele dâhil edilmiştir. Model gece uzunluğunun kısalması durumunda ontogenetik gelişim hızının hava sıcaklığına verdiği tepkiyi daha düşük sıcaklıklara kaydırmakta ve bu kayma derecesi de önceki soğuklama miktarına bağlı olarak değişmektedir (Hänninen, 2016b).

İlkbahar fenolojisine kıyasla, sonbahar fenolojisi modellemesine yönelik çalışmalar daha sınırlı kalmıştır. Bunun başlıca nedenleri arasında, uzun dönemli saha gözlemlerinin azlığı ve mevcut verilerin düşük doğruluğu yer almaktadır (Estrella ve Menzel, 2006). Sonbahar fenolojik olaylarının düzenlenmesinde foto periyot ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin önemli rol oynadığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Hänninen, 2016a; Richardson vd., 2013; Way ve Montgomery, 2015). Artan sıcaklıklar, yaprak dökümü gibi olayları geciktirebilirken, kısa gün uzunluğu bu etkiyi tersine çevirebilmektedir (Richardson vd., 2013). Sonbahar fenolojisine yönelik olarak önerilen modeller arasında, Soğuk Derece Günleri Modeli (Cold Degree Days – CDD) (Delpierre vd., 2009), Sıcaklık ve Fotoperiyot Çarpan Modeli (Multiplicative Model) (Lang vd., 2019) ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında, ilkbahar ve sonbahar fenolojik olayları arasındaki pozitif ilişkiyi temel alan İlkbahar Etkili Sonbahar Modeli (Spring-Influenced Autumn Model), Keenan ve Richardson (2015) tarafından geliştirilmiş ve özellikle soğuklama gereksinimlerinin dinamik biçimde modellenmesi yoluyla simülasyon doğruluğunu artırmıştır (Fu vd., 2020). Literatürde yer alan model türlerinin geliştirildiği tür ve referanslarının verildiği özet bir liste Tablo 1’de özel olarak sunulmuştur (Chuine vd., 2013).

Tablo 1. Literatürde bildirilen fenoloji modellerinin listesi

Model adı	Kullanıldığı bitkiler	Referans
Growing degree-days	Meyve ağaçları	Réaumur (1735) ve Wang (1960)
Growing degree-hours	Meyve ağaçları	(Anderson vd., 1986)
Triangle GDH	Tarla bitkileri	Hammer vd. (1993)
Utah + GDH	Meyve ağaçları	Richardson vd. (1974)
Positive UTAH	Meyve ağaçları	Linsley-Noakes vd. (1995)
Chilling hour	Meyve ağaçları	Bennett (1949) ve Weinberger (1950)
Bidabé	Elma ağaçları	Bidabé (1967)
Smoothed Utah	Meyve ağaçları	Bonhomme vd. (2010)
Dormphot	Orman ağaçları	Caffarra vd. (2011)
Alternating	Orman ağaçları	Cannell ve Smith (1983) ve Kramer (1994b)
Unified	Ağaçlar	Chuine (2000)
Unichill, Uniforc	Ağaçlar	Chuine vd. (1999)
Dynamic model	Meyve ağaçları	Erez vd. (1990) ve Fishman vd. (1987)
Sequential	Meyve ağaçları	Hänninen (1987) ve Richardson vd. (1974)
Deepening rest	Sarı Gövdeli Kızılcık (Red rosier)	Kobayashi vd. (1982)
Paralel	Orman ağaçları	Hänninen (1987) ve Landsberg (1974)
Sinusoidal-parabolic	Bağ	Riou (1994)
Four phase	Ağaçlar	Hänninen (1990) ve Vegis (1964)

Kaynak: Chuine vd. (2013)'ten sadeleştirilerek hazırlanmıştır.

MODELLERİN KULLANIM ALANLARI

Bitki fenolojisi modelleri, çok çeşitli bilimsel ve uygulamalı alanlarda önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanları, ekolojik izlemelerden tarım planlamasına, genetik çalışmalardan iklim değişikliği projeksiyonlarına kadar geniş bir yelpazede olabilmektedir (Chmielewski, 2013; Cleland vd., 2007; Diez vd., 2012; Menzel vd., 2006; Pau vd., 2011; Zhao vd., 2013). Bu modeller, küresel ısınmanın yabani ve kültüre alınmış türlerin fenolojisi üzerindeki etkilerinin tahmini, birincil üretkenlik modellerini geliştirme, atmosferdeki polen varlığını ve buna bağlı alerji risklerini tahmin etme, tür dağılımını modelleme ve tarihsel fenolojik verilere dayanarak iklim geçmişini yeniden inşa etme gibi temel konularda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Chuine vd., 2013).

Günümüzde bitki fenoloji modellemesinin en fazla kullanıldığı alan iklim değişikliği etkilerinin analizidir (Cleland vd., 2007; De Cortazar Atauri vd., 2017; Fernandez vd., 2022; Fu vd., 2020; García de Cortázar-Atauri vd., 2017; Menzel vd., 2006). Fenoloji, iklim değişikliğine karşı en hassas biyolojik göstergelerden biridir (Liang, 2019). Bu noktada fenolojik modeller, sıcaklık artışları gibi iklimsel değişkenlerin bitki gelişim safhaları üzerindeki etkilerini nicel olarak analiz etme imkânı sağlarlar (Fu vd., 2020). Ayrıca, bitki fenoloji modellerinin tüm kullanım alanları ve uygulamaları dikkate alındığında neredeyse tüm uygulamaların iklim değişikliğine uyum ve gelecek iklim şartlarında bitkilerin tepkilerinin değerlendirilmesi konuları ile yollarının kesiştiği görülmektedir. Bu duruma örnek olarak FORGRO modelinin kullanımı ile orman ve ılıman iklim meyve ağaçlarında don zararı riskinin değerlendirilmesi verilebilir. FORGRO esasında ağaç büyümesi ve üretiminin simüle edilmesi için fenoloji ve dona dayanıklılık modellerini kullanan bir büyüme modelidir (Kramer ve Mohren, 1996). Büyüme sezonunun başlangıç ve bitişi, tomurcuk patlaması, sonbahar yaprak renklenmesi veya dökülmesi gibi yaprak örtüsü değişiklikleri kaydedilerek ya da bitki örtüsü ile atmosfer arasındaki gaz değişimleri ölçülerek gözlemlenebilir. FORGRO modeli esas amacının yanında ormanlarda iklim değişikliği tepkisinin değerlendirilmesi için de kullanılmıştır (Chuine vd., 2013). Tomurcuk patlamasının tahmininde kullanılan fenoloji modelleri de çok yıllık bitkilerde don zararı riskini değerlendirmek için sıkça kullanılmaktadır (Cannell ve Smith, 1986; Hänninen, 1991; Kramer, 1994a). Don zararı riski, tomurcuk patlamasını tahmin eden

modeller kullanılarak tomurcuk patlaması dönemindeki minimum hava sıcaklıklarının tahmin edilmesiyle değerlendirilebilmektedir (Cannell, 1985; Hänninen, 1991). Don direncine ilişkin daha mekanistik modeller de bulunmaktadır (Leinonen, 1996) ve bunlarla yalnızca tomurcuk patlama dönemine yakın dönemler değil tüm yıl boyunca olabilecek don zararını simüle etmek mümkündür. Benzer şekilde tomurcuk patlamasını tahmin eden modeller de iklim değişikliği şartlarında don zararı riskini değerlendirmek için kullanılmıştır (Chuine vd., 2013)

Fenolojik modeller, aynı zamanda türlerin dağılımını tahmin etmede de önemli rol oynamaktadır. PHENOFIT gibi tür menzili modelleri, bitkisel gelişim ile yerel iklim koşulları arasındaki eşleşmeye dayanarak hayatta kalma ve üretim başarısını tahmin eder (Chuine ve Beaubien, 2001) PHENOFIT, Kuzey Amerika ve Avrupa'dan 22 ağaç türü üzerinde test edilmiş ve farklı iklim senaryolarına göre türlerin dağılım değişimlerini öngörmeye kullanılmıştır (Chuine vd., 2013; Morin vd., 2007). Tarihsel fenolojik veriler iklim geçmişinin yeniden canlandırılmasında önemli bir araç olarak kullanılabilmektedir (Chuine vd., 2004; Meier vd., 2007). Bu amaçla hem korelasyon temelli hem de mekanistik fenoloji modelleri kullanılmıştır (Aono ve Kazui, 2008; Maurer vd., 2009; Meier vd., 2007). Özellikle mekanistik yaklaşımlar, üzüm hasat tarihlerini kullanarak son yedi yüzyılın sıcaklık anomalilerini ve son beş yüzyılın atmosferik basınç anomalilerini yeniden inşa etmek için kullanılmıştır (Chuine vd., 2004). Bunun gerçekleştirilebilmesi için yüksek kaliteli uzun süreli veri setlerine ve ürün ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Chuine vd., 2013).

SONUÇ

Bitki fenolojisinin modellenmesine yönelik çalışmalar, 1735 yılında Réaumur'un sıcaklık birikimi kavramını ortaya koymasıyla başlamış ve yüzyıllar içinde önemli bir bilimsel çalışma alanına dönüşmüştür. 19. ve 20. yüzyıllarda, farklı bölgelerden bilim insanlarının katkılarıyla bu alanda önemli ilerlemeler sağlanmış, 20. yüzyıl sonlarına doğru ise fenolojik modeller çok disiplinli boyutlar kazanarak iklim değişikliği araştırmalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Chuine vd., 2013; Lieth, 1974; Schwartz, 2013). Günümüzde bitki fenoloji modelleri, başta ekoloji olmak üzere, tarım ve ormancılık gibi alanlarda yalnızca üretim tahmini değil, aynı zamanda iklim

değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi, bitki gelişim süreçlerinin analizi ve ekosistem dinamiklerinin anlaşılması gibi pek çok amaçla kullanılmaktadır (Chmielewski, 2013; Chuine vd., 2013; Chuine ve Régnière, 2017; Zhao vd., 2013).

Bitki fenolojisi modelleri, bitki gelişiminin çevresel faktörlerle olan etkileşimini nicel olarak değerlendirme olanağı sunmakta, özellikle sıcaklık, foto periyot ve soğuklama gereksinimi gibi değişkenlere bağlı tepkilerin modellenmesini sağlamaktadır (Chmielewski vd., 2012). Bu modeller, aynı zamanda bitki fizyolojisinde henüz tam olarak aydınlatılmamış süreçler hakkında istatistiksel yaklaşımlarla çıkarımlarda bulunulmasını mümkün kılmaktadır. (Chuine, 2000; Chuine, 2010; Chuine ve Beaubien, 2001; Chuine vd., 1998; Chuine vd., 1999; Keenan ve Richardson, 2015; Luedeling vd., 2021). Temel sıcaklık birikimi modellerinden gelişmiş mekanistik modellere kadar pek çok model türü, ürün gelişim tahmin sistemlerinde ve kapsamlı ekosistem simülasyonlarında vazgeçilmez bileşenler haline gelmiştir (Bindi vd., 2015; Cassardo vd., 2022; Kramer ve Mohren, 1996; Leinonen, 1996; Schultz, 1992; van Bree vd., 2025; Wang ve Engel, 1998; Zhu vd., 2021).

Fenolojik modellemenin önemi, özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan belirsizliklerin azaltılması ve adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi açısından giderek artmaktadır (Zhao vd., 2013). Almanya'da yapılan çalışmalarda, artan kış sıcaklıklarının bazı meyve türlerinde çiçeklenme öncesi soğuklama (chilling) sürelerini değiştirebileceği ve bunun ürün verimliliği ile hastalık risklerini etkileyebileceği gösterilmiştir (Chmielewski vd., 2012; Luedeling ve Brown, 2011). Model performanslarının artırılması için çoğu bitki türünde fizyolojik mekanizmaların daha detaylı analiz edilmesi ve modellemede kullanılacak eşik değerlerin kontrollü ortamlarda yürütülen çalışmalarla belirlenmesi önemli konulardan biridir (Chuine vd., 2013; Chuine ve Régnière, 2017; Hänninen vd., 2019). Bu alandaki bilimsel bilgi birikiminin derinleşmesi, gözlem teknolojilerinin gelişmesi ve disiplinler arası iş birliğinin güçlenmesiyle önümüzdeki süreçte, bitki fenoloji modellerinin gelişmesi, uygulama alanlarının genişlemesi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerine ve karar destek sistemlerine daha fazla entegre olması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Anderson, J. L., Richardson, E. A., & Kesner, C. D. (1986). Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. I International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, Hohenheim, Germany
- Aono, Y., & Kazui, K. (2008). Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology*, 28(7), 905-914. <https://doi.org/10.1002/joc.1594>
- Bennett, J. (1949). Temperature and bud rest period: effect of temperature and exposure on the rest period of deciduous plant leaf buds investigated. *California Agriculture*, 3(11), 9-12.
- Bidabé, B. (1967). Action de la température sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparaison de méthodes de contrôle de l'époque de floraison. *Annales de Physiologie Végétale*, 9(1), 65-86.
- Bindi, M., Miglietta, F., Gozzini, B., Orlandini, S., & Seghi, L. (2015). A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). 1. Model description. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 36(2), 67.
- Bonhomme, M., Rageau, R., & Lacointe, A. (2010). Optimization of endodormancy release models, using series of endodormancy release data collected in France.
- Boote, K. J., Jones, J. W., Hoogenboom, G., & Pickering, N. B. (1998). The CROPGRO model for grain legumes. In G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, & P. K. Thornton (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production* (pp. 99-128). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_6
- Caffarra, A., Donnelly, A., & Chuine, I. (2011). Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst. II. Integrating complex effects of photoperiod into process-based models. *Climate Research*, 46(2), 159-170. <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v46/n2/p159-170/>
- Cannell, M. G. R. (1985, 23-28 July 1984). *Analysis of risks of frost damage to forest trees in Britain* International conference on managing forest trees as cultivated plants, Helsinki, Finland.

- Cannell, M. G. R., & Smith, R. I. (1983). Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology*, 20(3), 951-963. <https://doi.org/10.2307/2403139>
- Cannell, M. G. R., & Smith, R. I. (1986). Climatic warming, spring budburst and forest damage on trees. *Journal of Applied Ecology*, 23(1), 177-191. <https://doi.org/10.2307/2403090>
- Caprio, J. M. (1974). The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 353-364). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_29
- Caprio, J. M., Hopp, R. J., & Williams, J. S. (1974). Computer Mapping in Phenological Analysis. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 77-82). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_6
- Cassardo, C., & Andreoli, V. (2022, 23-27 May 2022). *Parametrization of vineyard's physiology and phenology with the crop model IVINE* EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria & Online. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022EGUGA..24.5962C>
- Cassardo, C., Andreoli, V., Spanna, F., & Traversa, M. (2022, 4-9 September 2022). *IVINE: a crop model for simulating pheno-physiological processes on vineyards, also from a climatic point of view* EMS Annual Meeting 2022, Bonn, Germany.
- Chmielewski, F.-M. (2013). Phenology in agriculture and horticulture. In *Phenology: an integrative environmental science* (pp. 539-561). Springer.
- Chmielewski, F.-M., Blümel, K., & Pálašová, I. (2012). Climate change and shifts in dormancy release for deciduous fruit crops in Germany. *Climate Research*, 54(3), 209-219.
- Chmielewski, F.-M., Heider, S., Moryson, S., & Bruns, E. (2013). International Phenological Observation Networks: Concept of IPG and GPM. In M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science* (pp. 137-153). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_8
- Chuine, I. (2000). A unified model for budburst of trees. *Journal of Theoretical Biology*, 207(3), 337-347. <https://doi.org/10.1006/jtbi.2000.2178>

- Chuine, I. (2010). Why does phenology drive species distribution? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555), 3149-3160. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0142>
- Chuine, I., & Beaubien, E. G. (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, 4(5), 500-510. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00261.x>
- Chuine, I., Cour, P., & Rousseau, D. D. (1998). Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant, Cell & Environment*, 21(5), 455-466. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00299.x>
- Chuine, I., Cour, P., & Rousseau, D. D. (1999). Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modelling. *Plant, Cell & Environment*, 22(1), 1-13. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00395.x>
- Chuine, I., de Cortazar-Atauri, I. G., Kramer, K., & Hänninen, H. (2013). Plant Development Models. In M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science* (pp. 275-293). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_15
- Chuine, I., & Régnière, J. (2017). Process-based models of phenology for plants and animals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(Volume 48, 2017), 159-182. <https://doi.org/10.1146/annurev-eolsys-110316-022706>
- Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V., & Ladurie, E. L. R. (2004). Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432(7015), 289-290. <https://doi.org/10.1038/432289a>
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., & Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(7), 357-365. <https://doi.org/d10.1016/j.tree.2007.04.003>
- Costa, R., Fraga, H., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2015). Application of crop modelling to portuguese viticulture: implementation and added-values for strategic planning. *Ciência Téc. Vitiv.*, 30(1), 29-42. <https://doi.org/10.1051/ctv/20153001029>
- Dai, W., Jin, H., Zhang, Y., Liu, T., & Zhou, Z. (2019). Detecting temporal changes in the temperature sensitivity of spring phenology with global

- warming: Application of machine learning in phenological model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107702. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107702>
- De Cortazar Atauri, I. G., Duchêne, E., Destrac, A., Barbeau, G., De Resseguier, L., Lacombe, T., Parker, A. K., Saurin, N., & Van Leeuwen, C. (2017). Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change. *OENO One*, 51(2), 115-126.
- Delpierre, N., Dufrêne, E., Soudani, K., Ulrich, E., Cecchini, S., Boé, J., & François, C. (2009). Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 938-948. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.11.014>
- Demarée, G. R., & Rutishauser, T. (2009). Origins of the Word “Phenology”. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(34), 291-291. <https://doi.org/10.1029/2009EO340004>
- Diez, J. M., Ibáñez, I., Miller-Rushing, A. J., Mazer, S. J., Crimmins, T. M., Crimmins, M. A., Bertelsen, C. D., & Inouye, D. W. (2012). Forecasting phenology: from species variability to community patterns. *Ecology Letters*, 15(6), 545-553. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01765.x>
- Due, G., Morris, M., Pattison, S., & Coombe, B. G. (1993). Modelling grapevine phenology against weather: Considerations based on a large data set. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65(1), 91-106. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90039-K](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90039-K)
- Dym, C. (2004). *Principles of Mathematical Modeling*. Elsevier.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., & Allan, P. (1990). The dynamic model for rest completion in peach buds. II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, Logan, Utah, USA
- Estrella, N., & Menzel, A. (2006). Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Research*, 32, 253-267.
- Fernández-González, M., Rodríguez-Rajo, F. J., Escuredo, O., & Aira, M. J. (2013). Influence of thermal requirement in the aerobiological and

- phenological behavior of two grapevine varieties. *Aerobiologia*, 29(4), 523-535. <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9302-6>
- Fernandez, E., Schiffers, K., Urbach, C., & Luedeling, E. (2022). Unusually warm winter seasons may compromise the performance of current phenology models – Predicting bloom dates in young apple trees with PhenoFlex. *Agricultural and Forest Meteorology*, 322, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109020>
- Fishman, S., Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology*, 124(4), 473-483. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80221-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80221-7)
- Fu, Y., Li, X., Zhou, X., Geng, X., Guo, Y., & Zhang, Y. (2020). Progress in plant phenology modeling under global climate change. *Science China Earth Sciences*, 63(9), 1237-1247. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9622-2>
- García de Cortázar-Atauri, I., Duchêne, E., Destrac-Irvine, A., Barbeau, G., de Rességuier, L., Lacombe, T., Parker, A. K., Saurin, N., & van Leeuwen, C. (2017). Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change. *OENO One*, 51(2), 115-126. <https://doi.org/10.20870/oenone.2017.51.2.1622>
- Garnot, V. S. F., Spafford, L., Lever, J., Sigg, C., Pietragalla, B., Vitasse, Y., Gessler, A., & Wegner, J. D. (2025). Deep learning meets tree phenology modelling: PhenoFormer versus process-based models. *Methods in Ecology and Evolution*, 16(7), 1489-1506. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.70037>
- Hammer, G. L., Carberry, P. S., & Muchow, R. C. (1993). Modelling genotypic and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. I. Whole plant level. *Field Crops Research*, 33(3), 293-310.
- Hänninen, H. (1987). Effects of temperature on dormancy release in woody plants: Implications of prevailing. *Silva Fenn*, 21, 279-299.
- Hänninen, H. (1990). Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Forestalia Fennica*, 213(article id 7660), 47. <https://doi.org/10.14214/aff.7660>

- Hänninen, H. (1991). Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell & Environment*, 14(5), 449-454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01514.x>
- Hänninen, H. (2016a). The Annual Phenological Cycle. In *Boreal and Temperate Trees in a Changing Climate: Modelling the Ecophysiology of Seasonality* (pp. 35-138). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7549-6_3
- Hänninen, H. (2016b). Dynamic Modelling of the Annual Cycle. In *Boreal and Temperate Trees in a Changing Climate: Modelling the Ecophysiology of Seasonality* (pp. 15-34). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7549-6_2
- Hänninen, H., & Kramer, K. (2007). A framework for modelling the annual cycle of trees in boreal and temperate regions. *Silva fennica*, 41(1), 167.
- Hänninen, H., Kramer, K., Tanino, K., Zhang, R., Wu, J., & Fu, Y. H. (2019). Experiments are necessary in process-based tree phenology modelling. *Trends in Plant Science*, 24(3), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.006>
- Hopp, R. J. (1974). Plant Phenology Observation Networks. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 25-43). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_3
- Hunter, A. F., & Lechowicz, M. J. (1992). Predicting the Timing of Budburst in Temperate Trees. *Journal of Applied Ecology*, 29(3), 597-604. <https://doi.org/10.2307/2404467>
- Katal, N., Rzanny, M., Mäder, P., & Wäldchen, J. (2022). Deep learning in plant phenological research: a systematic literature review [Systematic Review]. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.805738>
- Keenan, T. F., & Richardson, A. D. (2015). The timing of autumn senescence is affected by the timing of spring phenology: implications for predictive models. *Global change biology*, 21(7), 2634-2641.
- Kikuzawa, K. (1991). A cost-benefit analysis of leaf habit and leaf longevity of trees and their geographical pattern. *The American Naturalist*, 138(5), 1250-1263. <https://doi.org/10.1086/285281>

- Kikuzawa, K. (1995). Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. *Canadian Journal of Botany*, 73(2), 158-163. <https://doi.org/10.1139/b95-019>
- Kikuzawa, K. (1996). Geographical distribution of leaf life span and species diversity of trees simulated by a leaf-longevity model. *Vegetatio*, 122(1), 61-67. <https://doi.org/10.1007/BF00052816>
- Kikuzawa, K., & Kudo, G. (1995). Effects of the length of the snow-free period on leaf longevity in alpine shrubs: a cost-benefit model. *Oikos*, 73(2), 214-220. <https://doi.org/10.2307/3545910>
- Kobayashi, K. D., Fuchigami, L. H., & English, M. J. (1982). Modeling temperature requirements for rest development in *Cornus sericea* 1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107(5), 914-918.
- Kramer, K. (1994a). A modelling analysis of the effects of climatic warming on the probability of spring frost damage to tree species in The Netherlands and Germany. *Plant, Cell & Environment*, 17(4), 367-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1994.tb00305.x>
- Kramer, K. (1994b). Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. *Journal of Applied Ecology*, 31(1), 172-181. <https://doi.org/10.2307/2404609>
- Kramer, K., & Mohren, G. M. J. (1996). Sensitivity of FORGRO to climatic change scenarios: A case study on *Betula pubescens*, *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* in The Netherlands. *Climatic Change*, 34(2), 231-237. <https://doi.org/10.1007/BF00224634>
- Kuneš, J. (2012). Methodology of Modeling. In *Similarity and Modeling in Science and Engineering* (pp. 5-29). Cambridge International Science Publishing Ltd. https://doi.org/10.1007/978-1-907343-78-0_2
- Landsberg, J. J. (1974). Apple fruit bud development and growth; analysis and an empirical model. *Annals of Botany*, 38(5), 1013-1023. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084891>
- Lang, W., Chen, X., Qian, S., Liu, G., & Piao, S. (2019). A new process-based model for predicting autumn phenology: How is leaf senescence controlled by photoperiod and temperature coupling? *Agricultural and Forest Meteorology*, 268, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.006>

- Leinonen, I. (1996). A simulation model for the annual frost hardiness and freeze damage of scots pine. *Annals of Botany*, 78(6), 687-693. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0178>
- Leolini, L., Bregaglio, S., Moriondo, M., Ramos, M. C., Bindi, M., & Ginaldi, F. (2018). A model library to simulate grapevine growth and development: software implementation, sensitivity analysis and field level application. *European Journal of Agronomy*, 99, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.006>
- Liang, L. (2019). Phenology. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11739-7>
- Lieth, H. (1974). *Phenology and Seasonality Modeling* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Lieth, H., & Radford, J. S. (1971). Phenology, resource management, and synagraphic computer mapping. *BioScience*, 21(2), 62-70. <https://doi.org/10.2307/1295541>
- Linsley-Noakes, G. C., Louw, M., & Allan, P. (1995). Estimating daily positive Utah chill units using daily minimum and maximum temperatures [Journal article]. *Journal of the Southern African Society for Horticultural Sciences*, 5(1), 19-23.
- Luedeling, E., & Brown, P. H. (2011). A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. *International Journal of Biometeorology*, 55(3), 411-421. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0352-y>
- Luedeling, E., Schiffrers, K., Fohrmann, T., & Urbach, C. (2021). PhenoFlex - an integrated model to predict spring phenology in temperate fruit trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108491. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108491>
- Maurer, C., Koch, E., Hammerl, C., Hammerl, T., & Pokorny, E. (2009). BACCHUS temperature reconstruction for the period 16th to 18th centuries from Viennese and Klosterneuburg grape harvest dates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D22).
- McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4), 291-300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)

- Meier, N., Rutishauser, T., Pfister, C., Wanner, H., & Luterbacher, J. (2007). Grape harvest dates as a proxy for Swiss april to august temperature reconstructions back to AD 1480. *Geophysical Research Letters*, 34(20).
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O. g., & Briede, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global change biology*, 12(10), 1969-1976.
- Miller, P., Lanier, W., & Brandt, S. (2001). Using growing degree days to predict plant stages. *Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO, 59717*(406), 994-2721.
- Molitor, D., Junk, J., Evers, D., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2014). A high-resolution cumulative degree day-based model to simulate phenological development of grapevine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(1), 72-80.
- Morain, S. A. (1974). Phenology and Remote Sensing. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 55-75). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_5
- Morellato, L. P. C., Camargo, M. G. G., & Gressler, E. (2013). A Review of Plant Phenology in South and Central America. In M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science* (pp. 91-113). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_6
- Morin, X., Augspurger, C., & Chuine, I. (2007). Process-based modeling of species' distributions: What limits temperate tree species' range boundaries? *Ecology*, 88(9), 2280-2291.
- Murthy, V. R. K. (2004, 7-11 July 2003). Crop growth modeling and its applications in agricultural meteorology. Proceedings of the Training Workshop, Dehra Dun, India.
- Parker, A. K., de Cortazar-Atauri, I. G., van Leeuwen, C., & Chuine, I. (2011). General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 206-216. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x>
- Pau, S., Wolkovich, E. M., Cook, B. I., Davies, T. J., Kraft, N. J. B., Bolmgren, K., Betancourt, J. L., & Cleland, E. E. (2011). Predicting phenology by

- integrating ecology, evolution and climate science. *Global change biology*, 17(12), 3633-3643. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02515.x>
- Rafique, R., Ahmad, T., Ahmed, M., Khan, M. A., Wilkerson, C. J., & Hoogenboom, G. (2023). Seasonal variability in the effect of temperature on key phenological stages of four table grapes cultivars. *International Journal of Biometeorology*, 67(5), 745-759. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02452-0>
- Reader, R., Radford, J. S., & Lieth, H. (1974). Modeling Important Phytophenological Events in Eastern North America. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 329-342). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_27
- Réaumur, R. (1735). Observations du thermomètre faites pendant l'année MDCCXXXV comparées a celles qui ont été faites sous la ligne a l'Isle-de-France, a Alger et en quelques-unes de nos Isles de l'Amérique. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 1735, 545-576.
- Richardson, A. D., Anderson, R. S., Arain, M. A., Barr, A. G., Bohrer, G., Chen, G., Chen, J. M., Ciais, P., Davis, K. J., Desai, A. R., Dietze, M. C., Dragoni, D., Garrity, S. R., Gough, C. M., Grant, R., Hollinger, D. Y., Margolis, H. A., McCaughey, H., Migliavacca, M., . . . Xue, Y. (2012). Terrestrial biosphere models need better representation of vegetation phenology: results from the North American Carbon Program Site Synthesis. *Global change biology*, 18(2), 566-584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02562.x>
- Richardson, A. D., Keenan, T. F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O., & Toomey, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 156-173.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'redhaven' and 'elberta' peach trees. *HortScience*, 9(4), 331-332.
- Riou, C. (1994). *The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the European Community*. Office for Official Publications of the European Communities.

- Santos, J. A., Costa, R., & Fraga, H. (2019). New insights into thermal growing conditions of Portuguese grapevine varieties under changing climates. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3), 1215-1226. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2443-3>
- Scaglione, G., Pasquarella, C., Federico, R., Bonfante, A., & Terrible, F. (2008). A multidisciplinary approach to grapevine zoning using GIS technology: An example of thermal data elaboration. *VITIS-GEILWEILERHOF-*, 47(2), 131.
- Schiffers, K., Urbach, C., Fernandez, E., Whitney, C., FadÃ³n, E., & Luedeling, E. (2021). A new modelling framework for fruit and nut tree phenology.
- Schnelle, F. (1955). Pflanzen-phänologie (Plant phenology)–Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. In: G.
- Schultz, H. R. (1992). An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf area development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera* L.) canopy-systems. *Scientia Horticulturae*, 52(3), 179-200. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90020-D](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90020-D)
- Schwartz, M. D. (2013). Introduction. In M. D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science* (pp. 1-5). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_1
- Sparks, T., & Menzel, A. (2013). Plant Phenology Changes and Climate Change. In S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* (pp. 103-108). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00229-X>
- TBD. (2025). Modeling- definition and meaning. In *The Britannica Dictionary*. Retrieved 2025, from <https://www.britannica.com/dictionary/modeling>
- TCD. (2025). Meaning of modelling in English. In *The Cambridge Dictionary*. Retrieved 2025, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/modelling>
- Thornley, J. H., & Johnson, I. R. (1990). *Plant and Crop Modelling*. Clarendon Oxford.
- van Bree, R., Marcos, D., & Athanasiadis, I. N. (2025). Hybrid Phenology Modeling for Predicting Temperature Effects on Tree Dormancy. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 39(27), 28458-28466. <https://doi.org/10.1609/aaai.v39i27.35068>

- Vegis, A. (1964). Dormancy in higher plants. *Annual review of plant physiology*, 15(1), 185-224.
- Waggoner, P. E., & Parlange, J.-Y. (1974). Modeling Seasonality. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 301-327). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_26
- Wang, E., & Engel, T. (1998). Simulation of phenological development of wheat crops. *Agricultural Systems*, 58(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00028-6)
- Wang, J. Y. (1960). A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, 41(4), 785-790.
- Wang, J. Y. (1963). *Agricultural Meteorology*. Pacemaker Press.
- Way, D. A., & Montgomery, R. A. (2015). Photoperiod constraints on tree phenology, performance and migration in a warming world. *Plant, cell and environment*, 38(9), 1725-1736.
- Weinberger, J. H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proceedings. American Society for Horticultural Science*,
- Zhao, M., Peng, C., Xiang, W., Deng, X., Tian, D., Zhou, X., Yu, G., He, H., & Zhao, Z. (2013). Plant phenological modeling and its application in global climate change research: overview and future challenges. *Environmental Reviews*, 21(1), 1-14.
- Zhu, J., Parker, A., Gou, F., Agnew, R., Yang, L., Greven, M., Raw, V., Neal, S., Martin, D., Trought, M. C. T., Huth, N., & Brown, H. E. (2021). Developing perennial fruit crop models in APSIM Next Generation using grapevine as an example. *in silico Plants*, 3(2). <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diab021>

BÖLÜM 22
MEYVE AĞAÇLARINDA KURAKLIK STRESİNE KARŞI
FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER ADAPTASYON
MEKANİZMALARI İLE ENTEGRE ISLAH VE YÖNETİM
STRATEJİLERİ

Dr. Kenan ÇELİK ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780094>

¹ GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi, Diyarbakır, Türkiye.
celikkenan@tarimorman.gov.tr, Orcid No: 0000-0002-5780-6342

1. GİRİŞ

Kuraklık, tarımsal üretimi sınırlayan en yaygın ve etkili abiyotik stres faktörlerinden biri olup, özellikle uzun ömürlü bitkiler olan meyve ağaçları üzerinde kalıcı ve derin etkiler yaratmaktadır. Küresel iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık değerleri, düzensizleşen yağış rejimleri ve giderek azalan su kaynakları, kuraklık stresinin şiddetini ve sıklığını ciddi biçimde artırmakta; bu durum, özellikle Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkelerde meyveciliğin sürdürülebilirliği açısından önemli tehditler oluşturmaktadır (IPCC, 2021).

Meyve ağaçlarının fizyolojik özellikleri ile kalıcı ve yaygın kök sistemleri, onları uzun süreli su kısıtlarına karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Kuraklık stresi, hücre içi su potansiyelinin azalması, stomatal kapanma, fotosentez oranında düşüş ve buna bağlı olarak meyve veriminde azalma gibi birbirini tetikleyen fizyolojik tepkilere yol açmaktadır (Chaves et al., 2003; Flexas & Medrano, 2002). Bu etkiler, yalnızca kısa vadeli verim kayıplarına neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda bitkilerin büyüme ve gelişimini, çiçeklenme süreçlerini ve ürün kalitesini uzun vadede olumsuz etkilemektedir.

Meyve ağaçları, kuraklık stresine karşı çok yönlü ve karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmektedir. Bu mekanizmalar arasında osmotik düzenleme (örneğin prolin, çözünebilir şekerler ve betain birikimi), antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu ve yapısal adaptasyonlar (örneğin yaprak küçülmesi, kök sisteminin derinleşmesi) yer almaktadır (Bartels & Sunkar, 2005; Ahmed et al., 2013). Ancak, bu tepkiler yalnızca metabolik düzeyde sınırlı kalmamakta; aynı zamanda gen ekspresyonu, sinyal iletimi ve transkripsiyon faktörleri düzeyinde de derinlemesine düzenlemeleri içeren moleküler adaptasyon stratejileriyle desteklenmektedir (Zhu, 2016; Nakashima et al., 2009).

Son yıllarda, moleküler biyoloji ve genetik alanındaki teknolojik gelişmeler, kuraklık toleransına katkı sağlayan genlerin tanımlanması ve işlevsel olarak karakterize edilmesini mümkün kılmış; bu sayede kuraklığa dayanıklı genotiplerin geliştirilmesine yönelik yeni nesil ıslah stratejilerinin önü açılmıştır (Gupta et al., 2020). Bununla birlikte, etkin sulama yönetimi, sensör destekli izleme sistemleri ve modern agronomik uygulamalarla entegre edilen çok disiplinli yaklaşımlar, meyve ağaçlarının kuraklık stresine karşı dirençli hale getirilmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Ferreira & Soriano, 2007).

Bu çalışma kapsamında, kuraklık stresinin meyve ağaçları üzerindeki fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler etkileri sistematik biçimde ele alınmakta;

söz konusu stres koşullarına karşı bitkilerde geliştirilen adaptif yanıtların yanı sıra, genetik ve agronomik çözüm stratejileri detaylandırılmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı; tarımsal sürdürülebilirliği destekleyen bilimsel temelli yaklaşımların ortaya konması ve uygulamaya dönük çözüm önerilerinin geliştirilmesidir.

2. KURAKLIK STRESİNİN MEYVE AĞAÇLARINDAKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Kuraklık, bitkisel üretimi sınırlayan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biri olup, özellikle su potansiyelinin azalması yoluyla bitki fizyolojisi üzerinde çok yönlü etkiler oluşturur. Meyve ağaçları, derin kök sistemlerine sahip olmalarına rağmen uzun süreli kuraklık koşullarında önemli düzeyde su stresi yaşayabilirler. Bu durum, özellikle büyüme, gaz değişimi ve su kullanımı verimliliği gibi temel fizyolojik süreçlerde bozulmalara yol açarak verim ve kalite üzerinde kalıcı olumsuzluklar doğurabilir (Chaves et al., 2003).

Kuraklık koşullarında bitkiler ilk olarak su kaybını azaltmak için stomalarını kapatır. Bu, transpirasyon yoluyla su kaybını sınırlandırırsa da, aynı zamanda fotosentetik karbon alımını kısıtlayarak fotosentez oranını düşürür (Flexas et al., 2002). Uzayan su yetersizliği durumlarında, yaprak turgorunun azalması, ozmotik denge bozulmaları ve ksilem embolizmi gibi hidrolik sistemin işleyişini engelleyen süreçler devreye girer (Martínez-Vilalta & Garcia-Forner, 2017).

Bu fizyolojik yanıtların yanı sıra, meyve ağaçlarında yapısal düzeyde de bazı adaptasyonlar gözlemlenir. Örneğin yaprak alanının azaltılması, kök/sürgün oranında artış ve bazı ozmotik düzenleyici bileşiklerin birikimi gibi tepkiler, bitkinin sınırlı su kaynaklarını daha verimli kullanmasını hedefler (Hsiao, 1973). Ancak stresin şiddeti arttığında, bu savunma mekanizmaları yetersiz kalabilir ve sonuçta büyüme durabilir, fotosentetik sistem hasar görebilir ve generatif gelişim olumsuz etkilenir.

Özetle, kuraklık stresine karşı meyve ağaçlarında gelişen fizyolojik tepkiler, kısa vadede hayatta kalmayı hedefleyen savunma mekanizmalarını yansıtırken, uzun vadede bu tepkiler verim potansiyelinde kayıplarla sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle kuraklık stresi, meyve yetiştiriciliğinde dikkate alınması gereken kritik bir çevresel faktördür.

2.1. Yaprak Su Potansiyeli ve Turgor Kaybı

Toprakta mevcut suyun azalması, kökler aracılığıyla su alımını sınırlandırarak yaprak dokularında su potansiyelinin düşmesine yol açar. Bu durum, bitki hücrelerinde turgor basıncının kaybına neden olur ve özellikle genç yapraklarda hücre büyümesi ve genişlemesi gibi temel gelişimsel süreçleri olumsuz etkiler (Hsiao, 1973). Turgor kaybı, yaprak dokusunda solgunluk ve elastikiyetin azalması şeklinde kendini gösterirken, hücre içi basıncın düşmesi metabolik aktivitelerde belirgin bir yavaşlamaya neden olur.

Yaprak su potansiyelindeki bu azalma, fotosentez sürecinin doğrudan kısıtlanmasına yol açar. Bunun başlıca nedeni, stomataların kapanmasıyla transpirasyonun sınırlandırılması ve bunun sonucunda karbondioksit girişinin azalmasıdır (Flexas et al., 2002). Bu durum, bitkinin kısa vadede su kaybını önlemeye yönelik geliştirdiği bir savunma mekanizmasıdır. Ancak uzun süreli etkiler göz önüne alındığında, fotosentetik karbon alımındaki azalma, enerji üretimini sınırlamakta ve bu da büyüme hızında düşüşe neden olmaktadır (Chaves et al., 2003).

Turgor kaybı yalnızca mekanik destek açısından değil, aynı zamanda hücresel fizyolojik dengenin sürdürülebilmesi bakımından da kritik rol oynamaktadır. Hücre içi su dengesinin bozulması, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini tetikleyerek oksidatif stresin artmasına neden olur. Bu durum, hücre zarlarının bütünlüğünü zayıflatmakta, lipid peroksidasyonu düzeyini artırmakta ve enzimatik faaliyetlerde aksamalara yol açmaktadır (Mittler, 2002; Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Özellikle çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi suya yüksek duyarlılık gösteren fenolojik evrelerde, bu fizyolojik bozukluklar ürün verimi ve kalitesi üzerinde doğrudan olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Sonuç olarak, yaprak su potansiyelindeki azalma ve turgor kaybı, meyve ağaçlarında kuraklık stresine karşı gelişen temel fizyolojik yanıtları oluşturur. Bu yanıtlar, bitkinin kısa vadeli hayatta kalma kapasitesini artırsa da, uzun süreli kuraklık koşullarında verim potansiyelini ve ürün kalitesini sürdürülebilir kılmak için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, kuraklığa dayanıklı tür ve çeşitlerin geliştirilmesi, söz konusu fizyolojik süreçlerin derinlemesine anlaşılmasını gerektirmektedir.

2.2. Stomatal Kapanma ve Gaz Alışverişi

Kuraklık koşullarında, bitkiler öncelikli olarak stomatalarını kapatarak transpirasyonu sınırlandırmak suretiyle su kaybını azaltmayı hedefler. Bu fizyolojik yanıt, kısa vadede su kullanım etkinliğini (WUE) artırarak mevcut suyun daha ekonomik bir şekilde kullanılmasına olanak tanır (Lawlor & Cornic, 2002). Bununla birlikte, stomatal kapanma aynı zamanda karbondioksit (CO_2) alımını da sınırladığı için, fotosentez hızında belirgin bir düşüşe neden olur. Bu durum, karbon metabolizmasının yavaşlamasına, enerji üretiminde azalmaya ve uzun vadede büyüme ile verimlilikte kayıplara yol açar (Chaves et al., 2003).

Stomatal kapanmanın düzenlenmesinde, abscisic acid (ABA) hormonu merkezi bir rol oynar. Kuraklık koşullarında kökler tarafından sentezlenen ABA, yapraklara taşınarak stomatal hücrelerde iyon akışlarını düzenler ve gözeneklerin kapanmasını sağlar (Cutler et al., 2010). Bu mekanizma, su kaybını sınırlamak açısından etkili bir savunma stratejisi olmakla birlikte, fotosentetik kapasite üzerinde baskılayıcı bir etki yaratarak bitki gelişimi açısından dengeleyici bir unsur haline gelir.

Meyve ağaçları üzerine yapılan araştırmalar, türler arasında değişiklik göstermekle birlikte, kuraklık koşullarında stomatal iletkenliğin genellikle %30–70 oranında azaldığını göstermektedir. Örneğin, zeytin, narenciye ve elma gibi meyve ağaçlarında bu iletkenlik azalması, fotosentez oranlarının düşmesine ve buna bağlı olarak ürün kalitesi ile miktarında önemli kayıplara neden olabilmektedir (Flexas et al., 2006 b).

Stomatal kapanma, kuraklık stresine karşı etkili bir kısa vadeli adaptasyon mekanizması olmakla birlikte, bu durumun uzun süre devam etmesi gaz alışverişinin sürdürülebilirliğini bozmakta ve fotosentez yetersizliğine yol açmaktadır. Bu durum, gelişimsel süreçlerde aksamalar yaratmakta ve meyve kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, stomatal davranışlar kuraklık toleransının değerlendirilmesinde temel fizyolojik kriterlerden biri olarak ele alınmalıdır.

2.3. Fotosentezde Azalma ve Klorofil Degradasyonu

Kuraklık stresi, fotosentez sürecini hem stomatal hem de stomatal olmayan yollarla olumsuz yönde etkiler. Yaprak içi CO_2 konsantrasyonunun stomatal kapanma nedeniyle azalması, karbon fiksasyonunu sınırlandırırken, stomatal olmayan etkiler olarak Rubisco enziminin aktivitesindeki azalma, ATP

üretiminin bozulması ve kloroplast yapısında meydana gelen hasarlar fotosentetik kapasitenin ciddi şekilde düşmesine yol açar (Flexas et al., 2006a).

Kuraklık koşullarında fotosistem II (PSII) verimliliği azalmakta ve bu süreçte reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi hızlanmaktadır. Bu oksidatif süreç, özellikle klorofil moleküllerinin yapısal bütünlüğünü bozarak klorofil degradasyonuna neden olur (Mittler, 2002). Klorofil içeriğindeki azalma, ışık yakalama kapasitesini düşürerek fotosentetik etkinliği ve dolayısıyla karbon asimilasyonunu sınırlar.

Meyve ağaçlarında kuraklık stresine bağlı olarak meydana gelen fotosentez azalması; meyve gelişimi, renk oluşumu, tat ve aroma bileşiklerinin sentezi gibi kaliteyle doğrudan ilişkili fizyolojik süreçleri olumsuz etkileyebilir. Nitekim elma ve şeftali gibi türlerde yapılan çalışmalar, kuraklık koşullarında fotosentetik verimliliğin %30–50 oranında azaldığını ve bu durumun meyve kalitesinde gözle görülür düşüşlere yol açtığını göstermektedir (Chaves et al., 2007).

Bu fizyolojik kısıtlamalar yalnızca mevcut sezonda ürün miktarını değil, aynı zamanda karbon rezervlerinin azalması yoluyla bitkinin gelecek sezondaki büyüme ve çiçeklenme potansiyelini de olumsuz etkiler. Bu nedenle, kuraklık altında fotosentezin kırılganlığı, yalnızca anlık verim değil, uzun vadeli fizyolojik sürdürülebilirlik açısından da kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

2.4. Hidrolik İletim Bozuklukları ve Ksilem Kaviteasyonu

Kuraklık stresi, yalnızca yaprak düzeyinde gaz alışverişini değil, aynı zamanda suyun köklerden yapraklara taşınmasını sağlayan hidrolik iletim sistemini de sekteye uğratır. Toprak su potansiyelindeki düşüş, ksilem damarlarında negatif basıncın artmasına ve bu durumun sonucunda ksilemde hava kabarcıkları (emboliler) oluşmasına neden olur. Bu olay, ksilem kaviteasyonu olarak tanımlanır (Tyree & Sperry, 1989).

Ksilem kaviteasyonu, su iletim kapasitesinde azalmaya neden olarak, yapraklarda solgunluk, transpirasyon dengesizliği ve fotosentezde düşüş gibi fizyolojik sorunların ortaya çıkmasına yol açar (Choat et al., 2012). Meyve ağaçlarında gerçekleştirilen çalışmalar, bu tür kaviteasyon olaylarının meyve tutumu ve sürgün büyümesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini ortaya koymuştur (Scholz et al., 2013).

Kuraklığa dayanıklı çeşitlerde, ksilem dokusunun kavitasyona karşı dirençli özellikler taşıması büyük önem arz eder. Özellikle ksilem damarlarının küçük çaplı olması ve lignin içeriğinin yüksekliği gibi yapısal faktörler, kavitasyon riskini azaltıcı yönde etki gösterir (Markesteyn et al., 2011). Bu yapısal özelliklerin belirlenerek ıslah programlarında değerlendirilmesi, kuraklık stresine karşı daha dirençli meyve türlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

2.5. Termal Stres ve Yaprak Sıcaklığı

Kuraklık stresiyse sıklıkla eş zamanlı olarak ortaya çıkan yüksek sıcaklık koşulları, bitkiler üzerinde birbirini tetikleyen ve karmaşık stres yanıtlarına neden olur. Stomatal kapanma, transpirasyonu sınırlandırarak su kaybını azaltırken, aynı zamanda bitkinin buharlaşmayla sağladığı doğal serinleme mekanizmasını da engeller. Bu durum, yaprak sıcaklığında artışa ve buna bağlı olarak fotosentetik verimlilikte düşüşe yol açar. Yüksek sıcaklık, Rubisco enzim aktivitesini azaltarak karboksilasyon sürecinde aksamalara neden olur ve karbon kazanımını sınırlar.

Yüksek sıcaklık koşullarında yaprak hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin birikimi artmakta, bu da hücre zarlarında oksidatif hasara neden olarak fotosentetik sistemin etkinliğini daha da düşürmektedir. Bitkiler, bu tür stres koşullarına karşı bazı savunma mekanizmalarını aktive etse de, uzun süreli ve şiddetli termal stres metabolik dengenin bozulmasına ve hücresel düzeyde kalıcı hasarlara yol açabilir (Mittler, 2002).

Meyve dokuları da bu tür sıcaklık streslerinden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle olgunlaşma döneminde karşılaşılan yüksek sıcaklık, meyve kalitesini belirleyen renk, aroma ve doku özelliklerinde bozulmalara yol açabilir. Artan su kaybı ve enzim aktivitelerindeki dengesizlik, meyve yüzeyinde çatlaklara ve tat kalitesinde azalmaya neden olabilir.

Kuraklıkla birlikte gelişen termal stresin meyve ağaçlarında fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri çok yönlü biçimde etkilemesi, verim ve kalite kayıplarını artıran önemli bir risk faktörüdür. Bu nedenle, termal stresin etkilerini azaltmaya yönelik adaptasyon yaklaşımları ve dayanıklı çeşit geliştirme stratejileri, meyvecilikte sürdürülebilir üretimin sağlanmasında kritik öneme sahiptir.

3. KURAKLIK STRESİNE KARŞI BİYOKİMYASAL VE MOLEKÜLER TEPKİLER

Kuraklık stresi, meyve ağaçlarında sadece morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda hücresel ve moleküler düzeyde karmaşık adaptif tepkilerin tetiklenmesine yol açar. Bitkiler, su kıtlığı gibi olumsuz çevresel koşullara karşı hayatta kalabilmek ve adaptasyon sağlayabilmek amacıyla gen ekspresyonunu yeniden programlar, sinyal iletim yollarını aktive eder ve koruyucu biyokimyasal savunma sistemlerini devreye alır. Özellikle antioksidan kapasitenin artırılması ve osmotik dengenin sağlanması, stres altındaki hücre zarlarının stabilitesinin ve metabolik işlevlerin korunmasında kritik rol oynar. Bu moleküler tepkilerin ortaya çıkışı, stresin şiddeti, süresi ve bitkinin genetik yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sonuç olarak, bu biyokimyasal ve moleküler adaptasyon mekanizmaları, meyve ağaçlarının kuraklık stresine karşı dayanıklılığını ve verim potansiyelini belirleyen temel unsurlar arasında yer alır (Bartels & Sunkar, 2005; Verslues et al., 2006).

3.1. Osmotik Düzenleyiciler (Osmolitler)

Kuraklık stresi karşısında bitkilerin erken savunma mekanizmalarından biri, hücre içi su potansiyelini korumak amacıyla düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklerin, yani osmolitlerin sentezlenmesidir. Osmolitler, hücre içindeki ozmotik potansiyeli düzenleyerek turgor basıncının korunmasını sağlar ve böylece hücrelerin su kaybını minimize eder (Ashraf & Foolad, 2007). Ayrıca bu bileşikler, protein ve enzimlerin stabilizasyonu, reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonu ve hücre membranlarının bütünlüğünün sürdürülmesi gibi hayati işlevlerde de rol oynar (Szabados & Savouré, 2010).

Bitkilerde en yaygın osmolitler arasında prolin, glisin betain, sakkaroz ve mannitol yer alır. Bu bileşikler, yüksek konsantrasyonlarda hücre metabolizmasını bozmayacak şekilde birikir. Özellikle prolin, hem osmotik denge sağlama hem de moleküler koruma işleviyle kuraklık stresine karşı öne çıkar. Prolin birikimi, stres şiddetine bağlı olarak artar ve stres sona erdiğinde hızlıca yıkılarak enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılır (Verbruggen & Hermans, 2008; Hayat et al., 2012). Ayrıca prolin, serbest radikallerin temizlenmesine katkıda bulunarak oksidatif hasarın azaltılmasına destek olur.

Meyve ağaçlarında yapılan çalışmalar, prolin birikiminin tür ve çeşitlere göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, elma, narenciye, zeytin

ve üzümde kuraklık stresi altında yaprak ve meyve dokularında anlamlı prolin artışları gözlemlenmiştir (Bandurska et al., 2013). Bu artışlar, ilgili türlerin kuraklık tolerans düzeyiyle paralellik arz etmektedir.

Son yıllarda moleküler ıslah ve genetik mühendislik alanındaki gelişmelerle, osmolit biyosentez yolundaki genlerin düzenlenmesi kuraklığa dayanıklı meyve türleri geliştirme hedefiyle yoğunlaşmıştır. Özellikle prolin biyosentezinde kritik öneme sahip P5CS ve P5CR genlerinin aşırı ekspresyonu, transgenik bitkilerde stres toleransını artırmada umut vadeden bir strateji olarak görülmektedir (Kavi Kishor & Sreenivasulu, 2014).

3.2. Antioksidan Enzimler ve Oksidatif Stresin Düzenlenmesi

Kuraklık stresi, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı birikimine yol açarak oksidatif stresin temel kaynaklarından biri haline gelir. Süperoksit anyonu (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\bullet OH$) gibi ROS bileşenleri, lipid peroksidasyonu, protein denatürasyonu ve DNA hasarı gibi hücresel düzeyde ciddi tahribatlara sebebiyet verebilir (Mittler, 2002; Apel & Hirt, 2004).

Bitkiler, bu zararlı etkileri minimize etmek ve hücresel redoks dengesini korumak amacıyla enzimatik ve non-enzimatik antioksidan savunma sistemlerini aktive ederler. Enzimatik sistemin temel bileşenleri arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) bulunur. Bu enzimler, ROS türlerinin detoksifikasyonunda kritik rol üstlenerek hücreyi oksidatif hasardan korurlar (Gill & Tuteja, 2010; Noctor & Foyer, 1998).

Meyve ağaçlarında yapılan araştırmalar, kuraklık stresi altında bu antioksidan enzimlerin aktivitelerinde belirgin artışlar olduğunu göstermektedir. Örneğin, ‘Shine Muscat’ üzüm çeşidinde kuraklık stresi, SOD, CAT ve APX aktivitelerini artırarak oksidatif hasarın azaltılmasına katkı sağlamıştır (Lin et al., 2023). Benzer şekilde, Citrus aurantium’da su stresi, yapraklarda SOD ve APX aktivitelerinde yükselmeye neden olmuştur (Arbona et al., 2008).

Bu veriler, antioksidan enzimlerin kuraklık toleransında merkezi bir rol oynadığını ve bu enzim aktivitelerinin ölçülmesinin bitkilerin stres yanıtlarının değerlendirilmesinde önemli biyokimyasal göstergeler olduğunu ortaya koymaktadır.

3.3. Kuraklık Stresine Bağlı Gen Ekspresyonu ve Moleküler Adaptasyon Mekanizmaları

Kuraklık stresi, meyve ağaçlarında su dengesini sağlama, metabolik stabiliteyi koruma ve hücresel hasarı onarma amacıyla çeşitli genlerin ekspresyonunu tetikler. Bu genler arasında osmotik dengeyi sağlayan metabolitlerin sentezinde rol alanlar, antioksidan enzimleri kodlayanlar, su taşıma kanalları (aquaporinler) ve DNA-protein onarım mekanizmalarına dahil olanlar bulunmaktadır (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007).

Kuraklık toleransının düzenlenmesinde transkripsiyon faktörleri (TF'ler) kritik öneme sahiptir. Bu proteinler, çevresel stres sinyallerine yanıt vererek ilgili genlerin transkripsiyonunu kontrol eder ve bitkinin uzun süreli adaptasyon kapasitesini belirler. Özellikle DREB, NAC, MYB ve bZIP gibi transkripsiyon faktörü aileleri, kuraklık stresine yanıt olarak gen ekspresyonunu modüle eder ve bitkilerin stres koşullarına uyum sağlamasında önemli roller üstlenir (Nakashima, Yamaguchi-Shinozaki & Shinozaki, 2014).

3.4. Transkripsiyon Faktörlerinin Rolü ve Genetik Düzenleme

Kuraklık stresi altında bitkilerde gen ekspresyonunun düzenlenmesi büyük ölçüde transkripsiyon faktörleri (TF'ler) aracılığıyla gerçekleşir. Bu faktörler, stres sinyallerinin alındığı promotör bölgelerine bağlanarak hedef genlerin aktivitesini kontrol eder ve çevresel uyuma yönelik özelleşmiş hücresel tepkilerin ortaya çıkmasını sağlar (Yamaguchi-Shinozaki & Shinozaki, 2006).

Kuraklık ve diğer stres koşullarında öne çıkan başlıca TF aileleri şunlardır:

- ❖ DREB/CBF (Dehydration-Responsive Element Binding proteins): Kuraklık, tuzluluk ve düşük sıcaklık gibi streslere hızlı yanıt verir, stresle ilişkili genlerin ekspresyonunu aktive eder (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007).
- ❖ NAC: Hücresel gelişim, programlı hücre ölümü ve stres adaptasyonunda görev alan geniş bir TF ailesidir (Puranik et al., 2012).
- ❖ MYB: Sekonder metabolit sentezi, hücre proliferasyonu ve stres yanıtlarında rol oynar (Dubos et al., 2010).
- ❖ bZIP (basic leucine zipper): ABA sinyal yollarıyla etkileşerek su kıtlığına yanıt verir ve çeşitli stresle ilişkili genlerin transkripsiyonunu düzenler (Jakoby et al., 2002).

- ❖ WRKY: Oksidatif stres ve patojen saldırısına karşı gen ekspresyonunu modüle eder (Phukan et al., 2016).

Bu TF'lerin ekspresyon düzeyleri, *Malus domestica*, *Prunus avium*, *Olea europaea* ve *Citrus* türleri gibi birçok meyve ağacında kuraklık stresi koşullarında belirgin şekilde artmaktadır (Nakashima et al., 2014). Ayrıca, bu transkripsiyon faktörleri arasındaki genetik etkileşimler (cross-talk), stres yanıtının kompleks ve dinamik düzenleyici ağlarını oluşturur ve meyve ağaçlarının çevresel zorluklara karşı adaptasyon kabiliyetini güçlendirir (Nakashima et al., 2014). Günümüzde genetik mühendislik yöntemleri, özellikle CRISPR/Cas9 tabanlı gen düzenleme teknikleri, bu TF'lerin hedeflenmesi yoluyla kuraklık toleransının artırılmasında önemli bir potansiyel taşımaktadır.

3.5. Koruyucu Proteinler: LEA ve Dehidrinlerin Fonksiyonları

Kuraklık gibi su stresi koşullarında bitkiler, hücrelerindeki su kaybını önlemek ve hücresel yapıları korumak için özel koruyucu proteinlerin sentezini artırır. Bu proteinler arasında özellikle Late Embryogenesis Abundant (LEA) proteinleri ve dehidrinler öne çıkar. LEA proteinleri, düşük su potansiyeli altında hücre içi ortamın stabil kalmasını sağlayarak membranların ve proteinlerin yapısını korur; böylece hücrelerin metabolik aktivitelerinin sürdürülmesine olanak tanır. Bu sayede protein denatürasyonunu önler ve hücre içi kristalleşme gibi zararlı süreçlerin gelişmesini engeller (Tunnacliffe & Wise, 2007). Dehidrinler ise LEA protein ailesinin bir alt grubunu oluşturur ve özellikle su eksikliği gibi stres koşullarında yüksek seviyede üretilerek hücre zarlarının ve proteinlerin stabilitesine katkı sağlar. Ayrıca dehidrinlerin, reaktif oksijen türlerinin (ROS) zararlı etkilerini azaltmada önemli rol oynadığı bilinmektedir (Close, 1997).

Meyve ağaçları üzerinde yapılan araştırmalar, zeytin, üzüm ve turunçgiller gibi türlerde kuraklık koşullarında LEA ve dehidrin genlerinin ekspresyonunun anlamlı şekilde arttığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, bu proteinlerin kuraklık toleransında hayati bir savunma mekanizması olduğunu göstermektedir. LEA ve dehidrin proteinlerin moleküler işleyişine yönelik derinlemesine çalışmalar, biyoteknolojik uygulamalarla kuraklığa dayanıklı meyve çeşitlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Fang & Xiong, 2015).

4. KURAKLIK TOLERANSINDA ISLAH STRATEJİLERİ

Kuraklık stresi, meyve ağaçlarının büyüme, gelişme ve verim potansiyelini önemli ölçüde sınırlayan başlıca çevresel stres faktörlerinden biridir. Bu nedenle, kuraklık koşullarına dayanıklı meyve tür ve çeşitlerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği açısından kritik bir öncelik haline gelmiştir. Kuraklık toleransının artırılması için hem genetik altyapının güçlendirilmesi hem de uygun tarımsal uygulamaların optimize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, anaç seçimi, klasik ıslah yöntemleri, moleküler biyoteknoloji ve genetik mühendisliği gibi stratejiler, bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmelidir.

4.1. Anaç Seçiminin Rolü

Anaclar, meyve ağaçlarının çevresel streslere, özellikle kuraklık stresine karşı verdikleri tepkileri şekillendiren en temel unsurlardan biridir. Anacların kök yapısı, su alım kapasitesi, stomatal davranışları ve hormon dengeleri, bitkinin su kullanım etkinliğini doğrudan etkiler. Kuraklık koşullarında, derin ve iyi gelişmiş kök sistemine sahip anaclar, toprakta daha derinlerde bulunan su kaynaklarına ulaşarak bitkinin dayanıklılığını artırır. Ayrıca, su kaybını azaltmak için stomatal kapanmayı düzenleyen anaclar, su kullanım verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir. Anaclar tarafından sentezlenen fitohormonlar, özellikle abscisik asit (ABA), su stresi sinyal iletiminde ve stresle ilişkili genlerin regülasyonunda kritik rol oynar (Lovisolo et al., 2010; Tworowski & Miller, 2007).

Her meyve türü için uygun anaç seçimi, kuraklığa karşı dayanıklılık açısından farklılık göstermektedir. Örneğin, elma yetiştiriciliğinde kuvvetli gelişen anaclar suya erişim avantajı sağlarken, bodur anaclar yüzeysel kök yapısı nedeniyle daha hassas olabilir. Şeftali, zeytin ve üzüm gibi türlerde ise yerel adaptasyona uygun anaclar, bölgesel çevresel koşullara uyum sağlamada ön plana çıkar. Buna ek olarak, anaç ile kalem arasındaki biyokimyasal ve hormonal etkileşimler, bitkinin stres algısı ve adaptasyon mekanizmalarının şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Tworowski & Miller, 2007).

Gelecekte, klasik ıslah tekniklerinin moleküler biyoteknoloji ve genetik mühendislik yaklaşımları ile entegre edilmesi, su kısıtlılığı yaşanan bölgelerde meyveciliğin sürdürülebilirliğini artırmak adına anaç geliştirme çalışmalarında önemli bir potansiyel sunmaktadır (Cattivelli, Rizza & Stanca, 2008).

4.2. Genotipik Farklılıklar ve Adaptasyon

Meyve türleri ve bu türlere ait genotipler arasında kuraklık stresine karşı gösterilen dayanıklılık düzeylerinde önemli genetik farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, bitkilerin su kıtlığı koşullarına karşı geliştirdikleri adaptasyon mekanizmalarının çeşitliliğinden kaynaklanır. Özellikle stomatal hareketlerin düzenlenmesi, fotosentetik kapasite, osmotik dengeleme yeteneği, kök sisteminin yapısı ve antioksidan savunma mekanizmaları gibi fizyolojik ve moleküler özellikler, genotipler arasında belirgin değişkenlik gösterir (Flexas et al., 2006 b).

Örneğin, badem genotipleri üzerinde yapılan çalışmalar, ‘Texas’ ve ‘Tuono’ çeşitlerinin su kısıtlaması altında daha yüksek fotosentetik performans ve büyüme kapasitesi sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu üstün performans, bu genotiplerin derin ve yaygın kök sistemleri ile etkili stomatal kapanma mekanizmaları sayesinde su kullanımını daha verimli hale getirmelerinden kaynaklanır (Shackel et al., 1998).

Benzer şekilde, nar genotipleri ‘Wonderful’ ve ‘Hicaz’, yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem gibi zorlayıcı çevresel koşullarda bile meyve verimliliğini koruyarak sürdürülebilir üretime katkıda bulunmaktadır. Bu genotiplerin stres koşullarına dayanıklılıkları, hücre içi su dengesini koruyan osmotik ayarlamalar ve stresle ilişkili metabolik süreçlerin etkin işleyişi ile desteklenmektedir (Sade et al., 2012).

Elma çeşitlerinden ‘Golden Delicious’ ve ‘Granny Smith’ ise kuraklık koşullarına karşı farklı fizyolojik stratejiler benimsemektedir. ‘Golden Delicious’, yüksek stomatal iletkenlik sayesinde fotosentez kapasitesini korurken, ‘Granny Smith’ daha etkin osmotik düzenleme ve güçlü antioksidan sistemlerle su stresine karşı direnç göstermektedir (Flexas et al., 2006 b).

Zeytin genotipleri arasında ‘Picual’ ve ‘Koroneiki’ çeşitleri, düşük yaprak su potansiyeline rağmen fotosentetik aktivitelerini sürdürebilmekte ve kuraklığa karşı dikkat çekici dayanıklılık sergilemektedir. Bu genotiplerin gelişmiş antioksidan savunma sistemleri, stres kaynaklı oksidatif hasarın önlenmesinde hayati öneme sahiptir (Araújo et al., 2021).

Tüm bu bulgular, farklı meyve türleri ve genotiplerin kuraklık stresine karşı geniş bir adaptasyon yelpazesi sunduğunu ortaya koymakta; bu nedenle, sürdürülebilir meyvecilik için uygun genotip seçimi ve bölgesel iklim

koşullarına göre uyarlanmış adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi kritik bir gerekliliktir.

5. KURAKLIK TOLERANSININ GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ISLAH VE MOLEKÜLER YÖNTEMLER

Kuraklık stresine karşı dayanıklı meyve çeşitlerinin geliştirilmesi, klasik ıslah tekniklerinden moleküler biyoloji ve genom düzenleme teknolojilerine kadar geniş bir yöntem yelpazesinin bütüncül şekilde kullanılmasını gerektirir. Bu bölümde, klasik seleksiyon yöntemlerinden marker destekli seleksiyona, genetik mühendislikten omik temelli analizlere kadar kuraklık toleransını artırmaya yönelik güncel ıslah stratejileri ele alınmaktadır.

5.1. Klasik Islah Yaklaşımları

Kuraklık stresine dayanıklı meyve tür ve çeşitlerinin geliştirilmesinde klasik ıslah yöntemleri, genellikle doğal popülasyonlar içerisinde stres koşullarına tolerans gösteren bireylerin belirlenmesi ve bu bireylerin kontrollü melezleme programlarında kullanılması esasına dayanır (Samarasinghe & Weerakoon, 2023). Ancak, meyve ağaçlarının uzun juvenil dönemleri, yüksek oranda genetik heterozigotluk göstermeleri ve geri melezleme süreçlerinin zorlukları, klasik ıslah çalışmalarının etkinliğini ve süresini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Manchanda et al., 2023).

Buna rağmen, badem, zeytin, nar ve asma gibi türlerde yürütülen seleksiyon temelli çalışmalar, özellikle yerel çeşitler ile yabani akraba türler arasında kuraklığa dayanıklı genotiplerin başarılı şekilde tanımlanabildiğini göstermektedir (Sayyad-Amin, 2022). Örneğin, *Prunus* cinsine ait bazı yabani türlerde yüksek su kullanım verimliliği ve kuraklık toleransı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, kuraklık stresine dayanıklı genotiplerin geliştirilmesinde geleneksel ıslah yöntemlerinin yanında, hızlı döngülü ıslah teknikleri ve erken çiçeklenme indüksiyonu gibi biyoteknolojik yaklaşımlar da kullanılmaktadır. Bu teknikler, uzun juvenil dönemlerin kısaltılmasına ve ıslah süreçlerinin hızlandırılmasına olanak sağlamaktadır (Manchanda et al., 2023).

5.2. Moleküler Islah ve Marker Destekli Seleksiyon (MAS)

Moleküler genetik araçlar, kuraklık toleransını artırmaya yönelik ıslah programlarında kritik bir rol üstlenir. Kuantitatif karakter lokusları (QTL) ve bunlara bağlı moleküler markörlerin tanımlanması, stres yanıtında rol oynayan karmaşık genetik mekanizmaların anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle

kök gelişimi, stomatal hareketler ve osmotik denge gibi adaptif özelliklerle ilişkili QTL'ler, çeşitli meyve türlerinde başarıyla haritalanmıştır.

Marker Destekli Seleksiyon (MAS), klasik seleksiyona kıyasla genetik varyasyonu daha erken dönemde ve yüksek hassasiyetle belirleyebilme avantajı sağlar. Böylece ıslah programları hızlanmakta ve kaynak kullanımı etkinleşmektedir (Collard & Mackill, 2008).

Kuraklık toleransına yönelik genetik belirteçler arasında bademde DREB ve LEA gen aileleri, asmada su kanallarını kodlayan genlerin ekspresyon değişimleri ve zeytinde stresle ilişkili genlerin farklı ifade düzeyleri öne çıkmaktadır. Ancak, bu genetik işaretleyicilerin etkinliği türler ve çeşitler arasında farklılık gösterebildiğinden, bölgesel adaptasyon ve genetik çeşitlilik dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, moleküler ıslah çalışmalarında popülasyon yapısı ve çevresel etkileşimlerin titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir.

5.3. Genetik Mühendislik ve Genom Düzenleme Yaklaşımları

Genetik mühendislik teknikleri, kuraklık toleransının artırılmasında doğrudan hedef genlerin bitki genomlarına aktarılması yoluyla güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle stresle ilişkili transkripsiyon faktörleri (örneğin DREB ailesi), koruyucu proteinler (LEA) ve abscisik asit (ABA) biosentezinde rol oynayan genler (örneğin NCED) çeşitli bitki türlerinde başarıyla kullanılmıştır. Ancak meyve ağaçlarının uzun yaşam döngüsü ve karmaşık genom yapıları, bu teknolojilerin meyve ağaçlarında yaygın uygulamasını sınırlamaktadır (Hu & Xiong, 2014).

Son yıllarda, CRISPR-Cas9 gibi genom düzenleme teknolojileri, hedefe yönelik ve hassas modifikasyon imkânı sunarak bu zorlukların üstesinden gelme potansiyeline sahiptir. Özellikle stomatal kapanma, oksidatif stres yanıtı ve su kullanım verimliliği gibi kritik fonksiyonları düzenleyen genler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar umut vericidir. Ancak, meyve ağaçlarındaki uygulamalar hâlâ erken aşamada olup, uzun vadede verimlilik ve stres toleransındaki artışların dikkatle izlenmesi gerekmektedir (Zhang et al., 2014).

5.4. Omik Teknolojilerle Kuraklık Tolerans Genlerinin Tanımlanması

Omik teknolojiler, kuraklık stresine verilen moleküler tepkilerin sistematik analizini mümkün kılarak, meyve ağaçlarında dayanıklı genotiplerin belirlenmesinde önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Genomik ve transkriptomik

yaklaşımlar, su taşınımı, stres sinyal yolları ve adaptif mekanizmalarda görev alan genlerin kapsamlı tespiti için kritik bilgiler sunar (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007). Metabolomik ve proteomik analizler ise gen ekspresyonunun biyokimyasal ve fizyolojik etkilerini açığa çıkararak, stres yanıtında rol oynayan metabolit ve proteinlerin tanımlanmasına katkı sağlamaktadır (Urano et al., 2009).

Bu katmanlı omik verilerin biyoinformatik yöntemlerle entegrasyonu, karmaşık genetik ve metabolik ağların çözümlemesini kolaylaştırır; böylece hedefe yönelik, hassas ıslah stratejilerinin geliştirilmesine olanak verir. Ancak omik verilerin etkin kullanımı için fenotipik veri kalitesi ve çevresel faktörlerin kapsamlı değerlendirilmesi esastır. Uzun dönemli saha denemeleri ve disiplinler arası yaklaşımlar, moleküler bulguların pratik ıslah uygulamalarına dönüştürülmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Foolad, 2007).

6.KURAKLIK YÖNETİMİNDE TARIMSAL UYGULAMALAR VE KÜLTÜREL ÖNLEMLER

Meyve ağaçlarının kuraklık stresine karşı dayanıklılığı, yalnızca genetik ve fizyolojik adaptasyonlarla sınırlı olmayıp, etkin bir kuraklık yönetimi için tarımsal üretim sistemlerinde kültürel uygulamalar ve arazi yönetim stratejilerinin entegre edilmesini gerektirir. Bu stratejilerin temel amacı, toprak neminin korunması, su kullanım verimliliğinin artırılması ve bitkinin maruz kaldığı çevresel stresin azaltılmasıdır (Hatfield & Dold, 2019).

6.1. Toprak İşleme ve Malçlama Uygulamaları

Toprak işleme yöntemleri, toprak yapısını iyileştirerek suyun toprakta tutulmasına önemli katkı sağlar. Özellikle minimal toprak işleme veya işlemez tarım (no-till) teknikleri, topraktaki organik madde seviyesini koruyarak buharlaşmayı azaltır ve suyun daha uzun süre toprakta kalmasını sağlar. Bu sayede, meyve ağaçları kuraklık dönemlerinde su stresine karşı daha dayanıklı hale gelir (Blanco-Canqui & Lal, 2009).

Malçlama uygulamaları ise, toprağın yüzeyini organik veya sentetik materyallerle kaplayarak buharlaşma yoluyla oluşan su kaybını önemli ölçüde engeller. Organik malçlar (saman, yaprak, kompost vb.) toprağın nemini korurken, mikrobiyal aktivite ve biyolojik çeşitliliği destekler. Siyah plastik ve biyolojik olarak parçalanabilen malç materyalleri ise toprak yüzey sıcaklıklarını

düzenleyerek kök bölgesinde stabil bir mikroklima oluşturur ve bitki gelişimini olumlu etkiler (Hatfield & Dold, 2019).

6.2. Verimli ve Hassas Sulama Stratejileri

Kuraklık koşullarında en kritik müdahalelerden biri sulama yönetimidir. Geleneksel sulama yöntemlerinin yerine suyun etkin kullanıldığı modern tekniklerin tercih edilmesi, hem su kaynaklarının sürdürülebilirliği hem de meyve verimi ve kalitesinin korunması açısından önem taşır.

Damla sulama sistemi, suyu doğrudan kök bölgesine kontrollü ve düşük debiyle vererek buharlaşma kayıplarını minimize eder ve su tasarrufu sağlar. Bu yöntem, su kullanım verimliliğini artırarak bitkilerin kuraklık dönemlerinde sağlıklı gelişmesini destekler (Hatfield & Dold, 2019).

Defisit sulama (Regulated Deficit Irrigation - RDI) ise, bitkinin gelişim evrelerine göre kontrollü sulama kısıtlaması uygulayarak su tüketimini azaltırken meyve kalitesinin korunmasını sağlar. Özellikle meyve tutumu ve olgunlaşma dönemlerinde uygulandığında, hem su tasarrufu sağlanmakta hem de ürün kalitesinde olumlu değişiklikler gözlemlenmektedir (Feres & Soriano, 2007).

Ayrıca sensör tabanlı sulama yönetimi, toprak nemi, yaprak su potansiyeli ve çevresel koşulları gerçek zamanlı izleyerek sulama kararlarının bilimsel temellere dayanmasını sağlar. Bu teknoloji, suyun rasyonel kullanımını teşvik ederek kuraklık stresine karşı bitkilerin daha etkili adapte olmasına imkân tanır (Jones, 2004).

6.3. Organik Madde Uygulamaları ve Toprak Verimliliğinin Artırılması

Kuraklık koşullarında toprak sağlığının korunması ve su tutma kapasitesinin artırılması, sürdürülebilir meyvecilik açısından büyük önem taşır. Organik madde uygulamaları, toprak yapısını iyileştirerek suyun toprakta daha uzun süre kalmasını sağlarken, bitki besin maddelerinin daha etkin şekilde alınmasına olanak tanır. Kompost, yeşil gübre, hayvan gübresi ve organik atıkların toprağa kazandırılması, toprakta agregat oluşumunu destekleyerek infiltrasyon oranlarını artırmakta ve böylece su tutma kapasitesini yükseltmektedir.

Bunun yanı sıra, organik maddelerle zenginleştirilen topraklarda mikrobiyal aktivitenin artması, kök bölgesinde faydalı mikroorganizmaların

çoğalmasını sağlar. Bu mikroorganizmalar, bitkilerin kök sistemleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak su ve mineral alımını optimize ederken, bazıları bitki hormonlarını düzenleyerek stres toleransını artırır. Böylece bu uygulamalar, kuraklıkla mücadelede toprak fiziksel özelliklerinin yanı sıra biyolojik verimliliğin de güçlendirilmesini sağlar (Blanco-Canqui & Lal, 2009).

6.4. Budama Teknikleri ve Yaprak Alanı Yönetimi

Kuraklık stresinin etkilerini azaltmak amacıyla, meyve ağaçlarında uygulanacak uygun budama teknikleri ve yaprak alanı yönetimi büyük önem taşır. Transpirasyon yoluyla gerçekleşen su kaybı, geniş yaprak yüzeyine sahip bitkilerde daha yüksek olduğundan, yaprak alan indeksinin kontrol altında tutulması gerekir. Bu doğrultuda yapılan selektif budamalar, yaprak-yük dengesini düzenleyerek bitkinin su ihtiyacını minimize edebilir.

Ayrıca aşırı yoğun yapraklanma, sadece su kaybını artırmakla kalmaz, aynı zamanda fotosentetik verimliliği de düşürebilir. Yaprak alanının azaltılmasıyla, bitki su kaybını sınırlandırırken fotosentez ve büyüme süreçlerini dengeli biçimde sürdürebilir. Dolayısıyla kuraklık dönemlerinde uygulanan dengeli budama stratejileri, su tasarrufuna katkı sağlayan ekolojik bir adaptasyon olarak değerlendirilebilir.

6.5. Bitki Yoğunluğu ve Dikim Aralıklarının Optimizasyonu

Tarımsal sistemlerde bitki yoğunluğu, kaynak kullanım etkinliği ve bitkiler arası rekabet açısından kritik bir faktördür. Özellikle kuraklık koşullarında, yoğun dikim sistemleri bireysel bitkilerin su ve besin maddelerine erişimini kısıtlayarak stres seviyesini artırabilir. Bu durum, özellikle sınırlı yağış alan bölgelerde verim kayıplarına yol açabilmektedir.

Bu nedenle, dikim sıklığının bölgesel çevresel koşullara uygun şekilde optimize edilmesi gereklidir. Daha seyrek dikim yapılan alanlarda, her bitki daha geniş kök hacmine sahip olup su ve besin kaynaklarına daha rahat ulaşabilir. Ayrıca, artan hava sirkülasyonu ve güneş ışığı penetrasyonu sayesinde hastalık riski azalır. Böylece, uygun bitki yoğunluğu ve dikim aralıkları, bitkilerin su ve besin kaynaklarını daha verimli kullanmasını sağlayarak kuraklık stresini azaltabilir.

6.6. Toprak Altı Sulama Sistemleri ve Su Hasadı Teknikleri

Kuraklıkla mücadelede yenilikçi ve etkili yaklaşımlardan biri, suyun verimli kullanılmasını sağlayan ileri sulama sistemlerinin entegrasyonudur. Toprak altı damla sulama (Subsurface Drip Irrigation - SDI) sistemleri, suyu doğrudan bitki kök bölgesine ulaştırarak yüzey buharlaşmasını önemli ölçüde azaltır. Bu yöntem, özellikle sıcak ve kurak iklimlerde su kullanım verimliliğini önemli oranda artırmaktadır (Hatfield & Dold, 2019).

Buna ek olarak, su hasadı teknikleri, kurak alanlarda mevcut su kaynaklarının artırılmasında stratejik bir öneme sahiptir. Yağmur suyu biriktirme, mikrohavza oluşturma ve yüzey akışlarının kontrollü yönlendirilmesi gibi uygulamalar, yağıştan maksimum fayda sağlanmasını mümkün kılar. Bu yöntemler, sadece mevcut suyun korunmasını değil, aynı zamanda tarım dışı dönemlerde dahi suyun kontrollü ve etkin kullanımını desteklemektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel iklim değişikliğinin yol açtığı kuraklık olaylarının sıklığı ve şiddetindeki artış, özellikle uzun ömürlü ve ekonomik değeri yüksek meyve ağaçları için ciddi çevresel tehditler oluşturmuştur. Kuraklık stresi, bu bitkilerde fotosentetik aktivitenin azalması, yaprak ve meyve dökümü, büyüme süreçlerinde yavaşlama ve su ile iyon dengesinin bozulması gibi geniş kapsamlı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler reaksiyonları tetiklemektedir. Bu tepkilerin yoğunluğu, türler, çeşitler ve genotipler arasında genetik yapıya bağlı olarak farklılık göstermekte olup, kuraklığa karşı dayanıklılığı yüksek genotiplerin belirlenmesi ve kullanımı sürdürülebilir meyvecilik açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Meyve ağaçlarının kuraklık stresine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları son derece karmaşık ve çok katmanlıdır. Stomatal hareketlerin hassas düzenlenmesi, antioksidan sistemlerin aktif hale getirilmesi, osmolitlerin birikimi ve stresle ilişkili proteinlerin sentezi gibi biyokimyasal savunma mekanizmaları, bitkilerin su dengesini koruma ve oksidatif hasarı önleme kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca, stres regülasyonunda rol oynayan transkripsiyon faktörlerinin ekspresyon profillerindeki değişiklikler, bu adaptasyonların moleküler temelini oluşturmaktadır. Modern moleküler biyoloji teknikleri ve omik analizler sayesinde, bu kompleks yanıtların

moleküler düzeyde daha ayrıntılı anlaşılması mümkün olmuş ve bu da ıslah programlarının etkinliğini artıran önemli bir araç haline gelmiştir.

Ancak, genetik ve moleküler yaklaşımların tek başına yeterli olmadığı, kuraklıkla mücadelede entegre bir tarımsal yönetim stratejisinin benimsenmesinin gerekliliği açıktır. Toprak işleme yöntemleri, organik madde uygulamaları ve malçlama gibi kültürel uygulamalar, toprak neminin korunması ve su kayıplarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, su kullanım verimliliğini artıran modern sulama teknikleri ile uygun budama ve dikim düzenlemeleri, bitkilerin su stresine karşı direncini artırmakta ve verim ile kalite kayıplarının önüne geçmektedir.

Bu bağlamda, kuraklığa dayanıklı yerel gen kaynaklarının ve adaptasyon kapasitesi yüksek ıslah materyallerinin seçilmesi, bölgesel koşullara uygun genotiplerin geliştirilmesi için öncelikli bir strateji olmalıdır. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için entegre sulama yönetim sistemlerinin uygulanması; toprak nemi, bitki fizyolojisi ve çevresel parametrelerin bilimsel temelde izlenmesi, sulama kararlarının optimize edilmesini sağlamalıdır. Genomik araçlar ve moleküler ıslah tekniklerinin yaygınlaştırılması, kuraklık toleransının geliştirilmesinde hız ve doğruluk kazandıran kritik yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır.

Bununla birlikte, ekosistem tabanlı yaklaşımlar kapsamında biyoçeşitliliğin korunması, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve organik tarım uygulamalarının desteklenmesi, kuraklıkla mücadelede ekolojik dayanıklılığın artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Son olarak, üreticilerin kuraklık yönetimi ve modern tarımsal teknikler konusunda bilinçlendirilmesi ve kapasite geliştirilmesi, yeni bilgi ve teknolojilerin saha uygulamalarına etkin şekilde aktarılmasını sağlayarak uzun vadeli başarıyı mümkün kılacaktır.

Özetle, meyve ağaçlarının kuraklık stresıyla başa çıkabilmesi, genetik, moleküler, fizyolojik ve kültürel yöntemlerin disiplinlerarası ve bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesini gerektiren çok boyutlu bir mücadeledir. Bu kapsamlı strateji, hem bitkisel üretimin sürdürülebilirliğinin teminat altına alınmasına hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesine yönelik stratejik bir öncelik taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, I. M., Cao, F., Zhang, M., Chen, X., Zhang, G., & Wu, F. (2013). Difference in yield and physiological features in response to drought and salinity combined stress during anthesis in Tibetan wild and cultivated barleys. *PLOS ONE*, 8(10), e77869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077869>
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373–399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Araújo, M., Prada, J., Mariz-Ponte, N., Santos, C., Pereira, J. A., Pinto, D. C. G. A., Silva, A. M. S., & Dias, M. C. (2021). Antioxidant adjustments of olive trees (*Olea europaea*) under field stress conditions. *Plants*, 10(4), 684. <https://doi.org/10.3390/plants10040684>
- Arbona, V., Hossain, Z., López-Climent, M. F., Pérez-Clemente, R. M., & Gómez-Cadenas, A. (2008). Antioxidant enzymatic activity is linked to waterlogging stress tolerance in citrus. *Physiologia Plantarum*, 132(4), 452–466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01029.x>
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Bandurska, H., Niedziela, J., & Chadzinikolau, T. (2013). Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation. *Plant Science*, 213, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.09.003>
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1), 23–58. <https://doi.org/10.1080/07352680590910410>
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3), 139–163. <https://doi.org/10.1080/07352680902776507>
- Cattivelli, L., Rizza, F., & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105(1-2), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>

- Chaves, M. M., Santos, T. P., Souza, C., Ortuño, M. F., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Maroco, J., & Pereira, J. S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*, 150(2), 237–252. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239–264.
- Choat, B., et al. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491, 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature11688>
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557–572. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2170>
- Close, T. J. (1997). Dehydrins: A commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiologia Plantarum*, 100(2), 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04785.x>
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., & Abrams, S. R. (2010). Absciscic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 651–679. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112122>
- Dubos, C., Stracke, R., Grotewold, E., Weisshaar, B., Martin, C., & Lepiniec, L. (2010). MYB transcription factors in Arabidopsis. *Trends in Plant Science*, 15(10), 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.06.005>
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(4), 673–689. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147–159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: Stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183–189. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>
- Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H., & Ribas-Carbó, M. (2006 a). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: Responses

- of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 127(3), 343–352. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00621.x>
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2006 b). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6(3), 269–279. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007, 64358. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368(6488), 266–269. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling & Behavior*, 7(11), 1456–1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10, 103. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- Hsiao, T. C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24, 519–570. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>
- IPCC. (2021). Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jakoby, M., Weisshaar, B., Dröge-Laser, W., Vicente-Carbajosa, J., Tiedemann, J., Kroj, T., & Parcy, F. (2002). bZIP transcription factors in Arabidopsis. *Trends in Plant Science*, 7(3), 106–111. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02223-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02223-3)
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>

- Kishor, P. B. K., & Sreenivasulu, N. (2014). Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? *Plant, Cell & Environment*, 37(2), 300–311. <https://doi.org/10.1111/pce.12157>
- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 275–294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Lin, Y., Liu, S., Fang, X., Ren, Y., You, Z., Xia, J., Hakeem, A., Yang, Y., Wang, L., & Shangguan, L. (2023). The physiology of drought stress in two grapevine cultivars: Photosynthesis, antioxidant system, and osmotic regulation responses. *Physiologia Plantarum*, 175(4), e14005. <https://doi.org/10.1111/ppl.14005>
- Lovisolo, C., Perrone, I., Carra, A., Schubert, A., & di Matteo, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: A physiological and molecular update. *Functional Plant Biology*, 37(2), 98–116. <https://doi.org/10.1071/FP09191>
- Manchanda, P., Kaur, M., Sharma, S., & Sidhu, G. S. (2023). Biotechnological interventions for reducing the juvenility in perennials. *Horticulturae*, 9(1), 33. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010033>
- Markestijn, L., Poorter, L., Paz, H., Sack, L., & Bongers, F. (2011). Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. *Plant, Cell & Environment*, 34(1), 137–148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02231.x>
- Martínez-Vilalta, J., & García-Forner, N. (2017). Water potential regulation, stomatal behaviour and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. *Plant, Cell & Environment*, 40(6), 962–976. <https://doi.org/10.1111/pce.12846>
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405–410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
- Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2014). The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat.

- Frontiers in Plant Science, 5, 170. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00170>
- Nakashima, K., Ito, Y., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2009). Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in *Arabidopsis* and grasses. *Plant Physiology*, 149(1), 88–95. <https://doi.org/10.1104/pp.108.129791>
- Noctor, G., & Foyer, C. H. (1998). Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Biology*, 49, 249–279. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.249>
- Phukan, U. J., Jeena, G. S., & Shukla, R. K. (2016). WRKY transcription factors: Molecular regulation and stress responses in plants. *Frontiers in Plant Science*, 7, 760. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00760>
- Puranik, S., Sahu, P. P., Srivastava, P. S., & Prasad, M. (2012). NAC proteins: Regulation and role in stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 17(6), 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.02.004>
- Sade, N., Gebremedhin, A., & Moshelion, M. (2012). Risk-taking plants: Anisohydric behavior as a stress-resistance trait. *Plant Signaling & Behavior*, 7(7), 767–770. <https://doi.org/10.4161/psb.20505>
- Samarasinghe, R. K., Kumarathunge, D., & Meegahakumbura, M. K. (2023). A novel genotypic selection methodology to create a breeding population for developing drought-tolerant cultivars in tree crops. *MethodsX*, 10(2), 102217. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102217>
- Sayyad-Amin, P. (2022). A review on breeding fruit trees against climate changes. *Erwerbs-Obstbau*, 64(4), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00737-z>
- Shackel, K., Gurusinge, S., Kester, D., & Micke, W. (1998). Water stress responses of almond [*Prunus dulcis* (Mill.) Webb.] trees under field conditions. *Acta Horticulturae*, 470, 309–316. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.470.43>
- Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 221–227. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl164>
- Scholz, A., Rabaey, D., Stein, A., Cochard, H., Smets, E., & Jansen, S. (2013). The evolution and function of vessel and pit characters with respect to cavitation resistance across 10 *Prunus* species. *Tree Physiology*, 33(7), 684–694. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt050>

- Szabados, L., & Savouré, A. (2010). Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Tunnacliffe, A., & Wise, M. J. (2007). The continuing conundrum of the LEA proteins. *Naturwissenschaften*, 94(10), 791–812. <https://doi.org/10.1007/s00114-007-0254-y>
- Tworkoski T, Miller S. 2007. Rootstock effect on growth of apple scions with different growth habits. *Scientia Horticulturae* 111:335–343.
- Tyree, M. T., & Sperry, J. S. (1989). Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 19–36. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.40.060189.000315>
- Urano, K., Maruyama, K., Ogata, Y., Morishita, Y., Takeda, M., Sakurai, N., Suzuki, H., Saito, K., Shibata, D., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2009). Characterization of the ABA-regulated global responses to dehydration in *Arabidopsis* by metabolomics. *The Plant Journal*, 57(6), 1065–1078. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03748.x>
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, 35(4), 753–759. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6>
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J.-K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523–539. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x>
- Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 781–803. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105444>
- Zhang, H., Zhang, J., Wei, P., Zhang, B., Gou, F., Feng, Z., Mao, Y., Yang, L., Zhang, H., Xu, N., & Zhu, J.-K. (2014). The CRISPR/Cas9 system produces specific and homozygous targeted gene editing in rice in one generation. *Plant Biotechnology Journal*, 12(6), 797–807. <https://doi.org/10.1111/pbi.12200>
- Zhu, J. K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.cell.201>

BÖLÜM 23
TÜRKİYE KARPUZ SEKTÖRÜNDE DÖNÜŞÜM VE
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARAYIŞI

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780130>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-2814-2110, ranabaytin@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Karpuz (*Citrullus lanatus*), Türkiye'nin tarımsal üretim deseninde hem ekonomik hem de sosyo-kültürel açıdan stratejik bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Yüksek miktarda yazlık tüketimi, geniş ekim alanı ve üretici tecrübesi sayesinde iç pazarda güçlü bir konumda olan karpuz, aynı zamanda potansiyel dış pazarlar açısından da dikkate değerdir (FAO, 2023). FAO'nun en güncel verilerine göre Türkiye, 2023 yılı itibarıyla yaklaşık 3,2 milyon tonluk üretimle dünyada Çin'in ardından ikinci sırada yer almakta; ancak bu üretim miktarı, 2018'deki 4,03 milyon tonluk zirveye göre %20'lik bir düşüş eğilimini işaret etmektedir (TÜİK, 2024a).

Bu gerileme; iklim değişikliği, su kaynaklarındaki azalma, artan tarımsal girdi maliyetleri ve iş gücü teminindeki zorluklar gibi birçok sorunun sonucudur (Kaplukan, 2013; Hamurcu vd., 2020). Özellikle abiyotik stres faktörleri -başta kuraklık, tuzluluk ve ısı stresi - dünya genelinde tarımsal üretimi sınırlayan temel tehditler arasında yer almakta olup, bu stresler ürün kayıplarının %50'ye varan kısmına neden olabilmektedir (Boyer, 1982; Wang vd., 2004). Türkiye özelinde ise Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu gibi sıcak yarı kurak bölgeler, su kıtlığı ve düzensiz yağış rejimlerinden dolayı daha yüksek kuraklık riski altındadır (MGM, 2024).

Bu tablo karşısında modern üretim teknikleri kaçınılmaz hâle gelmiştir. Damla sulama sistemlerinin devreye girmesi, su tasarrufu ve ürün kalitesinde artış sağlamaktadır. Çin'de yapılan kapsamlı bir meta-analiz, damla sulamanın verimi %28'e kadar artırabildiğini ve su kullanım verimliliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir (Yang vd., 2023). Mersin-Alata koşullarında yapılan bir başka denemede ise tam sulama uygulamaları en yüksek verimi sağlarken, kısıntılı sulamalar su kullanım randımanını iyileştirmiştir (Duraktekin ve Bozkurt Çolak, 2018).

Öte yandan, genetik çeşitliliğin korunması, iklimsel adaptasyonun sürdürülebilirliği açısından kilit önemdedir. Son yıllarda yapılan karşılaştırmalı stres deneyleri, yabancı tipler (M20) ile yerli genotiplerin (örneğin Diyarbakır) daha yüksek antioksidatif savunma ve biyokimyasal adaptasyon geliştirdiğini ortaya koymuştur (Mo vd., 2016; Yaşar vd., 2008). Bu da karpuzun yerel

genetik kaynaklarının hem kuraklığa hem de tuzluluğa karşı potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Ayrıca üretici eğilimleri açısından değerlendirildiğinde, hibrit çeşitlerin yaygın olarak kullanılması, raf ömrü, erkencilik ve pazar taleplerine uyum gibi nedenlerle öne çıkmaktadır. Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilen hibrit çeşitler arasında Zeugma F1, Panja F1, Goodlow F1 ve Fenway F1 gibi çeşitler yer almakta ve bu çeşitler erkencilik, verimlilik, tat kalitesi ve taşıma dayanıklılığı gibi özellikleriyle üretici tercihlerini şekillendirmektedir (Adana Tarım İl Müdürlüğü, 2023; Torunoğlu Tohum, 2024). Bu çeşitlerin özellikleri ve karşılaştırmaları Tablo 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1: Türkiye’de yetiştirilen seçilmiş hibrit karpuz çeşitleri

Çeşit Adı	Tipi	Kabuk / İç Renk	Ortalama Ağırlık	Erkencilik	Öne Çıkan Özellikler
Zeugma F1	Ala, çekirdekli	Açık yeşil zemin, koyu çizgili / kırmızı	13-16 kg	Erkenci	Yüksek Brix, güçlü yaprak örtüsü, ihracata uygun
Elesa F1	Crimson Sweet tipi	Koyu yeşil zemin, açık çizgili / kırmızı	10-12 kg	Orta	Yüksek verim, raf ömrü uzun, adaptasyon kabiliyeti yüksek
Goodlow F1	Crimson Sweet tipi	Koyu yeşil zemin, açık çizgili / kırmızı	12-14 kg	Orta	Nakliyyeye dayanıklı, yüksek adaptasyon, homojen meyve yapısı
Panja F1	Siyah kabuklu	Düz koyu yeşil / kırmızı	10-12 kg	Erkenci	Tatlılık yüksek, kumlu topraklara uygun, erkenci turfanda üretim
Fenway F1	Çekirdeksiz	Koyu yeşil zemin, açık çizgili / kırmızı	6-8 kg	Orta	Tohumsuz, ihracata uygun, yüksek raf ömrü
Rimbey F1	Siyah kabuklu	Düz koyu yeşil / kırmızı	8-10 kg	Orta	Kumlu topraklara uygun, yüksek adaptasyon, güçlü kabuk yapısı
Berat F1	Yerli hibrit	Açık yeşil zemin, koyu çizgili / kırmızı	10-12 kg	Orta	Yerli üretim, yüksek verim, bölgesel adaptasyon
Tuna F1	Yerli hibrit	Koyu yeşil zemin, açık çizgili / kırmızı	12-14 kg	Orta	Dayanıklı, yüksek verim, iç pazara uygun

“Gelişen iklim riskleri ve tüketici tercihlerindeki değişimle birlikte, karpuz gibi kısa dönemli ve suya duyarlı ürünlerin üretimi, gıda güvenliği ve kırsal gelir sürdürülebilirliği açısından daha da kritik hâle gelmiştir” (Fahad vd., 2017; Iqbal vd., 2022).

Bu derleme çalışması, Türkiye’de karpuz üretiminin son on yıllık gelişimini; genetik, ekolojik, teknolojik ve ticari bağlamda analiz ederek, üretim sisteminin zayıf ve güçlü yönlerini belirlemeyi ve geleceğe dönük sürdürülebilir projeksiyonlara temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

2. Türkiye’de Karpuz Yetiştiriciliği: Tarihsel Gelişim, Genetik Varlık ve Bölgesel Dinamikler

Karpuz (*Citrullus lanatus*), Türkiye’de uzun yıllardır yetiştirilen ve halk kültüründe önemli bir yere sahip olan bir türdür. Anadolu’da karpuz üretiminin geçmişi Osmanlı dönemine kadar uzanmakta olup, özellikle sıcak iklim kuşağında yer alan Adana, Antalya, Diyarbakır ve Şanlıurfa gibi illerde geleneksel olarak yaygın şekilde üretilmiştir (Subaşı vd., 2011). 1980’li yıllarda üretim miktarı 3 milyon ton civarındayken, 2002 yılında 4.57 milyon ton ile zirveye ulaşmış, 2018’de 4.03 milyon ton olarak kaydedilmiş, 2023 itibarıyla ise yaklaşık 3.2 milyon tona gerilemiştir (FAO, 2023; TÜİK, 2024b).

Türkiye’de karpuz üretimi, 1990’lı yıllardan itibaren hibrit tohum teknolojisinin yaygınlaşması, sulama altyapısının gelişmesi ve örtü altı üretim tekniklerinin benimsenmesiyle birlikte önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Bu süreçte, yerel çeşitlerin yanı sıra yüksek verimli ve erkenci hibrit çeşitlerin kullanımı artmış; bu da hem verim hem de pazar kalitesi açısından önemli kazanımlar sağlamıştır (Adana Tarım İl Müdürlüğü, 2023).

Ancak bu dönüşüm, yerel genetik kaynakların korunması açısından bazı riskleri de beraberinde getirmiştir. Türkiye, karpuzun genetik çeşitliliği açısından oldukça zengin bir ülkedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde yetiştirilen yerel çeşitler, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı yüksek tolerans göstermeleriyle dikkat çekmektedir (Süyüm, 2011). Çukurova Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada, 65 farklı karpuz genotipi üzerinde yapılan morfolojik ve fizyolojik analizler sonucunda, bu genotipler arasında kuraklık ve tuzluluğa karşı önemli varyasyonlar olduğu belirlenmiştir. Bu çeşitler arasında Diyarbakır yerli tipi gibi genotipler, yüksek

antioksidan enzim aktivitesi ve düşük membran zararlanma indeksi ile öne çıkmıştır (Yaşar vd., 2008; Mo vd., 2016).

Ayrıca, yabani karpuz türleri (örneğin M20 genotipi), kuraklık stresine karşı geliştirdikleri sitrülün birikimi, kök uzaması ve antioksidatif savunma sistemleri sayesinde ıslah programları açısından önemli bir genetik kaynak olarak değerlendirilmektedir (Yoshimura vd., 2008). Genetik kaynakların korunması ve ıslah programlarına entegre edilmesi, Türkiye'nin iklim değişikliğine karşı dirençli karpuz çeşitleri geliştirme kapasitesini artıracaktır.

“Tarım ve Orman Bakanlığı'nın yayımladığı Biyolojik Çeşitlilik ve Genetik Kaynaklar Politika Belgesi 2021-2025'te, yerel çeşitlerin kayıt altına alınması, gen bankalarında muhafaza edilmesi ve çiftçi elinde yaşatılması, ulusal tarım stratejisinin temel bileşenlerinden biri olarak tanımlanmıştır” (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021)

2. Türkiye’de Karpuz Yetiştiriciliği: Tarihsel Gelişim, Genetik Varlık ve Bölgesel Dinamikler

Karpuz (*Citrullus lanatus*), Türkiye'nin tarımsal üretim tarihinde uzun süredir yer alan, geleneksel tarım sistemlerinde ve modern üretim yapılarında kendine sağlam yer edinmiş bir türdür. Anadolu’da Osmanlı döneminden bu yana karpuz üretimi yapılmakta olup özellikle Adana, Antalya, Diyarbakır gibi sıcak iklim kuşağında yer alan bölgelerde kültürel anlamda da önem taşımaktadır (Subaşı vd., 2011). 1980’li yıllarda yaklaşık 3 milyon ton olan üretim miktarı, 2002’de 4.57 milyon ton ile zirveye çıkmış, 2018’de 4.03 milyon ton’a ulaştıktan sonra, 2023 yılında 3,2 milyon ton’a gerileyerek dikkat çekici bir dalgalanma göstermiştir (FAO, 2023; TÜİK, 2024).

Bu tarihsel eğilimler, üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve üretici davranışlarındaki dönüşümle yakından ilişkilidir. 1990’lı yıllardan itibaren hibrit tohumların yaygınlaşması, damla sulama gibi modern sulama tekniklerinin benimsenmesi ve örtü altı tarım sistemlerinin gelişmesi, karpuz üretimini hem verim hem de kalite açısından dönüştürmüştür (Adana Tarım İl Müdürlüğü, 2023).

Türkiye, karpuzun genetik çeşitliliği açısından önemli bir merkez konumundadır. Diyarbakır yerli tipi, Çekirdeksiz Karpuz, Ala karpuzlar ve M20 gibi genotipler, bu zenginliğin çarpıcı örnekleridir. Kuraklık stresine karşı

dayanıklılık, yüksek Brix değeri ve antioksidatif savunma mekanizmaları bakımından öne çıkan bu çeşitler hem yerli ıslah programlarının hem de iklim adaptasyonuna yönelik tarım politikalarının temel yapı taşı oluşturmaktadır (Yaşar vd., 2008; Mo vd., 2016; Yoshimura vd., 2008). Tarım ve Orman Bakanlığı'nın yayımladığı Biyolojik Çeşitlilik ve Genetik Kaynaklar Politika Belgesi 2021-2025'te de bu çeşitlerin gen bankalarında korunması ve çiftçi elinde yaşatılması, ulusal strateji kapsamında önceliklendirilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Bu çeşitlilik, Türkiye'deki bölgesel üretim dağılımı ve verimlilik farklarıyla da yakından ilişkilidir. Akdeniz Bölgesi (özellikle Adana ve Antalya), iklim avantajı ve teknik altyapısı sayesinde hem üretimde hem de verimde ön plandadır. 2023 yılı itibarıyla Adana'da dekar başına ortalama verim 6.082 kg, Sakarya'da ise 6.225 kg olarak ölçülerek Türkiye rekoru kırılmıştır (TZOB, 2023; Toros Tarım, 2024). Buna karşın Güneydoğu illerinde (özellikle Diyarbakır'da) üretim potansiyeli yüksek olmakla birlikte, kuraklık riski ve altyapı eksiklikleri nedeniyle verim 3.650 kg/da düzeyinde kalmıştır (Kaya ve Tarakçı, 2023). Bu yapısal farklar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 2: Türkiye'de seçilmiş illere göre karpuz üretimi ve verimlilik (2023)

İl	Üretim (ton)	Ekim Alanı (da)	Verim (kg/da)	Açıklama
Adana	811,887	133,480	6,082	Türkiye birincisi; erkenci üretim
Antalya	485,686	80,322	6,047	Örtü altı üretim yoğun
İzmir	224,326	57,413	3,907	Organik üretim potansiyeli
Diyarbakır	191,098	52,349	3,650	Yerel çeşit zenginliği, kuraklık riski
Manisa	112,196	30,500 (tahmini)	3,678	Ala karpuz, iç pazara yönelik üretim
Bursa	~98,000	25,000 (tahmini)	~3,920	Kısa sezon, iç pazar yakınlığı
Sakarya	85,000	13,650	6,225	Verim lideri, güçlü toprak profili

Kaynaklar: FAO (2023), TÜİK (2024), Toros Tarım (2024), TZOB (2023), Kaya ve Tarakçı (2023) **Not:** Manisa ve Bursa illerine ait ekim alanı ve verim verileri, TÜİK 2023 yılı il bazlı üretim istatistiklerinin sınırlı yayımlanması nedeniyle son 5 yılın ortalamaları ve sektör raporları temel alınarak tahmini olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2 doğrultusunda, bölgesel üretim stratejilerinin yalnızca miktara değil, aynı zamanda verimlilik potansiyelinin geliştirilmesine de odaklanması

gerektiği açıktır. Özellikle düşük verimli bölgelerde modern sulama sistemlerinin teşviki, dengeli gübreleme stratejileri ve yerel genotiplerin yüksek adaptasyonlu çeşitlerle desteklenmesi önemli katkılar sağlayacaktır.

4. Türkiye’de Karpuz Üretiminde Bölgesel SWOT Analizi

Türkiye’de karpuz üretiminin coğrafi dağılımı, yalnızca üretim miktarlarıyla değil, aynı zamanda verimlilik, adaptasyon kapasitesi ve pazar yapısı bakımından da belirgin bölgesel farklılıklar sergilemektedir. Bu çerçevede gerçekleştirilen SWOT analizleri, üretim politikalarının bölgeye özgü planlanması için stratejik zemin oluşturmaktadır. Analiz kapsamında Türkiye’nin üretimde öne çıkan dört ana bölgesi -Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Marmara- hem içsel kapasite hem de dışsal tehdit ve fırsatlar açısından değerlendirilmektedir.

Akdeniz Bölgesi, özellikle Adana ve Antalya gibi iller sayesinde Türkiye karpuz üretiminin lideridir. Bölge, erken hasat avantajı, gelişmiş fide ve sulama altyapısı ile yüksek verimliliğe ulaşmaktadır (6.000 kg/da üzeri). Hibrit çeşitlerin yaygın kullanımı ve örtü altı üretim kapasitesi, iç ve dış pazar için uygun ürün sunma avantajı sağlamaktadır. Buna karşın, üretim maliyetlerinin artması, pazarlama zincirinin üretici aleyhine işlemesi ve sıcaklık stresine bağlı kalite düşüşleri yapısal zayıflıkları oluşturmaktadır. Yine de ihracata uygun çeşitlerin yaygınlaştırılması, sözleşmeli üretim modelleri ve organik tarım kapasitesi bu bölgeyi sürdürülebilir üretim için stratejik konuma yerleştirmektedir. Ancak su kaynaklarındaki azalma ve hızlı kentleşme baskısı, gelecekteki en belirgin tehditler arasında sayılmalıdır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Diyarbakır merkezli yerel çeşit zenginliği ile dikkat çekmektedir. Kuraklığa dayanıklı genotiplerin (örneğin M20) bölgede yaygınlığı, stres koşullarında üretim sürdürülebilirliğine ciddi katkı sağlamaktadır. Ancak sulama altyapısının yetersizliği, pazarlama zincirindeki zayıflık ve düşük verimlilik (3.650 kg/da düzeyi) temel zayıf yönlerdir. Buna rağmen Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 2021-2025 Biyolojik Çeşitlilik Politika Belgesi ile yerel çeşitlerin korunması ve çiftçi elinde yaşatılması yönündeki politikalar, bölgenin genetik üstünlüğünü stratejik bir fırsata dönüştürmektedir. Ayrıca GAP sulama projelerinin tamamlanması ve kooperatifleşme adımları, verim ve gelir artışına doğrudan katkı sağlayabilecektir. Bölge için en kritik

tehditler ise artan kuraklık şiddeti ve üretici genç nüfusun tarımdan uzaklaşmasıdır.

Ege Bölgesi, ala karpuz gibi özgün ürün desenleriyle farklı bir konumda yer almaktadır. İzmir ve Manisa illerindeki üretim, gastronomik değeri yüksek ürünler sayesinde öne çıkarken; parçalı arazi yapısı, sulama yatırımlarındaki bölgesel eşitsizlikler ve artan iş gücü maliyetleri nedeniyle verimlilik açısından sınırlı kalmaktadır (yaklaşık 3.700-3.900 kg/da). Buna rağmen organik üretime uygun altyapı, iç pazara yakınlık ve üniversite-üretici iş birlikleri bölge için önemli fırsatlar yaratmaktadır. Özellikle tarım turizmiyle entegre edilen modeller, bölgenin tarımsal katma değerini artırabilecek potansiyele sahiptir. Ancak sanayi ve turizm kaynaklı arazi kayıpları ile tarımsal nüfusun yaşlanması, sürdürülebilir üretim açısından dikkate alınması gereken tehditlerdir.

Marmara Bölgesi ise sınırlı alanlarda yapılan karpuz üretiminde dahi yüksek verimlilik sağlayarak dikkat çekmektedir. Sakarya ili, 2023 yılı itibarıyla dekar başına 6.225 kg verim ile Türkiye rekoruna ulaşmıştır. Bölgenin iç pazara yakınlığı, ulaşım altyapısı ve soğuk zincir kapasitesi güçlü yönlerini oluştururken, kentleşme baskısı ve üretici sayısındaki azalma önemli riskleri beraberinde getirmektedir (Yeni Mesaj, 12 Mart 2025,). Ayrıca üretim ölçeğinin küçük olması ve bazı illerde karpuzun artık bölgesel öncelik olmaktan çıkması da zayıf yönler arasındadır. Bununla birlikte kısa tedarik zinciri ve ihracat potansiyeli yüksek “yüksek raf ömrü” çeşitlerin üretimi ile akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, bu bölge için stratejik fırsatlar doğurabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de karpuz üretiminin bölgesel sürdürülebilirliğini koruyabilmesi için yalnızca üretim hacmi değil; adaptif altyapı, çeşit geliştirme, pazarlama kanalları ve kuraklık yönetimi gibi çok katmanlı stratejilerin eşgüdüm içinde uygulanması gerektiği açıktır. SWOT analizleri bu bağlamda, bölgesel planlama ve tarım politikası geliştirmede yön gösterici bir araç niteliğindedir.

5. Türkiye’de Karpuzun Dış Ticaretteki Yeri ve İhracat Potansiyeli

Karpuz, dünya genelinde 100 milyon tonun üzerinde üretim hacmiyle en çok yetiştirilen taze meyveler arasında yer almaktadır. FAO’nun 2023 yılı

verilerine göre Çin, tek başına 60,3 milyon ton üretimle dünya sıralamasında açık farkla birincidir. Türkiye, yaklaşık 3.2 milyon ton üretimle ikinci sırada yer alarak dünya üretiminin %3.2'sini gerçekleştirmektedir. Onu sırasıyla Hindistan (2,6 milyon ton), Vietnam (2.3 milyon ton) ve Cezayir (1.8 milyon ton) izlemektedir (FAOSTAT, 2023).

Her ne kadar Çin mutlak üretim açısından lider olsa da, hektar başına verim kıyaslamaları yapıldığında Türkiye avantajlı bir pozisyonda bulunmaktadır. Türkiye’de dekara (da) ortalama verim 4.800-5.200 kg arasında değişmekte; Adana ve Sakarya gibi illerde bu oran 6.000 kg/da’nın üzerine çıkmaktadır. Buna karşılık, Çin’in devasa üretimi büyük oranda tarımsal alana dayalı olduğu için hektar verimi Türkiye ile benzer düzeylerde kalmakta, kalite bakımından ise standartlaşma sorunları yaşanmaktadır (Liu vd., 2022).

İhracat açısından bakıldığında, dünya genelinde en fazla karpuz ihraç eden ülkeler arasında İspanya, Fas, Meksika ve İran yer almaktadır. Türkiye, üretim hacmine rağmen ihracat sıralamasında ilk 10 içinde değildir; 2023 yılı ihracat geliri yalnızca 18.9 milyon USD olup, toplam ihracat hacminin yaklaşık 36 bin tonla sınırlı kaldığı görülmektedir (Trademap, 2024). Bu fark, bir yandan sertifikasyon eksikliklerine, diğer yandan taşıma sırasında yaşanan kalite kayıplarına dayanmaktadır. Örneğin, İspanya’nın 2023 yılında gerçekleştirdiği 900 bin tonluk karpuz ihracatı, Türkiye’nin yaklaşık 25 katına ulaşmıştır (Eurostat, 2024). Bu karşılaştırmalı çerçevede, Türkiye açısından bazı stratejik açılımlar sunmaktadır. Özellikle çekirdeksiz ve küçük meyve tiplerinin Avrupa pazarlarında tercih ediliyor olması, bu tiplerde ıslah çalışmalarının artırılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca Türkiye’nin erkenci üretim avantajı, mevsimsel arz boşluklarının doldurulmasına imkân tanıyarak yüksek getirili özel pazar fırsatları oluşturabilir. Son dönemdeki tüketici eğilimleri incelendiğinde, geleneksel karpuz çeşitlerinin yanı sıra, yüksek likopen içerikli kırmızı etli karpuzlar, daha tatlı ve aromatik sarı veya turuncu etli karpuzlar gibi spesifik özelliklere sahip çeşitlere yönelim artmaktadır (USDA, 2024; National Watermelon Promotion Board, 2023). Kentleşmenin artması ve küçük aile yapılarının yaygınlaşması ise “mini karpuz” veya “tek porsiyonluk karpuz” gibi küçük boyutlu ve çekirdeksiz çeşitlere olan talebi yükseltmektedir (Deloitte, 2023). Bu çeşitler, depolama ve tüketim kolaylığı sunarak hem iç pazarda hem de ihracatta yeni segmentler açmaktadır. Ayrıca, Avrupa ve Kuzey Amerika

pazarlarında organik ve sürdürülebilir yöntemlerle üretilmiş tarım ürünlerine olan talep sürekli artmaktadır (Willer vd., 2024). Karpuz üretiminde pestisit kullanımının azaltılması, biyolojik mücadele yöntemlerinin benimsenmesi ve organik sertifikasyon süreçlerinin kolaylaştırılması, Türkiye'nin bu pazarlardaki rekabet gücünü artırabilir. Bu karşılaştırmalı çerçeve, Türkiye açısından bazı stratejik açılımlar sunmaktadır. Özellikle çekirdeksiz ve küçük meyve tiplerinin Avrupa pazarlarında tercih ediliyor olması, bu tiplerde ıslah çalışmalarının artırılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin erkenci üretim avantajı, mevsimsel arz boşluklarının doldurulmasına imkân tanıyarak yüksek getirili özel pazar fırsatları oluşturabilir. İspanya'nın ihracattaki başarısının arkasında organize üretim planlaması, lojistik zincirin bütünlüğü ve çeşit-pazar uyumuna dayalı sistematik unsurlar bulunmaktadır. Türkiye'de ise bu bileşenlerin henüz bütüncül biçimde kurgulanmamış olması, dış ticaretteki göreceli zayıflığın temel nedenidir.

Türkiye, dünya üretiminde ikinci sırada olmasına rağmen, bu hacmi uluslararası pazara dönüştürme kapasitesi açısından sınırlı kalmaktadır. Gelecekte hem ıslah stratejilerinin hem de üretici-pazar koordinasyonunun entegre biçimde yönetilmesi, Türkiye'yi dünya karpuz ticaretinde etkin bir aktör hâline getirebilir. Bu süreçte lojistik altyapı iyileştirmeleri, dayanıklı çeşitlerin yaygınlaştırılması üretim kolu olmayı sürdürmektedir. Ancak iklim değişikliği, su kaynaklarındaki daralma, üretici örgütlülüğünün zayıflığı ve ihracat potansiyelinin yeterince değerlendirilememesi gibi yapısal sorunlar, sektörel sürdürülebilirliğin önünde engel teşkil etmektedir. Bu sorunlara yanıt verebilmek adına, kısa ve orta vadede uygulanabilir politika önerileri üç düzlemde ele alınmalıdır:

1. Tarımsal Üretim ve Altyapı Yönetimi: Türkiye genelinde dekara verim değerlerindeki bölgesel farklılık, sulama sistemleri, toprak yönetimi ve gübreleme stratejilerindeki eşitsizliği yansıtmaktadır. Bu nedenle: Damla sulama sistemlerinin tüm üretim bölgelerinde yaygınlaştırılması için bölge bazlı teşvik modelleri geliştirilmeli, Toprak analizine dayalı gübreleme programları ile verim artışı sağlanmalı, Ters mevsim koşullarında üretimi korumak adına sera ve yarı-kapalı sistem yatırımları desteklenmelidir. Karpuz üretimini destekleyici politikalar sadece üretim miktarına odaklanmamalı, aynı zamanda

katma değer zincirinin tüm halkalarını (üretim, işleme, pazarlama, ihracat) kapsayan bütüncül bir yaklaşım benimsemelidir. Devletin tarımsal desteklemeleri, modern tekniklerin (damla sulama gibi) ve sertifikalı üretimin yaygınlaşmasını teşvik etmelidir. Üretici kooperatifleri ve birliklerinin desteklenmesi, girdi maliyetlerinin düşürülmesine ve pazarlama gücünün artırılmasına yardımcı olacaktır. Sözleşmeli üretim modellerinin yaygınlaştırılması, üreticinin pazar belirsizliğini azaltırken, alıcının da düzenli ve kaliteli ürün teminini garantileyecektir. İklim değişikliğinin yol açtığı risklere (kuraklık, dolu, ani sıcaklık değişimleri) karşı üreticinin korunması amacıyla tarımsal sigorta prim destekleri artırılmalı ve sigorta kapsamı genişletilmelidir.

2. Genetik Kaynakların Korunması ve Islah Stratejileri: Çekirdeksiz, minyatür ve uzun raf ömrüne sahip çeşitlere yönelik talebin artışı, Türkiye’deki ıslah çalışmalarına yeni yönler kazandırmaktadır. Aynı zamanda yerel çeşitlerin kuraklığa ve tuzluluğa dayanıklı ve dış ticaret mevzuatlarının uyumu belirleyici olacaktır.

7. Gelecek Projeksiyonları ve Politika Önerileri

Türkiye’de karpuz üretimi, tarihsel ve coğrafi çeşitliliğiyle stratejik bir meyve özellikleri, küresel iklim baskısına karşı bir direnç unsuru olarak değerlendirilmelidir. Bu kapsamda:

- ✓ Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 2021-2025 Politika Belgesi çerçevesinde yerel karpuz çeşitlerinin gen bankalarında saklanması ve çiftçi elinde yaşatılması,
- ✓ Diyarbakır yerli tipi ve M20 genotipi gibi karakteristik varyetelerin stres-tolerans genetik haritalarının çıkarılması,
- ✓ Nitekim Mo vd. (2016), tarafından yapılan karşılaştırmalı çalışmada, evcilleştirilmiş ve vahşi karpuz genotiplerinin kuraklık stresine ve yeniden sulamaya verdiği fizyolojik tepkiler analiz edilmiş; yabancı genotiplerin (örneğin M20), yaprak su içeriğini koruyarak ve stomal iletkenliği sınırlayarak su kullanımını daha verimli yönettiği gösterilmiştir. Bu genotiplerin ayrıca prolin ve çözünür şeker birikimi sayesinde yeniden sulama sonrası toparlanma hızlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu bulgular, Türkiye’deki yerel çeşitlerin stres

toleransı açısından karakterize edilerek, iklim değişikliğine dayanıklı ıslah programlarına entegrasyonu gerektiğini net biçimde ortaya koymaktadır. Üniversite-özel sektör-üretici iş birlikleriyle, AB uyumlu hibrit çeşitlerin geliştirilmesi için çok merkezli ıslah konsorsiyumlarının kurulması önerilmektedir. Yüksek verimli, hastalık ve zararlılara dayanıklı, raf ömrü uzun ve pazar taleplerine uygun yeni karpuz çeşitlerinin geliştirilmesi için kamu ve özel sektör Ar-Ge yatırımları artırılmalıdır. Özellikle kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı genetik toleransı yüksek yerel genotiplerin (örneğin Diyarbakır tipi, M20) ıslah programlarına entegrasyonu hızlandırılmalıdır (Yaşar vd., 2008). Geleneksel ıslah yöntemlerinin yanı sıra, moleküler markör destekli seleksiyon gibi biyoteknolojik araçların kullanılması, ıslah süreçlerini hızlandırabilir ve istenen özelliklere sahip çeşitlerin daha etkin geliştirilmesini sağlayabilir (Acquaah, 2012).

- ✓ Üniversite-özel sektör-üretici iş birlikleriyle, AB uyumlu hibrit çeşitlerin geliştirilmesi için çok merkezli ıslah konsorsiyumlarının kurulması önerilmektedir.

3. Pazarlama, İhracat ve Yönetim Politikaları: Her ne kadar Türkiye dünya üretiminde ikinci sırada yer alsada dış ticaretteki hacim ve gelir oranları bu pozisyonun çok gerisindedir. Özellikle İspanya gibi ülkelerin ihracat başarısı, tür-pazar uyumuna dayalı çeşit planlaması ve soğuk zincir yönetimiyle yakından ilişkilidir. Türkiye’de ise:

- ✓ Çekirdeksiz, küçük hacimli ve uzun raf ömrüne sahip çeşitler geliştirilerek yüksek katma değerli pazar segmentlerine odaklanılmalı,
- ✓ Üretici örgütleri ve ihracatçı birlikleri aracılığıyla planlı dış ticaret hacmi oluşturulmalı,
- ✓ Soğuk zincir altyapısının özellikle Akdeniz ve Marmara gibi liman çevresi bölgelerde güçlendirilmesi teşvik edilmelidir.

Ayrıca, tüketici davranışlarında giderek daha fazla öne çıkan “izlenebilirlik” talebine karşılık, dijital tarım uygulamaları, hasat sonrası kayıt sistemleri ve ürün pasaportu uygulamaları ulusal düzeyde yaygınlaştırılmalı; bu

da Türkiye'nin küresel pazardaki güvenilirliğini ve tercih edilirliliğini güçlendirecektir.

8. Dijital Tarım Uygulamalarıyla Sürdürülebilirlik ve Kuraklıkla Mücadele Stratejileri

Türkiye'de karpuz üretimi, iklimsel belirsizliklerin arttığı bir dönemde hem verim hem de kalite açısından önemli tehditlerle karşı karşıyadır. Özellikle kuraklık, hastalık yayılımı ve ani hava olayları gibi stres etmenleri, hasat kayıplarının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, dijital tarım teknolojilerinin entegrasyonu, üretimde sürekliliği sağlayabilecek enstrümanlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Şahin, 2024).

Sulama sistemlerinin dijitalleşmesi, verimli su yönetiminin sağlanması açısından temel bir adımdır. Devlet Su İşleri'nin 2024 yılı raporuna göre, Adana ve Afyonkarahisar gibi bölgelerde uygulamaya konulan yapay zekâ destekli sulama otomasyonları ile sulama suyu kullanımında %35 ila %45 arasında tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir (DSİ, 2024). Bu sistemlerde toprak nemi, hava sıcaklığı ve bitki büyüme evrelerine göre sulama kararlarını destekleyen çok parametrelili sensörler kullanılmakta; çiftçilere mobil uygulamalar üzerinden anlık veri sunulmaktadır (Şahin, 2024).

Buna paralel olarak, erken uyarı ve tahmin sistemleri, özellikle hastalık ve zararlı yönetiminde etkin bir rol üstlenmektedir. Uzaktan algılama teknolojileri ve uydu tabanlı tarla izleme yazılımları (örneğin Farmonaut) sayesinde stres belirtileri bitki üzerindeki etkilerini göstermeden önce tespit edilebilmektedir. Meteorolojik veri akışıyla entegre çalışan bu sistemler, çiftçilerin müdahale zamanını doğru belirlemesini sağlamak ve kimyasal kullanımını da azaltmaktadır (Farmonaut, 2024).

Öte yandan, nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerine dayalı tarla sensörleri, tarımda veri odaklı karar alma sürecini güçlendirmektedir. Bu sensörler toprak sıcaklığı, tuzluluk, pH, ışık geçirgenliği ve nem gibi parametreleri sürekli izleyerek, üreticiye gübreleme, hasat ve sulama zamanlamasında dijital karar destek sunmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ algoritmaları ile entegre edilen bu veriler, hasat öncesi tahminleme modelleri, verim öngörülleri ve lojistik planlama için kullanılmakta; özellikle ihracat

zincirine entegre ürünlerin zamanlamasını optimize etmektedir (Abioye vd., 2020).

Bu teknolojik dönüşümün yalnızca fiziksel altyapı boyutunda değil, üretici eğitimi ve politik teşvikler aracılığıyla da desteklenmesi gerekmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın dijital tarım seferberliği kapsamında başlattığı Tarım Cebimde ve TÜRKAS gibi platformlar, üreticilerin veriyle yönetim kabiliyetini artırmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda karpuz gibi suya duyarlı ürünler için özel modüllerin geliştirilmesi, erken uyarı sistemlerinin daha geniş kitlelerce benimsenmesini sağlayabilir. Tarım danışmanlarının ve ziraat mühendislerinin sahada daha aktif rol alması, üreticilere modern tarım teknikleri, dijital uygulamalar ve iklim değişikliğine adaptasyon stratejileri konusunda birebir eğitim ve danışmanlık hizmeti sunması sağlanmalıdır. Bu, teknoloji transferini hızlandıracaktır. Yeni tekniklerin ve çeşitlerin pratik uygulamalarını göstermek amacıyla demonstrasyon alanları ve model çiftlikler kurulmalı, buralarda tarla günleri ve atölye çalışmaları düzenlenmelidir. Bu tür uygulamalar, üreticilerin yeni teknolojilere olan güvenini artıracaktır.

Karpuz üretiminde iklimsel stres kaynaklı dalgalanmaları dengelemek için modern sulama sistemleri, uydu tabanlı erken uyarı teknolojileri ve yapay zekâ destekli tarımsal karar sistemleri, üretim zincirinde kırılmaları azaltabilecek temel araçlardır. Bu araçların üreticiye erişilebilir kılınması, yalnızca verim artışı değil aynı zamanda kuraklıkla mücadelede ulusal kapasitenin güçlendirilmesi anlamına gelmektedir. Yağışların düzensizleştiği dönemlerde su kaynaklarını yönetmek için su hasadı teknikleri (yağmur suyu toplama) ve yeraltı su seviyelerini destekleyici akifer besleme projeleri geliştirilmelidir. Bu, özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu gibi kuraklık riski yüksek bölgelerde su kıtlığına karşı stratejik bir önlem olacaktır. Bitki sensörleri, drone teknolojileri ve yapay zekâ destekli tahmin modelleri kullanılarak sulama, gübreleme ve hastalık/zararlı yönetimi kararları optimize edilmelidir (Yang vd., 2023). Bu uygulamalar, iklimsel belirsizliklerin etkisini minimize ederek verimliliği ve kaynak kullanım verimliliğini artıracaktır.”

9. SONUÇ

Türkiye’de karpuz üretimi, ekolojik çeşitlilik ve üretici deneyimi bakımından önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, üretim miktarı ve

verimlilikteki bölgesel dalgalanmalar son yıllarda belirginleşmiştir. FAO ve TÜİK verilerine göre 2023 yılında üretim hacminin 3.2 milyon ton seviyesinde kalması, iklimsel belirsizliklerin, üretim maliyetlerinin yükselmesinin ve pazar yapısındaki istikrarsızlıkların etkisini göstermektedir. Özellikle Adana, Antalya ve Sakarya gibi yüksek verimli bölgelerle Diyarbakır ve Manisa gibi üretim kısıtlılığı yaşayan alanlar arasındaki farklar, Türkiye'nin üretim sistemindeki yapısal asimetriyi ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada yapılan SWOT analizleri, üretim verimliliğinin yalnızca toprak ve iklim koşullarına değil, aynı zamanda sulama altyapısı, pazarlama zinciri, iş gücü sürekliliği ve genetik kaynakların etkin kullanımına bağlı olduğunu göstermektedir. Türkiye, dünya karpuz üretiminde ikinci sırada yer almasına rağmen, ihracat potansiyelini yeterince değerlendirememektedir. Bunun temel nedenleri arasında soğuk zincir yetersizliği, sertifikalı çeşit eksikliği ve pazar uyumlu ıslah stratejilerinin sınırlı olması yer almaktadır. Karpuzun hasat sonrası fiziksel zarar görme ve raf ömrü kaybı riskini azaltmak için modern paketleme teknikleri (örneğin, özel dolgu malzemeleri, koruyucu filmler) ve daha etkin sınıflandırma/standardizasyon süreçleri benimsenmelidir (United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2021). Bu, özellikle uzak pazarlara yapılan sevkiyatlarda ürün kalitesini korumak için hayati önem taşır. Üretim bölgelerinden tüketim ve ihracat noktalarına kadar kesintisiz bir soğuk zincirin oluşturulması, karpuzun raf ömrünü uzatacak ve pazar değerini artıracaktır (TIM, 2024; Yaş Meyve Sebze İhracatçıları Birliği, 2024). Bu kapsamda, frigorifik taşıma araçlarının ve soğuk hava depolarının sayısının ve kapasitesinin artırılmasına yönelik yatırımlar teşvik edilmelidir.

Ancak bu tablo, üretim sisteminin dijitalleşmesiyle değiştirilebilir potansiyele sahiptir. Damla sulama, *uydu görüntüleme*, *IoT tabanlı tarla sensörleri* ve *yapay zekâ destekli erken uyarı sistemleri* gibi teknolojilerin *entegrasyonu*, hem verimliliği artıracak hem de kuraklık gibi iklimsel tehditlere karşı dirençli üretim sistemlerinin inşasına katkı sunacaktır. Yerli çeşitlerin stres-tolerans özellikleriyle ıslah programlarına entegrasyonu, katma değerli pazarlara yönelik çekirdeksiz ve dayanıklı çeşitlerin yaygınlaştırılması ve üretici eğitimlerinin artırılması, gelecek projeksiyonları açısından kritik unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye karpuz üretiminde sayısal büyüklükten çok nitelikli sürdürülebilirliğe odaklanmalıdır. Dijital tarım uygulamaları ve genetik kaynak yönetimi, bu dönüşümün temel yapı taşlarını oluşturmakta; bölgesel üretim stratejileri ve dış ticaret planlaması ise bu yapının sürdürülebilirliğini belirleyecek anahtar araçlar olarak konumlanmaktadır. Küresel pazarlara erişim ve ürün güvenliği algısının artırılması için GlobalGAP, İyi Tarım Uygulamaları (İTU) ve Organik Tarım sertifikasyonlarının üreticiler arasında yaygınlaştırılması kritik öneme sahiptir (GlobalGAP, 2024; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024). Bu sertifikasyonlar, özellikle Avrupa Birliği pazarlarında ürün kabul edilebilirliğini doğrudan etkilemekte ve daha yüksek fiyatlarla ürün satışı imkânı sunmaktadır. Ayrıca, kimyasal ilaç kullanımını azaltan Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) prensiplerinin karpuz yetiştiriciliğinde teşvik edilmesi, çevre sağlığını koruyacak ve kalıntı problemi nedeniyle ihracat risklerini azaltacaktır (FAO, 2022). Bu yaklaşımlar, sürdürülebilir bir üretim modelinin temelini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Rahman, M. K. I. A., Otuoze, A. O., Onotu, P., ve Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Adana Tarım İl Müdürlüğü. (2023). *Karpuz yetiştiriciliği teknik rehberi*. <https://adana.tarimorman.gov.tr>
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Deloitte. (2023). 2023 Consumer Products Industry Outlook. Deloitte Global. <https://www.deloitte.com/an/en/Industries/consumer/analysis/consumer-products-industry-outlook.html>
- DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü). (2024). Akıllı sulama sistemleri pilot uygulama raporu. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.dsi.gov.tr>
- Duraktekin, G., ve Bozkurt Çolak, Y. (2018). Karpuzda sulama düzeylerinin verim ve su randımanına etkisi. *Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi*, 218-222.
- Eurostat. (2024). *EU trade in agricultural products*. European Commission. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., ... ve Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 8, 1147.
- FAO. (2023). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farmonaut. (2024). AI-powered satellite-based crop monitoring platform. <https://farmonaut.com>
- GLOBALG.A.P. (2024). Integrated Farm Assurance (IFA) v6 Smart: General Regulations. <https://www.globalgap.org>

- Hamurcu, M., Khan, M. K., Pandey, A., Ozdemir, C., Avsaroglu, Z. Z., Elbasan, F., ... ve Gezgini, S. (2020). Nitric oxide regulates watermelon (*Citrullus lanatus*) responses to drought stress. *3 Biotech*, 10, 1-14.
- Iqbal, S., Wang, X., Mubeen, I., Kamran, M., Kanwal, I., Díaz, G. A., ... ve Fahad, S. (2022). Phytohormones trigger drought tolerance in crop plants: outlook and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12, 799318.
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27), 487-510.
- Kaya, A., ve Tarakçı, T. (2023). Türkiye’de karpuz üretimi ve bölgelere göre dağılımı. *Ziraat ve Bitkisel Üretim Dergisi*, 4(1), 52-61. <https://www.researchgate.net/publication/366791853>
- Liu, Y., Zhang, X., ve Chen, X. (2022). Current status and future trends of watermelon production and breeding in China. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 30(2), 45-52.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). (2024). *İklim değişikliği senaryoları*. <https://www.mgm.gov.tr>
- Mo, Y., Yang, R., Liu, L., Gu, X., Yang, X., Wang, Y., ... ve Li, H. (2016). Growth, photosynthesis and adaptive responses of wild and domesticated watermelon genotypes to drought stress and subsequent re-watering. *Plant Growth Regulation*, 79(2), 229–241. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0128-9>
- National Watermelon Promotion Board. (2023). Consumer Research – Watermelon A&U Study. <https://www.watermelon.org/wp-content/uploads/2023/12/NWPB2023ConsumerResearchsm.pdf>
- Subaşı, O. S., Aras, V., ve Aydın, A. (2011). Türkiye’de karpuz tarımı ve geleceği. *I. Ali Numan Kırac Tarım Kongresi Bildirileri*, 27-30 Nisan, Eskişehir. Cild:3 S:6211
- Süyüm, K. (2011). *Karpuz genetik kaynaklarının tuzluluk ve kuraklığa tolerans seviyelerinin belirlenmesi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Şahin, H. (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60.

- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). *Biyolojik çeşitlilik ve genetik kaynaklar politika belgesi 2021-2025*. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM). <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *Dijital Tarım Uygulamaları ve TÜRKA SİSTEMİ Tanıtım Raporu*. <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). *Organik tarım ve iyi tarım uygulamaları: Yönetmelikler ve destekleme esasları*. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Tarimsal-Destekler/Alan-Bazli-Destekler/Organik-Tarim-Destegi>
- Toros Tarım. (2024). *Türkiye’de karpuz ve kavun sektörü raporu*. <https://www.toros.com.tr>
- Torunoğlu Tohum. (2024). *Hibrit karpuz tohumu çeşitleri*. <https://www.torunoglutohum.com>
- Trademap. (2024). *International Trade Statistics for Watermelons*. International Trade Centre. <https://www.trademap.org>
- TÜİK, (2024a). *Bitkisel üretim geçici tahminleri - I. dönem (2024)*. <https://data.tuik.gov.tr>
- Türkiye İhracatçıları Meclisi (TİM). (2024). *Karpuz ihracat değerlendirme raporu 2023-2024*. <https://www.tim.org.tr>
- TÜİK, (2024b). *Dış ticaret istatistikleri: GTİP 080711 karpuz ihracat verileri, 2023–2024*. <https://data.tuik.gov.tr/>
- Türkiye Yaş Meyve Sebze İhracatçıları Birliği. (2024). *Karpuz ihracatında kalite ve lojistik değerlendirme raporu*. <https://www.ymisib.org.tr>
- Türkiye Ziraat Odaları Birliği (TZOB). (2023). *Türkiye karpuz üretimi 2023 değerlendirme raporu*. <https://www.tzob.org.tr>
- United Nations Economic Commission for Europe. (2021). *UNECE Standard FFV-37 concerning the marketing and commercial quality control of watermelons*. <https://unece.org/trade/wp7/FFV-Standards>
- USDA (United States Department of Agriculture, Economic Research Service). (2024). *Fruit and Tree Nuts Outlook: September 2024 (FTS-380)*. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=110106>
- Wang, W., Vinocur, B., ve Altman, A. (2004). *Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress*

- tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- Willer, H., Trávníček, J., ve Schlatter, B. (Eds.). (2024). The world of organic agriculture: Statistics and emerging trends 2024. Research Institute of Organic Agriculture FiBL & IFOAM – Organics International. <https://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2024.html>
- Yang, P., Wu, L., Cheng, M., Fan, J., Li, S., Wang, H., ve Qian, L. (2023). Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China. *Water*, 15(9), 1733.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., Özpáy, T., ve Uzal, Ö. (2008). Tuz stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus*) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 61-65.
- Yeni Mesaj. (2025, Mart 12). Sakarya’da tarım alanları sanayiye mi kurban ediliyor? <https://www.yenimesaj.com.tr>
- Yoshimura, K., Masuda, A., Kuwano, M., Yokota, A., ve Akashi, K. (2008). Programmed proteome response for drought avoidance/tolerance in the root of a C3 xerophyte (wild watermelon) under water deficits. *Plant and Cell Physiology*, 49(2), 226-241.

BÖLÜM 24

ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE BİTKİ FİZYOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİ MEKANİZMALARI

Dr. Mehmet Ali KARGICAK¹

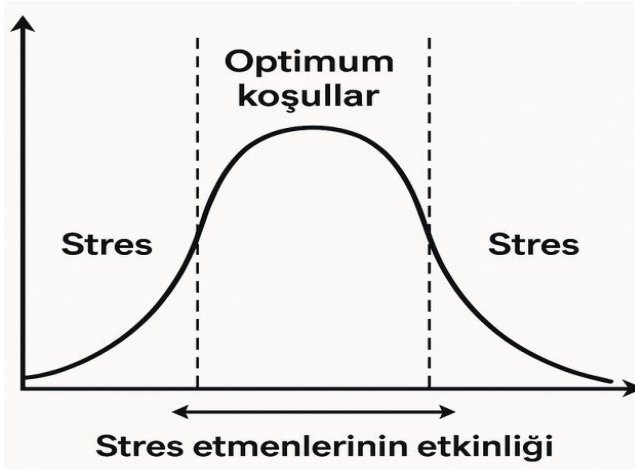
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780205>

¹ İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Aydın, Türkiye. mehmetali.kargicaktarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-5112-6872

1.GİRİŞ

Bir bitkiden maksimum düzeyde verim elde edilebilmesi, ancak bitkinin ihtiyaç duyduğu optimum çevresel koşullar altında yetiştirilmesiyle mümkün olabilmektedir. Ancak, pratik tarım uygulamalarında bu ideal koşulların sağlanması her zaman mümkün olamamaktadır (Üzal, 2009). Bitkiler, yaşamlarını sürdürdükleri çevrede çeşitli olumsuz etmenlere maruz kalarak gelişimlerini sınırlayıcı koşullarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bitkilerde büyüme, gelişme ve metabolik süreçleri olumsuz yönde etkileyen ya da tamamen durduran bu olumsuz koşullar “stres” olarak tanımlanmaktadır (Gürel & Avcıoğlu, 2001a). Genellikle dışsal kökenli olan stres etmenleri, bitki üzerinde zararlı etkiler oluşturarak fizyolojik dengenin bozulmasına neden olur (Taiz & Zeiger, 2008). Üstelik bu stres faktörleri çoğu zaman birbirinden bağımsız değil, eş zamanlı olarak etkili olabilmektedir (Kalefetoğlu & Ekmekçi, 2005). Stres, bitkilerde önemli fizyolojik ve metabolik değişimlere yol açmakta; bu durum büyüme ve gelişmenin olumsuz etkilenmesine, ürün miktar ve kalitesinde düşüşe, hatta bitkinin ya da bazı organlarının ölümüne neden olabilmektedir (Türkan, 1997).

Stres oluşturmayan çevre koşulları, "optimum koşullar" olarak tanımlanmakta olup, bu durumlarda bitkilerin çevreye adaptasyonu tam anlamıyla gerçekleşmektedir. Stres faktörleri, bitkilerde büyüme ve gelişmenin başlangıçtan ileri düzeylere kadar farklı oranlarda azalmasına, dolayısıyla ürünün hem niceliğinde hem de niteliğinde kayıplara yol açmaktadır (Şekil 1). Bu stres kaynaklı zararlar, bitkinin genetik olarak çevresel koşullara adaptasyon düzeyine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu durum, farklı bitki türlerinin farklı coğrafi bölgelerde optimum düzeyde gelişme göstermesini belirleyen temel faktörlerden biridir (Kaçar vd., 2002). Günümüzde, dünya genelindeki ekilebilir alanların yalnızca yaklaşık %10'luk bir kısmının stres faktörlerinden tamamen uzak olduğu tahmin edilmektedir (Mahajan & Tuteja, 2005).



Şekil 1. Stres etmenlerine bağlı olarak bitkilerde büyüme azalması ve ürün yitmesi (Kaçar vd., 2002).

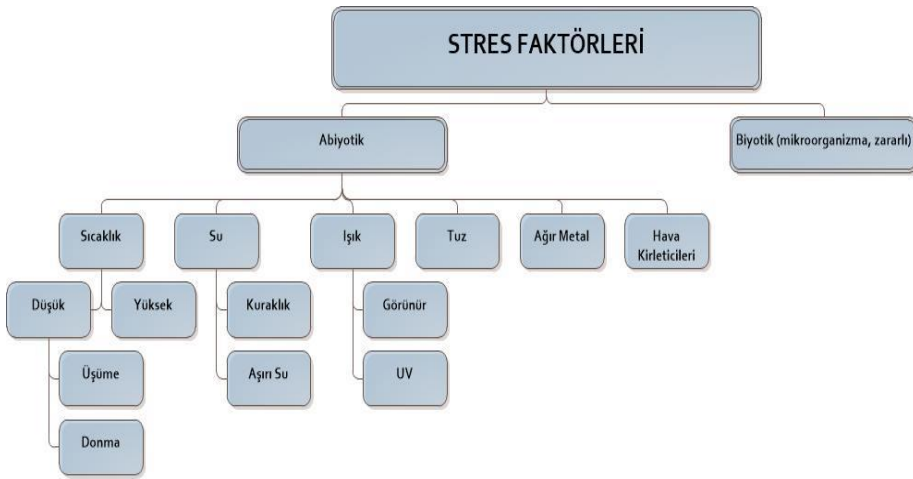
Bitkiler, çeşitli metabolik değişimlerle, stres etmenlerine karşı dayanıklılık geliştirerek, olumsuz çevre koşullarının neden olduğu zararı en aza indirmeye çalışırlar (Kaçar vd., 2002). Bu bağlamda, "stres direnci" veya "stres toleransı" kavramı, bir organizmanın elverişsiz çevresel koşullar altında canlılığını sürdürebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Hale & Orcutt, 1987). Bitkilerde stres dayanıklılığı genellikle sakınma (avoidance) ve tolerans (tolerance) olarak iki temel mekanizma ile açıklanır (Levitt, 1972).

Sakınma, bitkinin dışsal stres etmenlerinin etkisini henüz stres oluşmadan önce engelleyebilme kapasitesi olup, çevresel baskıların hücresel düzeyde olumsuz etki yaratmasını önlemeye yöneliktir (Street & Opik, 1984). Öte yandan, tolerans; bitkinin stres koşullarına rağmen hayati fonksiyonlarını sürdürebilme yeteneğini ifade eder (Kadioğlu, 2016). Bitkiler, bu iki stratejiden biri ya da her ikisini bir arada kullanarak, ya stresin oluşumunu önleyici yapısal ve fizyolojik mekanizmalar geliştirirler ya da stresle başa çıkmaya yönelik tolerans sistemleri sayesinde yaşamlarını devam ettirirler (Sivritepe, 1995).

2. STRES FAKTÖRLERİ

Bitkilerde strese neden olan faktörler biyotik ve abiyotik faktörler olarak gruplandırılmaktadır (Levitt, 1980). Biyotik strese, yaşayan organizmalar (fungus, bakteri, virüs, böcek, nematod gibi) neden olurken (Boyer, 1982), abiyotik stres faktörleri, sıcaklık, kuraklık, ışık, tuzluluk, ağır metaller, hava

kirleticileri stresi gibi çevresel etkenlere bağlıdır (Şekil 2). Dünya genelindeki tarıma elverişli alanlar, maruz kaldıkları stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında, kuraklık stresinin %26 ile en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Kuraklığı sırasıyla %20 ile mineral madde (besin elementi) stresi ve %15 ile düşük sıcaklık ile don stresleri takip etmektedir. Geriye kalan %29'luk kısmın ise çeşitli diğer abiyotik stres faktörlerinin etkisi altında olduğu bildirilmektedir. Buna karşılık, dünya üzerindeki tarım yapılabilir alanların yalnızca yaklaşık %10'luk bir bölümünün herhangi bir stres etmeninden etkilenmediği ifade edilmektedir (Kadioğlu, 2016).



Şekil 2. Başlıca stres faktörleri

2.1. Biyotik Stres Faktörleri

Biyotik stres faktörleri yaşayan organizmaların neden olduğu stres faktörleridir. Enfeksiyon oluşturan fungus, bakteri, virüs gibi mikroorganizmaları ve böcek, nematod gibi zararlıları içerir (Gürel & Avcıoğlu, 2001a). Funguslar bitkilerde diğer biyotik stres faktörlerinden daha fazla zarara neden olurlar. Bitkilerde hastalığa neden olan 8000 den fazla fungus türü olduğu bilinmekle birlikte, sadece 14 bakteri türü ekonomik olarak zarara neden olmaktadır (Anonim, 2025a). Mikroorganizmalar stomalardan ve gövdedeki yarık ve çiziklerden bitkinin içine girerek bitkide kloroz, nekroz, solma, kabuk bağlama, kök ve meyve çürüklükleri ve tohum zararlarına neden olurlar (Anonim, 2025b). Böcekler ise, bitkilerin yaprak, gövde ve çiçeklerinde

şiddetli fiziksel zararlar meydana getirir ve bakteri ve virüsle bulaşık bitkilerden sağlıklı bitkilere vektör olarak hareket ederek strese sebep olurlar (Anonim, 2025a).

Organizmaya yönelen stres faktörü; organizmada bir gerilimin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu gerilim önce geri dönüşlü fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olur ve “elastik gerilim” olarak adlandırılır. Bu gerilimin tarımsal anlamda çok fazla olumsuz etkisi bulunmamaktadır. Stres faktörü ortadan kalktığı anda gerilimde yok olur. Bununla birlikte stres faktörünün daha uzun süre devam etmesi ya da stresin artması durumunda geri dönüşümsüz bir gerilim meydana gelir. “Plastik gerilim” olarak adlandırılan bu gerilim tarımsal açıdan ciddi sonuçlar doğurur, nihai etkisi ölümdür. Bu noktalardan hareketle strese dayanıklılık bitkiyi plastik gerilime sokmayan dayanıklılık olarak kabul edilir. Bitkiler stres faktörlerine karşı stresin önlenmesi ve toleransı olmak üzere 2 tip dayanıklılık geliştirir (Göksoy & Turan, 1991).

“Stresin önlenmesinde”; bitki kendi dokularına stresin girmesini önler veya azaltır. Böylece gerilimde önlenmiş olur (Faaek, 2018). Bu mekanizmalar içinde yaprak alanı ve kalınlığı, stomaların boy ve yoğunluğu ve toksik maddelerin atımı gibi bitki çevre etkileşiminde, bitki morfolojisinde ve kimyasal bileşiminde meydana gelen değişimlerdir (Anonim, 2025a). “Strese toleransta” ise; stres bitki dokuları içine girdiği halde bitkinin gerilimi ile stresin zararlı etkisi önlenir (Faaek, 2018). Tolerans mekanizmaları; stres faktörlerinin azaltılması veya yaralanan bölgelerin tamiri ile meydana gelen değişimlerdir (Anonim, 2025a).

2.2. Abiyotik Stres Faktörleri

Abiyotik stres, şiddetli ışık, ultraviyole radyasyon, aşırı sıcaklık değişimleri (yüksek ve düşük sıcaklıklar), don olayları, kuraklık, toprak tuzluluğu, ağır metal birikimi ve oksijen eksikliği gibi karmaşık çevresel şartların sebep olduğu stres faktörlerini, içine alan bir durumdur (Hirayama & Shinoza, 2010). Yetiştiricilik açısından önemli tehditler içeren abiyotik stres faktörleri, çevresel faktörlerin bozulması sonucu bitkilerde moleküler, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal yönde olumsuz değişiklikler oluştururlar (Wang vd., 2000). Abiyotik streslere karşı toleransın gelişimi, hem organizma düzeyinde hem de hücresel ve moleküler seviyelerde oldukça karmaşık bir süreçtir. Stres faktörlerinin şiddeti ve bitkilerin bu faktörlere karşı

geliştirdiği adaptif yanıtlar, bitki yaşamının farklı boyutlarında ortaya çıkmakla birlikte stres faktörleri birbiriyle ilişkili olabilmektedir. Örneğin, mevsimsel bir karakter taşıyan soğuk stresi, belirli yönleriyle kuraklık stresiyle benzerlik göstermektedir. Çünkü düşük sıcaklıklarda suyun donması, hücre dışı sıvılarda çözünmüş maddelerin konsantrasyonunun artmasına neden olmakta ve bu durum bitki hücrelerinde fizyolojik su kıtlığına yol açmaktadır (Ashraf & Foolad, 2007; Korkmaz & Durmaz, 2017). Abiyotik stres faktörleri Dünya üzerindeki bitkisel üretimde %50'yi aşan düzeylerde verim kaybı ve kalite düşüşüne neden olabilmektedir (Wang vd., 2003).

2.2.1. Sıcaklık Stresi

Bitkiler gelişmenin farklı dönemlerinde, farklı optimum, minimum ve maksimum sıcaklık değerlerine gereksinim duyarlar. Bu değerlere ulaşan sıcaklık değerleri akabinde gelişme azalarak daha fazla gelişme meydana gelmez (Öztürk & Seçmen 1992). Bitkiler genellikle 15-45 °C' de arasında gelişim gösterirler. Optimal sıcaklık aralıklarının dışında kalan düşük veya yüksek sıcaklık koşulları, bitkilerin bölgesel adaptasyonlarına bağlı olarak büyüme, metabolizma ve ürünün hem niteliksel hem de niceliksel özellikleri üzerinde önemli düzeyde olumsuz etkilere yol açmaktadır (Kaçar vd., 2002).

Sıcaklıkla ilişkili abiyotik stresler; yüksek sıcaklık stresi, düşük ancak pozitif sıcaklıkların neden olduğu üşüme stresi ve sıfırın altındaki sıcaklıkların yol açtığı don stresi olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır (Çil, 2006).

2.2.1.1. Düşük Sıcaklık Stresi

Düşük sıcaklık stresi; üşüme ve don stresi olarak ortaya çıkar. Üşüme hücreler üzerinde doğrudan etkiliyken, donma dolaylı olarak etkili olur. Genel anlamda 0 °C ile 15 °C arasında değişen sıcaklıklarda meydana gelir.

2.2.1.1.1. Üşüme Stresi

Düşük ancak donma noktasının üzerindeki sıcaklıklar, normal bitki gelişimi için yetersiz olmakla birlikte, suyun buz haline dönüşmesini tetikleyecek kadar düşük değildir. Bu tür sıcaklıklar genellikle "üşütücü sıcaklıklar" olarak tanımlanmakta olup, özellikle tropik ve subtropik iklim kuşaklarına ait bitki türleri bu sıcaklıklara karşı oldukça hassastır. Optimal gelişim sıcaklığı 25–35 °C aralığında olan bitkiler, çevre sıcaklığının 10–

15 °C'ye düşmesi durumunda bile fizyolojik bozulmalar ve hücresel düzeyde üşüme kaynaklı zararlar gösterebilmektedir (Taiz & Zeiger, 2008; Aras, 2013).

Bu anlamda meyve türlerinin sıcaklık isteklerine (soğuğa dayanıklılık) göre sınıflandırılması sonucu, meyve türlerinin dört ana grup altında sınıflandırılabilirdiği ifade edilebilir.

- a) Tropik meyve türleri (düşük sıcaklığa hassas) (hindistan cevizi, avakado, mango, muz, kakao, hurma),
- b) Subtropik meyve türleri (hafif donlara toleranslı) (incir, turunçgiller, zeytin),
- c) Sıcak mutedil iklim meyve türleri (şiddetli donlara dayanıksız) (badem, antepfıstığı, üzüm (*Vitis vinifera*), böğürtlen, ahududu, ayva, seftali, kayısı, kiraz, çilek, fındık),
- d) Soğuk mutedil iklim meyve türleri (şiddetli donlara dayanıklı) armut, erik, üzüm (*Vitis labrusca*), elma olarak gruplara ayrılır.

Üşüme stresi hücre zarı zararları büyük ölçüde dehidrasyon nedeniyle meydana gelmektedir. Dehidrasyon, küçük moleküllerin (monomerlerin) bir araya gelerek daha büyük yapılar (polimerler) oluşturması sırasında su molekülünün açığa çıkmasıyla gerçekleşen bir kimyasal reaksiyon sürecidir. Hücre zarı lipidlerinin içeriği bitkinin soğuk duyarlılığı veya toleransında büyük öneme sahiptir (Mahajan & Tuteja, 2005). Türler arası hücre zarının yağ asidi doygunluğu ile bitkinin soğuk duyarlılığı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Hücre zarı lipidlerinin faz geçiş özellikleri ve zar akışkanlığı, içerdiği yağ asitlerinin doygunluk derecesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Soğuğa duyarlı bitkiler daha yüksek doymuş yağ asidi oranına ve daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip bulunmaktadır. Bu durumda, soğuğa duyarlı bitkilerin hücre zarlarının sıvı mozaik fazdan katı jel fazına geçme eğilimi artar ve bunun bir sonucu olarak, hücre zarında iyon sızıntılarına neden olur. Buna karşılık, soğuğa toleranslı bitki türleri daha yüksek düzeyde doymamış yağ asidi içeriğine ve daha düşük faz geçiş sıcaklığına sahiptir (Bakht vd., 2006; Uemura vd., 2006; Wang vd., 2006; Turan & Ekmekçi, 2008).

Bitkilerde meydana gelen üşüme zararı belirtileri; büyüme hızının azalması, yaprak genişliğinin azalması, yapraklar ve meyveler üzerindeki yüzey lezyonlar, anormal kıvrılma, yaprakların buruşması ve loblaşması, dokuların ıslaklaşması, gövdelerin yarılması ve ayrılması, içsel renk kaybı

(vasküler esmerleşme), çürümeye duyarlılıkta artış, normal olarak olgunlaşma azalması, canlılık kaybı (Kadioğlu, 2016), hücre zar yapısının bozulması sonucunda hücresel bütünlüğün kaybı şeklindedir; bu durum, hücresel otoliz ve yaşlanma süreçlerinin hızlanmasına, ışık kaynaklı fotooksidasyon nedeniyle klorofil kaybıyla klorozis oluşumuna, protoplazmik akışın minimize olmasına ve nekroz ile programlanmış hücre ölümü (apoptoz) süreçlerinin tetiklenmesine yol açmaktadır (Saltveit & Morris, 1990; Kratsch & Wise, 2000; Bertamini vd., 2007; Rymen vd., 2007; Turan & Ekmekçi, 2008). Üşüme stresine bağlı zararın derecesi, soğğun şiddetinin yanı sıra soğukta kalma süresi ve ortam sıcaklığının soğuktan sıcağa dönüşüm süresine de bağlıdır (Kaçar vd., 2002). Üşüme stresine maruz kalan bitkilerin yapraklarında fotosentez aktivitesi azalmakta, karbonhidrat taşınımı yavaşlamakta, solunum hızı düşmekte, protein sentezi engellenmekte ve mevcut proteinlerin yıkım hızı artmaktadır. Fotosentez ve solunum süreçlerindeki bu kısıtlanma, kloroplast ve mitokondri zarlarında oluşan hasarı göstermektedir (Taiz & Zeiger, 2008; Aras, 2013). Üşüme stresinde organellerde yapısal değişimler gözlenir. Bazı organellerin üşümeye hassaslık derecesi (aşırı duyarlılıktan az duyarlılığa doğru) şöyledir: plastid, mitokondri, peroksizom, nuklear zar, tonoplast, plazmolemma olarak sıralanır (Kadioğlu, 2016).

2.2.1.1.2. Donma Stresi

Don, bitki bünyesinde bitki öz suyunun düşük sıcaklıklarda buz haline dönüşerek katılaşması anlamına gelir (Yazıcı vd., 2001). Donma sıcaklığında hücre metabolizması minimal seviyeye iner ve temel fizyolojik işlevler durma noktasına ulaşır (Kaçar vd., 2002). Donma hasarı 2 ayrı yolla meydana gelir: ilkinde buz kristalleri hassas membranları ve hücre organizasyonunu bozarak mekanik hasarlar oluştururlar. İkincisi ise buz oluşumu sonucu, dokuların su içeriği azalır ve tedrici olarak kuraklık etkisine benzer bir etki olur (Kadioğlu, 2016). Düşük sıcaklık stresinde buz kristalleri öncelikle ekstraselüler bölgelerde oluşmaya başlar; hücre içindeki suyun ekstraselüler alana difüzyonu sonucunda buz kütleleri bu bölgelerde birikir. Suyun plazmalemmadan dışarı çıkması sonucu hücre dehidrasyona uğrar, hücre içi ozmotik konsantrasyon artar ve sitoplazma ozmotik bir sistem olarak işlev görmeye başlar. Donmaya dayanıklı türlerde, ekstraselüler alandaki buz kristalleri erimeye başladığında su hücre içine geri alınarak metabolik faaliyetler yeniden başlar. Ancak soğğa

alıştırılmamış ve ani sıcaklık düşüşüne maruz kalan bitkilerde, donmanın neden olduğu hücre membranı ve diğer organel yapılarındaki hasarlar nedeniyle suyun hücre içine geri alınması engellenmekte ve metabolizma yeniden aktif hale gelememektedir (Steponkus, 1984; Korkmaz & Durmaz, 2017).

Bitki türleri, soğuğa tolerans yetenekleri bakımından farklılık gösterirler. Tropikal türler, donma sıcaklığının üzerinde gerçekleşen düşük sıcaklıklarda onarılamaz hasarlarla karşılaşabilmektedir. Bu zararlar, metabolik ve hücresel süreçlerdeki aksaklıklar ile zar yapı özelliklerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Soğuk uyumu (soğuk aklimasyonu), bazı bitki türlerinin, donma sıcaklığı altında olmayan düşük sıcaklıklara belirli bir süre maruz kalmaları sonucu donma toleranslarını artırabilme yeteneğini ifade etmektedir (Thomashow, 1999). Bu mekanizma 1) Protoplazmanın su miktarının azalması, toksik bileşiklerin konsantrasyonunun azalması, 2) Özel koruyucu bileşikler sentezlenerek, membranların toksik bileşiklerden korunması, 3) Toksik bileşiklere membranların duyarlılığında bir azalma meydana gelmesi 4) Şeker, aminoasit ve antifiriz proteinleri gibi bazı maddelerin hücrede birikmesi sonucu osmotik potansiyelin düşürülerek donmanın geciktirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Kadioğlu, 2016).

2.2.1.2. Yüksek Sıcaklık Stresi

Sera gazları ve atmosferik CO₂ konsantrasyonundaki artış, yeryüzü sıcaklıklarında 1.5–5.9 °C arasında bir yükselmeye neden olmakta olup, bu gazların etkisinin ilerleyen dönemlerde daha da artarak tarımsal üretim üzerinde olumsuz sonuçlar doğuracağı öngörülmektedir (Kijne, 2006). Bitkiler, gün içi, gece, hava ve toprak sıcaklıklarındaki artışlara farklı tepkiler vermektedir. Ayrıca, bitki türleri arasında yüksek sıcaklıklara karşı duyarlılık açısından önemli farklılıklar mevcuttur; serin iklim bitkileri, sıcak iklim bitkilerine kıyasla yüksek sıcaklıklara daha hassastır. Bunun yanı sıra, sıcaklığın süresi, şiddeti ve bitkinin gelişim dönemine bağlı olarak zararın derecesi değişkenlik göstermektedir (Hall, 2000).

Yüksek sıcaklık, bitkilerde büyüme üzerinde olumsuz etkiler oluşturmakta olup (Kaçar vd., 2002), birçok bitki türünde çimlenme ve çıkış süreçlerini de negatif yönde etkilemektedir. Vejetatif gelişme periyodu boyunca yüksek sıcaklığın, karbondioksit asimilasyonu, fotosentez oranı, ve metabolik aktiviteyi azalttığı, enzim aktivitesini azalttığı hatta; daha fazla

sıcaklık artışıında engellediği, membran stabilitesini bozduğu, yapraklarda su stresi semptomlarına benzer nekrotik lezyonlar oluşturarak erken yaprak ölümlerine yol açtığı belirlenmiştir (Al-Khatib & Paulsen 1999; Sam vd. 2001; Orcutt & Nilsen, 2000; Hall, 2000; Kargıcak, 2025). Yüksek sıcaklıklarda fotosentez, solunumdan önce engellenir. Solunum, yüksek sıcaklıklara karşı daha toleranslı olup yalnızca ölümcül düzeylere yakın sıcaklıklarda olumsuz etkilenmektedir (Taiz & Zeiger, 2008). Yüksek sıcaklıklar, moleküllerin kinetik enerjisini artırarak büyük organik moleküller arasındaki bağların zayıflamasına ve hücre zarının akışkanlığının artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, düşük sıcaklıklarda hücre zarı sertleşir ve zarın biyokimyasal işlevlerini sürdürebilmesi için daha fazla enerji gereksinimi ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıklarda lipidlerin davranışları da değişir ve böylece membranların yapısında bozulmalar ortaya çıkar. Proteinlerin polar grupları arasında elektrostatik ilişkiler ve hidrojen bağlarının dayanıklılığında azalmalar meydana gelir. Protein yapısı ve kompozisyonu modifiye edilir. İyon sızıntısı olur. Öte yandan, sıcaklık değişimlerinden en fazla etkilenen hücresel bileşenlerden biri enzimlerdir. Enzimlerin etkinliğini sürdürebildiği belirli bir sıcaklık aralığı bulunmakta olup, bu sınırların aşılması enzimlerin denatürasyonuna ve dolayısıyla metabolik işlevlerin bozulmasına yol açmaktadır. Çeşitli çalışmaların da ortaya koyduğu gibi artan sıcaklıklardan dolayı solunum hızı artarken fotosentez azalır. Bu da enerji eksikliğine neden olur ve dokularda bozulmalar meydana getirir (Kadioğlu, 2016). Sıcaklık stresi altında kalan bitkilerde besin elementlerinin alımı da olumsuz yönde etkilenmektedir (Rosa vd., 2003). Generatif gelişme döneminde karşılaşılan yüksek sıcaklık koşulları, tohum gelişimi, çiçeklenme, polen çimlenmesi, dölleme ve meyve oluşumu gibi fizyolojik süreçleri olumsuz etkileyerek ürün veriminde ciddi düşüşlere neden olmaktadır (Hall, 1992; Hall, 1993).

Yüksek sıcaklık bitkilerde membran hasarı, enzim inaktivasyonu, oksidatif stres, lipid peroksidasyonu, DNA ipliklerinin bozulması ve protein yıkımına sebep olmaktadır (Suzuki & Mittler 2006). Birçok organizma yüksek sıcaklık stresine karşı, ısı şoku proteinleri (HSP) adı verilen yeni proteinler sentezlerler. Isı şoku proteinleri, proteinlerin katlanması, toplanması, translokasyonu, parçalanması, proteinlerin ve membranların kararlı yapıya kavuşturulması gibi birçok hücresel faaliyetlerden sorumludurlar ve abiyotik stres koşullarında proteinlerin yeniden düzenlenmesini sağlayabilmektedirler.

Isı şok proteinleri (HSP'ler), sıcaklık stresi altında proteinlerin doğru katlanmasını sağlama ve bozulan hücresel homeostazı yeniden kurma yetenekleri sayesinde, bitkilerin stres koşullarına karşı korunmasında kritik bir rol üstlenmektedirler (Wang vd., 2004).

2.2.2. Su Stresi

Su stresi, hem su fazlalığı hem de su yetersizliği durumlarında ortaya çıkabilmektedir. Su fazlalığına örnek olarak gösterilebilecek su baskını, genellikle bir oksijen stresi olarak değerlendirilir; çünkü bu durum, köklerin yeterli düzeyde oksijen alımını sınırlar. Oksijen eksikliği, solunum kapasitesini, mineral alımını ve diğer temel kök işlevlerini olumsuz yönde etkiler. Öte yandan, su eksikliğine bağlı gelişen stres durumu daha yaygın görülmekte olup, bu bağlamda 'su eksikliği stresi' ifadesi terminolojik olarak daha doğru kabul edilmektedir (Çil, 2006).

2.2.2.1. Su Eksikliği (Kuraklık) Stresi

Bitkilerde terleme (transpirasyon), kökler aracılığıyla topraktan alınan suyun ksilem dokusu vasıtasıyla yapraklara taşınması ve yaprak epidermisini kaplayan stomalar aracılığıyla buhar halinde atmosfere salınması sürecidir (Erken, 2012; Kargıcak, 2025). Terleme yoluyla belirli bir zaman diliminde kaybedilen su miktarının, çevreden alınan su miktarını aşması durumunda su stresi ortaya çıkmaktadır (Çakır, 2011). Hayatımızda birçok önemli fonksiyona sahip olan su, ağaçlardaki taze ağırlığın yarısını, diğer bitkilerin yaklaşık olarak %90'ını meydana getirir (Anjum vd., 2011). Dünya tarımında, ekilebilir alanlar içerisinde % 26'lık pay ile (Kalefetoğlu & Ekmekçi, 2005), kuraklık bitkisel üretimi kısıtlayan en önemli abiyotik stres faktörüdür (Reddy vd., 2004; Jaleel vd., 2007).

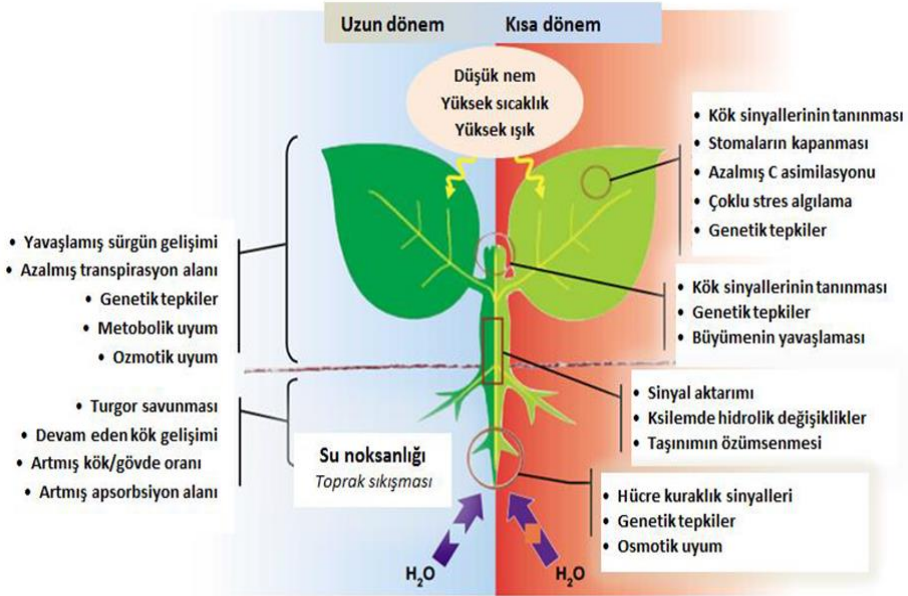
Kuraklık stresi farklı morfolojik (yaprak kıvrılması, yaprak alanın azalması), fizyolojik ve biyokimyasal (poliamin, prolin, birikimi) etkileşimlere sebep olur (Özer vd., 1997; Mitra, 2001; Farooq vd., 2009). Kuraklık stresinin bitki gelişimi üzerindeki etkisi, stresin süresi ve şiddetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Rampino vd., 2006). (Şekil 3).

Bitkilerde kuraklık stresine yanıt olarak önemli birtakım değişimler meydana gelir. Bunlar arasında bitki habitüsünün küçük olması, kök boyundaki anormallikler, kök-gövde oranında artış, toplam yaprak sayısının ve yaprak

alanının azalması, yaprak kıvrılması ve erken olgunlaşma gibi değişimler yer alır (Terzi & Kadioğlu 2006; Cattivelli vd. 2008; Jaleel vd. 2009).

Kuraklık stresinde; kökten gelen sinyallerin tanınarak, turgor kaybı ve ozmotik düzenleme sonucu, yaprak su potansiyelinin azalarak, stomatal iletkenlik, internal CO₂ derişimi, net fotosentezde ve büyüme oranında azalma meydana gelir. Kuraklık stresine karşı geliştirilen erken yanıtlar, bitkinin hayatta kalmasını desteklerken; prolin ve glisin betain gibi belirli metabolitlerin birikimi aracılığıyla dehidrasyona karşı direnç sağlanmakta, böylece hücresel yapısal bütünlük korunmakta ve bitkinin fizyolojik işlevleri sürdürülebilir hâle gelmektedir (Pinhero vd., 2001).

Su stresi, bitkilerde yalnızca büyüme üzerinde değil, aynı zamanda ürünün kalite (nitelik) ve verim (nicelik) özellikleri üzerinde de önemli derecede etkili olmaktadır. Turgor basıncının kaybı, hücre büyümesini olumsuz yönde etkileyerek hücrelerin küçük kalmasına neden olmakta; bu durum, hücre duvarı sentezinin azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca, su stresi protein ve klorofil sentezini de olumsuz etkilemektedir. Hücre büyümesindeki gerileme, yaprakların küçülmesine ve buna bağlı olarak fotosentez ürünlerinin miktarının azalmasına yol açmaktadır (Kaçar vd., 2002). Su stresi aynı zamanda bitkilerde enzim aktivitesi ve enzim miktarları üzerinde de önemli etkilere sahiptir (Plaut, 1995). Yaprak dokularında absisik asit (ABA) düzeyleri yaklaşık 40 kat artış gösterirken, bu artış kökler ve diğer bitki organlarında daha sınırlı düzeydedir. ABA, stomaların kapanmasını tetikleyerek transpirasyon yoluyla su kaybını azaltır. Ayrıca, bitkinin tepe organlarındaki büyümeyi baskılayarak suyun daha çok kök sistemine yönlendirilmesini sağlar ve bu da köklerin daha derin katmanlara doğru uzamasına katkıda bulunur (Kaçar vd., 2002). Su stresi koşullarında bitkiler tarafından algılanan ilk fizyolojik adaptasyon mekanizması, transpirasyon yoluyla su kaybını minimize etmek amacıyla stomaların kapanmasıdır (Osakabe vd., 2014). Bitkilerde fotosentez hızı, büyük ölçüde stomaların açık kalmasıyla yaprak dokularına alınan gaz formundaki karbondioksit miktarına bağlıdır. Ancak stomaların açık olması, aynı zamanda terleme (transpirasyon) yoluyla su kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık koşullarında bitkiler su kaybını en aza indirmek amacıyla stomalarını hızla kapatmaktadır. Stomaların kapanması, karbondioksit alımını sınırladığı için fotosentez oranında da azalma meydana gelmektedir (Chavez vd., 2003).



Şekil 3. Uzun ve kısa dönem bitki kuraklık stresi reaksiyonları (Chavez vd., 2003; Örs ve Ekinci, 2015)

Bitkilerde kuraklık stresine bağlı gelişen etkiler, genellikle mekanik, metabolik ve oksidatif düzeyde ortaya çıkmakta ve bu bağlamda sınıflandırılmaktadır (Kadıoğlu, 2016).

Kuraklık stresine bağlı olarak ortaya çıkan mekanik etkiler, hücrelerde belirgin su kaybının meydana gelmesiyle birlikte turgor basıncının azalması şeklinde kendini gösteren ilk fizyolojik belirtilerden biridir (Levitt, 1980). Hücre zarının yapısı, büyük ölçüde hücre içi su içeriğine bağlıdır; bu yapı, membrandaki hidrofobik fosfolipid kuyruklarının su molekülleri tarafından itilmesiyle korunur. Su kaybına bağlı olarak zar yapısı değişime uğrar; fosfolipidlerin hidrofilik baş grupları arasındaki mesafe azalır ve membranlar daha kompakt bir yapı kazanarak jel fazına geçer. Hücre hacmi küçülürken, plazma membranı hücre duvarından ayrılır (plazmoliz). Bu durumda, gerilim altındaki plazma membranı ve tonoplastta meydana gelen çökmeler, yapısal yırtılmalara neden olabilmektedir (McKersie & Leshem, 2013). Bu durumda zarlar üzerinde yerleşmiş olan hidrolitik enzimler serbest kalarak sitoplazmanın otolizi meydana gelebilir (Salisbury & Ross 1992). Hücresel metabolizma,

maruz kalınan stresin süresi ve şiddetine bağlı olarak çeşitli düzeylerde aksamalara uğrayabilmektedir.

Metabolik etki; su, hücre içeriğinin büyük bir kısmını oluşturmakta olup aynı zamanda temel bir taşıyıcı rolü üstlenmektedir. Hücrede su kaybının meydana gelmesi durumunda ise hücre içi osmotik denge ve metabolik süreçler olumsuz yönde etkilenmektedir. Su kaybı sonucu meydana gelen iyon-birikimi, membran bütünlüğünün bozulmasına ve proteinlerin yapısal olarak değişmesine yol açarak hücreye zarar verir. Proteinlerin yapısında yer alan hidrofobik ve hidrofilik aminoasitlerin su ile etkileşimlerindeki anormallikler sonucu protein denatürasyonları ve enzim inhibisyonları meydana gelir (Campbell 1991).

Oksidatif etki; kuraklık stresi sonucunda oluşan serbest radikaller, hücre içi lipid peroksidasyonunu ve doymuş yağ asidi üretimini tetikleyerek membran yapısının zarar görmesine yol açmaktadır (Sgherri vd. 1996).

Kuraklık stresi altında bitkiler, su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kapatırlar. Bu adaptif mekanizma, hem hidrolik sinyaller (yaprak su potansiyeli ve hücre turgoru) hem de kimyasal sinyaller aracılığıyla (özellikle absisik asit) düzenlenir. Köklerde sentezlenen absisik asit (ABA), transpirasyon akıntısı ile bekçi hücrelerine taşınmakta ve burada hipotetik ABA reseptörlerine bağlanarak stomaların kapanmasını tetiklemektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Stomaların kapanmasıyla bitkiler fotosentez için gerekli olan CO₂' i yeterince alamazlar. Bunun bir sonucu olarak fotosentez metabolizması inhibe olur ve ışık absorpsiyonunda düzensizlikler meydana gelir (Foyer & Noctor 2000).

2.2.2.2. Aşırı Su Stresi

Suyun eksikliğinde olduğu gibi fazlalığı da bitkilerde stres oluşturur. Su altındaki topraklarda, boşlukların su ile dolması sonucu O₂ eksikliği ortaya çıkar (Eryüce vd., 1998). Toprağa O₂ giremediği için bitki kökleri solunum yapamaz. Bitkilerde fotosentez miktarı azalır, büyüme olumsuz yönde etkilenir ve ciddi ürün kaybına neden olur (Setter vd., 1989). Oksijen noksanlığında protein sentezi ciddi ölçüde azalır, mitokondrilerde meydana gelen hasar sonucunda hücre bölünmesi ve uzaması yavaşlamakta, iyon taşınımı olumsuz etkilenmekte ve kök meristemi içindeki hücrelerde ölüm gerçekleşmektedir. Bitkide etil alkol miktarının artması havasızlık koşulunun en önemli belirtisidir. Bu koşullar altında absisik asit (ABA) ve etilen düzeyleri hızla artmakta,

yapraklardaki stomalar kapanmakta, yapraklar aşağıya doğru bükülüp sarmakta ve çoğunlukla bitkinin ölümüne yol açmaktadır (Kaçar vd., 2002). Anaerobik mikroorganizmalar suya doymuş topraklarda aktiftir. Anaerobik mikroorganizmalar, bol miktarda organik substrat bulunduğunda asetik asit ve bütirik asit gibi metabolitleri toprak suyuna salarlar. Anaerobik koşullar altında mikroorganizmalar tarafından üretilen bu bileşiklerin yüksek konsantrasyonları bitkiler için toksik etkiler göstermektedir (Taiz & Zeiger, 2008). Anaerobik ortamda bir takım anaerobik stres proteinleri (ASP) sentezlenir. Bu proteinler yaklaşık 90 dakikada birikmeye başlar ve 5 saat sonra bütün protein sentezinin % 70' i ASP' lerden oluşur (Kadioğlu, 2016).

2.2.3. Işık Stresi

Işık bitkilerin fotosentez yapabilmeleri için gereken en temel faktörlerden biridir. Bitki gelişiminde ışığın spektral bileşenleri, yoğunluğu (intensitesi), günlük fotoperiyod süresi ve gelişme dönemi boyunca toplam ışıklanma süresi önemli rol oynamaktadır (Çil, 2006). Görünür ışıkların düşük ya da aşırı miktarları ile UV radyasyonun artma göstermesi, bitkilerde ışık stresini oluşturmaktadır (Larcher, 2003).

2.2.3.1. Görünür Işık Stresi

Güneşten yeryüzüne ulaşan ışık, farklı dalga boylarına sahip çeşitli ışınlardan oluşmaktadır. Dalga boyu 400 milimikron (mμ) ve altındaki ışınlar 'kısa dalgali', 400–700 mμ arasındaki ışınlar 'orta dalgali', 770 mμ ve üzerindeki ışınlar ise 'uzun dalgali' ışınlar denilmektedir. İnsan gözü, yaklaşık 390 mμ ile 760 mμ arasındaki dalga boylarındaki ışıkları algılayabilmektedir. Bitkiler üzerinde ise farklı dalga boylarındaki ışınların etkileri çeşitlilik göstermektedir. 390 mμ'dan daha kısa dalga boylarına sahip ışınlar ultraviyole ışınları olarak adlandırılır (Eriş, 1995). Bitkiler ışık isteklerine göre güneş bitkileri (heliyofitler) ve gölge bitkileri (skiyofitler) olarak 2 sınıfa ayrılırlar.

Işığa ya da gölge koşullarına adaptasyonlar fotosentez etkinliğini artırma, palizat tabakasının kalınlaşması ile kloroplastların yerleşimini ve sayısını, klorofil içeriğini, damar kalınlığını ve yaprak alanı değişimlerini kapsar. Bu nedenle gölge bitkileri güneş bitkilerine oranla daha geniş yaprak alanına, daha ince mezofil kalınlığına ve daha ince kutikulaya sahiptir (Kadioğlu, 2016).

Işığın yetersiz olduğu durumlarda, bitkilerin açlıktan ölmesine, büyüme anormalliklerine (internodların uzaması, zayıf ya da çok az büyüyen gövdeler, zayıf dallanma) ve genel bir cılızlaşmaya neden olur (Kadıoğlu, 2016). Işık miktarının gereksinim seviyesinin altında olması durumunda ortaya çıkan ışık stresi, bitkide karbonhidrat düzeylerinde azalmaya yol açmakta ve bu azalmayı bir dizi metabolik değişim takip etmektedir. Karbonhidratlar, solunum sürecinde parçalanarak enerji kaynağı olarak kullanıldığından dolayı konsantrasyonları düşmektedir (Kaçar vd., 2002).

Yüksek ışık stresine maruz kalan bitkilerin yapraklarında, çeşitli adaptif değişimler meydana gelmekte ve fotosentez süreci etkilenmektedir. Bitkiler, yüksek ışık yoğunluğuna karşı koruyucu mekanizmalar geliştirir; bu kapsamda stomaların geçirgenliği, yaprak dokusuna alınan karbondioksit miktarını düzenleyecek şekilde modüle edilir. Ayrıca, palizat parankimasi hücrelerinin uzaması, yaprak boyunda hücre sayısının artması ve ortalama hücre çapının büyümesiyle yaprakların büyüme ve gelişimi yeniden şekillenir. Yüksek ışık stresinde, yaprak yüzeyinde mantarlaşma yaygınlaşmakta, mum ve kütin tabakalarının kalınlığı artmakta, böylece ışığın daha fazla yansıtılması sağlanmaktadır. Ayrıca, yapraklardaki β -karoten, ksantofil ve fosfolipit içerikleri artırılarak, klorofil moleküllerinin ışığa bağlı zarar görmesi minimize edilmektedir (Kaçar vd., 2002). Yüksek ışık yoğunluğu, bitkilerde sekonder zararlara da yol açabilmektedir. Aşırı ışık yoğunluğuna, özellikle güneş ışığındaki gibi, yüksek kızılötesi ışık da eşlik ederse, iki tip sekonder zarar ortaya çıkar. 1) Radyasyonun teşvik ettiği yüksek ısı stres zararı (güneş yanığı) 2) Aşırı güneş ışığı koşullarında esas olarak meydana gelen ve güneşten absorbe edilen enerjinin bulaştırıcı etkisi nedeniyle, radyasyonun teşvik ettiği bir stres olan kuraklık zararı (Gürel & Avcıoğlu, 2001a).

2.2.3.2. Ultraviyole (UV) Işık Stresi

Ultraviyole ışınlar, dalga boylarına göre UV-A (320–400 nm), UV-B (280–320 nm) ve UV-C (200–280 nm) olmak üzere 3 grupta toplanır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yaklaşık %7'sini ultraviyole (UV) ışınlar oluşturmaktadır. Bitkiler, UV ışınlarının büyük bir kısmını epidermis hücrelerinin vakuollerinde, bir kısmını ise hücrelerin dış duvarlarında absorbe etmektedir. Hücre içine giren ve absorbe edilen UV ışınları, yüksek enerji içerikleri nedeniyle önemli hasarlara yol açabilmektedir. Uzun dalga boyuna

sahip UV-A ışınları fotooksidatif etkiye neden olurken; UV-B ışınları, fotooksidatif etkinin yanı sıra özellikle biyomembranlarda fotolezyonlara (Kaçar vd., 2002) ve reaktif oksijen türlerinde (ROS) artışa yol açarak oksidatif strese sebep olmaktadır (Arnots & Murphy, 1991). UV-C ışınları ise bitkilerde renk oluşumunu ve büyümeyi engelleyerek cüceliğe neden olmaktadır. UV ışınlarından en fazla zarar gören molekül ise DNA'dır (Çil, 2006). UV ışınları bitkilerin büyümesinde; yaprak genişlemesinde azalmaya ve fotosentezde inhibisyona (Kadioğlu, 2016), enzim aktivitesinde değişiklere, hücrelerin zayıf enerji durumları, büyümenin bozulmasına (Gürel ve Avcıoğlu, 2001a), bu tip düzensizlikler, dokulardaki besin konsantrasyonlarının değişmesine, yaprak asimilasyonuna, apikal dominansi kaybına ve baskı altına alınmış çiçek gelişimine (Kadioğlu, 2016), çimlenme, reproduktif evreye geçiş, senesens gibi tüm evrelerde etkili olur (Çil, 2006).

2.2.4. Tuz Stresi

Aşırı toprak tuzluluğu, dünya genelinde ürün verimliliğini önemli ölçüde kısıtlayan en yaygın abiyotik stres faktörlerinden biridir. Tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaklaşık 110 milyon hektar alanda etkili olmaktadır. FAO verilerine göre, tahminen 20–30 milyon hektar alan tuzluluk nedeniyle ciddi zarar görmektedir (Leyva vd., 2011). Dünya üzerinde toplam alanların % 7' si, tarım arazilerinin % 20' si sulanan arazilerin ise % 50' si tuz stresinden etkilenmektedir (Zhu, 2001; Yokoi vd., 2002; Sudhir & Murthy, 2004). Tuz stresi, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, çözünebilir tuzların yeraltı suyuna karışması ve yüksek taban suyu seviyesinin etkisiyle kapillarite yoluyla toprak yüzeyine taşınması sonucunda gelişmektedir. Buharlaşma ile birlikte suyun topraktan uzaklaşması, tuzların toprak yüzeyinde ve yüzeye yakın katmanlarda birikmesine neden olmaktadır (Ergene, 1982). Doğal süreçlerin yanı sıra, sulama uygulamalarının yaygınlaştığı tarım arazilerinde, yeraltı su seviyelerinin yükselmesi ve drenajın yetersizliği nedeniyle toprakta tuz birikimi artmakta, bu durum tuzlulukla ilgili sorunların daha da yaygınlaşmasına yol açmaktadır (Munns & Tester, 2008). Türkiye'de yaklaşık 2 milyon hektarlık ekili alanda (Yıldırım vd., 2015) ve sulanan tarım alanlarının yaklaşık %32,5'inde tuzluluk sorunu bulunduğu bildirilmektedir (Ekmekçi vd., 2005).

Bitkiler, tuza tolerans göstermeleri bakımından yüksek tuz konsantrasyonlarında yetiştirilebilen Halofitler (tuzcul bitkiler) ve tuza karşı duyarlı olan Glikofitler olarak iki gruba ayrılırlar (Taiz & Zeiger 1998).

Toprakta doğal olarak bulunan ya da sulama uygulamaları sonucunda biriken tuzlar, bitkiler üzerinde başlıca iki mekanizma aracılığıyla olumsuz etki göstermektedir (Şahin, 2009):

- a) Osmotik etki: Toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonunun artması, osmotik basıncın yükselmesine ve su potansiyelinin düşmesine neden olarak köklerin su alımını sınırlandırır. Bu durum, bitki üzerinde kuraklık stresine benzer bir etki oluşturur.
- b) Toksik etki: Toprakta biriken tuzların yüksek konsantrasyonları, özellikle halofit olmayan türlerde toksik etkiler meydana getirir. Özellikle sodyum (Na^+) iyonlarının aşırı alınması, mitoz bölünmenin engellenmesi, bazı enzimlerin inaktivasyonu gibi fizyolojik bozulmalara neden olmaktadır (Kocaçalışkan, 2004).

Bitkiler tuzlu toprak koşullarında; negatif osmotik potansiyel nedeniyle suya erişimin kısıtlanması ve yüksek konsantrasyonlarda bulunan sodyum, klorür ve karbonat iyonlarıyla doğrudan temas şeklinde iki temel stres faktörüyle karşı karşıya kalmaktadır: (Korkmaz & Durmaz, 2017).

Stres oluşturan ve aynı zamanda sulama suyunda ve toprakta biriken tuzlar; klorürler (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2), sülfatlar (Na_2SO_4 , MgSO_4), nitratlar (NaNO_3 , KNO_3), karbonat ve bikarbonatlar (Na_2CO_3 , NaHCO_3) ile boratlar yer almaktadır (Rhoades, 1992; Grattan, 1993). Bu tuzlar içinde en yaygın ve zararlı olanı, yüksek çözünürlüğe sahip olması nedeniyle sodyum klorürdür (NaCl). Bu nedenle bitkilerde görülen tuz stresinin büyük bir kısmı, özellikle sodyum (Na^+) iyonlarına bağlı olarak NaCl kaynaklı gelişmektedir.

Tuzluluk arttıkça, elektriksel iletkenlikte artar (Kadıoğlu, 2016). Toprak tuzluluğu, saturasyon ekstraktının elektriksel iletkenliği (EC) ile ifade edilmektedir. Tuz stresine duyarlı bitkilerde ürün verimindeki azalma, EC değerinin 4 mS cm^{-1} 'yi aşması durumunda belirgin hale gelir. Bu nedenle, sulama suyunun EC değeri 2 mS cm^{-1} 'nin üzerinde olmamalıdır (Kaçar vd., 2002).

Yetiştirme ortamında tuzluluk, bitki gelişimini önemli ölçüde sınırlar. Tuzluluğun bitki büyümesi üzerindeki etkileri ; fiziksel etkiler, osmotik basıncın artmasıyla su ve besin maddesi alımının yavaşlaması ya da tamamen

durması; kimyasal etkiler, bazı besin elementlerinin alımındaki bozulmalar sonucu metabolik süreçlerin aksaması; dolaylı etkiler ise, su alımını sağlamak için bitki tarafından daha fazla enerji harcanması nedeniyle verimin düşmesidir (Bayraklı, 1998). Bitkide tuzluluğun sekonder (dolaylı) etkileri, yapısal bozulmaların yanı sıra toksik bileşiklerin birikimi ile ortaya çıkar. Bu süreçte, DNA, protein, klorofil ve zar fonksiyonlarına zarar veren aktif oksijen türlerinin (AOT) sentezi artar; fotosentez inhibe olur, metabolik toksisite gelişir, potasyum (K^+) alımı engellenir ve sonuç olarak hücre ölümü meydana gelebilir (Botella vd., 2005).

Tuz stresine maruz kalan bitkiler, su kaybını azaltmak amacıyla stomalarını kapatır ve yaprak alanlarını küçülterek transpirasyonu sınırlar. Ancak yaprak yüzeyinin küçülmesi, birim alandaki karbondioksit (CO_2) fiksasyonunun da azalmasına yol açar (Karanlık, 2001). Aşırı tuz birikimi, iyon dengesizliklerine ve stomaların işlev bozukluğuna neden olarak toplam klorofil miktarının azalmasına sebep olur. Bu durum, fotosentez kapasitesinin düşmesine ve bitki gelişiminde gerilemeye yol açmaktadır (Yaşar, 2003). Farklı tuz konsantrasyonlarının, bitki türü ve çeşidine bağlı olarak büyüme ve gelişme üzerine farklı etkiler gösterdiği saptanmıştır. Örneğin, bazı bitkilerde yüksek klorür (Cl^-) konsantrasyonları meyve sululuğunu (lezzetliliği), yüksek sülfat (SO_4^{2-}) konsantrasyonları ise stomal yoğunluğu azaltmaktadır (Shannon, 1979).

Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin yeşil aksamı ve kök gelişimi üzerinde olumsuz etkilere neden olmakta; kök/gövde oranı ve su kullanım etkinliği gibi morfolojik ve fizyolojik karakterlerde gerileme gözlemlenmektedir. Ayrıca, tuza toleranslı bitki türlerinde potasyum/sodyum (K^+/Na^+) ve kalsiyum/sodyum (Ca^{2+}/Na^+) oranlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Grewal, 2010). Tuz stresi, bitkinin tüm gelişim evrelerini olumsuz yönde etkilemekle birlikte, özellikle üretken çiçek sayısında azalmaya ve çiçeklenme sürecinde bozulmalara yol açmaktadır (Munns, 2002). Yüksek tuz düzeyleri; tohum çimlenmesi, fide gelişimi, vejetatif büyüme, çiçeklenme ve meyve tutumu gibi büyüme ve gelişme süreçlerini baskılamaktadır (Arora ve ark., 2008). Yapılan birçok çalışmada, tuzluluğun verim ve verim unsurları üzerinde belirgin düzeyde olumsuz etkiler yarattığı ortaya konulmuştur (Boem vd., 1994; Houshmand vd., 2005; Ashraf, 1989).

Tuzların, topraktaki mineral besin elementleriyle olan etkileşimleri; besin dengesizlikleri ve bazı makro veya mikro element eksikliklerine neden olabilmektedir (Yıldırım vd., 2006). Bununla birlikte, tuz stresi reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini artırarak oksidatif stresi tetikler (Parida & Das, 2005) ve bu süreçte hücre zarları başta olmak üzere çeşitli hücresel yapılarda yapısal bozulmalara yol açar (Gao vd., 2008). Bitkiler, tuz stresine karşı hayatta kalmak ve adaptasyon gösterebilmek amacıyla çeşitli savunma mekanizmaları geliştirirler. Bu mekanizmalar arasında; plazma ve tonoplast zarları boyunca sodyum taşınımının düzenlenmesi, ozmotik dengenin sağlanması, ROS detoksifikasyon sistemlerinin aktive edilmesi ve iyonların vakuollerde depolanması gibi stratejiler yer almaktadır (Maggio vd., 2007; Mickelbart vd., 2015).

2.2.5. Ağır Metal Stresi

Ağır metaller, çevreyi kirleten, ekolojik dengeyi bozan ve canlının büyüme ve gelişmesini önemli ölçüde etkileyen temel etkenler arasında yer almaktadır (Ruis-Jimenez vd., 2003). Ağır metaller, yalnızca organizmalarda birikmekle ve gıda zinciri yoluyla biyolojik sistemlerde dolaşmakla kalmaz, aynı zamanda ekosistem içerisinde uzun süre boyunca tehlikeli konsantrasyonlarda varlıklarını sürdürebilirler (Çil, 2006). Metaller, bitkilerin fizyolojik süreçlerinin düzenli bir şekilde sürdürülebilmesi için belirli düzeylerde gereklidir. Ancak, bazı ağır metallerin kök bölgesinde aşırı birikimi, bitkiler üzerinde toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu toksisite, bitki büyümesi ve verimi üzerinde olumsuz sonuçlar doğurur. Özellikle kadmiyum (Cd), krom (Cr), çinko (Zn), bakır (Cu), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması bitki metabolizmasını olumsuz yönde etkilemektedir (Csed vd., 2002). Bitki dokularında kolaylıkla birikebilen ağır metaller, bitki büyümesini olumsuz yönde etkileyerek, su ve besin maddelerinin alımını önemli ölçüde kısıtlayabilmektedir (Brune vd., 1995). Ağır metaller, bitkilerde oksidatif strese yol açan ROS (Reaktif Oksijen Türleri) oluşumunu uyarak (Loureiro vd., 2006; Hu vd., 2007; Gupta vd., 2009), klorofil miktarında azalmaya, elektron taşıma zincirine müdahale ederek solunum ve fotosentez süreçleri üzerinde olumsuz etkilere neden olurlar. Ağır metal stresi, bitkilerde etilen düzeyini artırarak kök ve sürgün gelişimini yavaşlatmakta; karbondioksit (CO₂) fiksasyonunu azaltmakta ve şeker

taşınımını sınırlamaktadır. Hayati öneme sahip enzimlerin inaktivasyonu, bitkilerde enerji üretim kapasitesinin azalmasına neden olmakta ve bu durum, kaliteli ve yüksek verimli ürün elde etme olasılığını önemli ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Buchanan vd., 2000; Kaçar vd., 2002).

2.2.6. Hava Kirleticileri Stresi

Atmosfere, toprak ve suya karışarak çevresel kirliliğe yol açan fitotoksik maddelerin temel kaynağını, sanayi faaliyetleri, ulaşım araçları, tarımsal ve evsel kimyasal kullanımı ile fosil yakıtların yanması oluşturmaktadır. Kirleticilerin bitkiler üzerinde oluşturdukları gözle görülen ya da görülemeyen zararlarının derecesinde; bitkinin türü, büyüme durumu, yaşı, bitkinin genel aktivitesi, iklim koşulları, kimyasal maddelerin cins ve miktarları, kirleticinin etkinlik süresi önemli role sahiptir (Kaçar vd., 2002). Kirletici maddelerin ayrı ayrı yol açtığı zarar, aynı zamanda bitkiyi etkileyen diğer çevresel stres faktörleri tarafından modifiye edilebilir. Bunlar çoğunlukla asıl kirleticinin zararlı etkisini artırır. Bu tip streslere maruz kalan ağaçların, kuraklık ve dondan sağlıklı bitkilere göre daha fazla sıkıntı çektikleri gözlemlenmektedir (Gürel & Avcıoğlu, 2001b).

Bitkilerde fizyolojik ve morfolojik zararlara neden olan başlıca hava kirleticileri arasında; kükürt dioksit (SO_2), azot oksitler (N_2O , NO ve NO_2), ozon (O_3) ve hidrojen sülfür (H_2S) yer almaktadır. Başlangıç halindeki kirlilik zararının erken tanınması için geçerli ölçütler arasında; belirli enzimlerin azalan ya da artan aktiviteleri, metabolitler arasındaki kalitatif ve kantitatif kaymalar, stres hormonlarının özellikle de etilenin ortaya çıkması, fotosentezdeki düzensizlikler, stomaların açılıp kapanmasındaki değişimler, fotosentetik ürünlerin kök sistemlerine azalan oranda aktarımı yer alır (Larcher, 2003). Hava kirleticiler, ürünün nitelik ve niceliğini olumsuz yönde etkileyerek fotosentez oranını azaltır; ayrıca bitkilerde kloroz, yapraklarda renk değişiklikleri ve organ ile dokularda nekrotik lezyonların oluşmasına neden olmak suretiyle bitki ölümüne yol açabilirler (Kaçar vd., 2002). SO_2 , ve CO_2 açık stomlar yoluyla yaprağa kolaylıkla girebilirler. Stomalar kapalı ise SO_2 , tıpkı oksijen gibi kutikular dayanıklılığın üstesinden gelerek bu yolla da yaprağa giriş yapabilir (Larcher, 2003). Yüksek CO_2 ve SO_2 stomaların kapanmasına neden olur ve fotosentez oranı azalır. Bitki hücrelerinden SO_2 'nin çözünmesi sonucu oluşan bisülfid ve sülfid iyonları zehir etkisi gösterir.

Atmosferde NO ya da NO₃ konsantrasyonu 0.1 µL⁻¹' yi aştığı zaman fotosentez üzerine geriletici etki oluşur. Atmosferdeki kirletici gazların konsantrasyonları genelde yöreye, rüzgarın hızına ve yönüne, yağış miktarına, güneşlenme durumuna bağlı olarak değişir (Kaçar vd., 2002). Kirli havada en çok bulunan ozon, bitkilere çok zarar vermektedir (Eriş, 1995). Ozon plazma membranına bağlanır ve bekçi hücrelerine zarar vererek stomaların işlevini olumsuz şekilde etkiler. Tepkime gücünün yüksek olması nedeniyle kloroplastlara zarar verir ve ozon fazlalığında klorofil parçalanır (Kaçar vd., 2002), nekrozlar gelişir, büyüme ve verimde önemli azalmalar meydana gelir (Larcher, 2003).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkilerden maksimum verimin elde edilebilmesi, ancak onların ihtiyaç duyduğu optimum çevresel koşullar altında yetiştirilmeleriyle mümkün olmaktadır. Ancak bitkiler, doğal yaşam ortamlarında büyüme ve gelişmelerini sınırlandıran çeşitli olumsuz çevresel faktörlerle karşı karşıya kalmaktadır. Büyüme, gelişme ve metabolik faaliyetleri olumsuz yönde etkileyen ya da tamamen engelleyen bu durumlar, genel olarak "stres" olarak tanımlanmakta ve ürün miktarı ile kalitesinde azalmaya, ileri safhalarda ise bitki ölümüne neden olabilmektedir.

Bitkiler, bu stres koşullarına karşı yaşamlarını sürdürebilmek amacıyla çeşitli savunma mekanizmaları geliştirirler. Bu mekanizmalar sakınma ve tolerans olarak iki temel stratejiye dayanır. Eğer bitki, stres faktörünü henüz etkili olmadan ortadan kaldırabiliyor ya da etkisinden korunabiliyorsa bu durum "sakınma" olarak adlandırılır. Buna karşın, stres etkisi altındaki bitkinin yaşamını sürdürebilme kapasitesi ise "tolerans" olarak ifade edilir.

Stres faktörleri, kaynaklarına göre biyotik (canlı organizmalar) ve abiyotik (su, tuz, ışık, sıcaklık, hava kirleticileri, ağır metaller gibi cansız çevre unsurları) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Küresel ölçekte tarımsal üretimi sınırlayan başlıca abiyotik stres faktörleri; %26 ile kuraklık, %20 ile tuzluluk ve %15 ile soğuk/don stresidir. Buna karşılık, yeryüzündeki tarım alanlarının yalnızca %10'u herhangi bir stres faktörünün etkisi dışında kalmaktadır.

Bitkiler, maruz kaldıkları abiyotik stres faktörlerine karşı hem geri dönüşümlü hem de geri dönüşümsüz fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler geliştirerek bir hayatta kalma stratejisi oluştururlar. Son yıllarda yapılan araştırmalarda en yaygın karşılaşılan stres etmenleri arasında kuraklık,

tuzluluk, yüksek sıcaklık ve don öne çıkmaktadır. Ancak pek çok bitki türü için bu stres faktörlerinin etkileri ve bu etkilere karşı geliştirilen adaptasyon mekanizmaları halen tam olarak bilinmemektedir.

Bu bağlamda, farklı bitki türlerinin abiyotik stres faktörlerine karşı gösterdiği tepkilerin ve bu tepkilerin altında yatan moleküler, fizyolojik ve morfolojik mekanizmaların detaylı bir şekilde araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu mekanizmaların ortaya konulması, modern tarım uygulamalarında ürün verimliliği, kalite ve ekonomik değer ön planda tutularak, stresin neden olduğu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi için geliştirilecek yeni bileşikler, koruyucu uygulamalar, uygun kültürel tedbirler ve çevresel düzenlemelerin etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akyüz, H., (2017). *Yamalak sarısı' zeytin (Olea europaea L.) fidanlarında su stresi ve osmoprotektan uygulamasının fizyolojik ve morfolojik değişimler üzerine etkisinin belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Al-Khatib, K., & Paulsen, G. M. (1999). High-temperature effects on photosynthetic processes in temperate and tropical cereals. *Crop science*, 39(1), 119-125.
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Anonim, 2025a. Biotic Stress. [<https://www.slideshare.net/slideshow/bioticstress-mujahid-hussain-127/48435155>], Erişim Tarihi: 12.07.2025.
- Anonim, 2025b. Bitkilerde Stres Koşulları ve Stres Tepkileri. [<https://app.box.com/s/0duiq7ncja>], Erişim Tarihi: 13.07.2025.
- Aras, S. (2013). *Antifiriz prtoteinler ve glisin betainin çilek bitkisinde soğuğa dayanıklılık üzerine etkileri*. [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Aras, S. (2018). *Farklı Kiraz Anaçlarının ve Bu Anaçlara Aşılı 0900 Ziraat Çeşidinin Tuz Stresine Verdiği Fizyolojik ve Moleküler Tepkilerin Belirlenmesi*. [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Arnott, T., & Murphy, T. M. (1991). A comparison of the effects of a fungal elicitor and ultraviolet radiation on ion transport and hydrogen peroxide synthesis by rose cells. *Environmental and Experimental Botany*, 31(2), 209-216.
- Arora, N., Bhardwaj, R., Sharma, P., & Arora, H. K. (2008). Effects of 28-homobrassinolide on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in seedlings of Zea mays L. under salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(6), 833-839.
- Ashraf, M. (1989). The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline contents of two cultivars of blackgram (Vigna mungo L.). *Plant and soil*, 119(2), 205-210.

- Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Bakht, J., Bano, A., & Dominy, P. (2006). The role of abscisic acid and low temperature in chickpea (*Cicer arietinum*) cold tolerance. II. Effects on plasma membrane structure and function. *Journal of Experimental Botany*, 57(14), 3707-3715.
- Bayraklı, F. (1998). Toprak Kimyası. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 26, 1. Baskı, s: 214, Samsun.
- Bertamini, M. A. S. S. I. M. O., Zulini, L. U. C. A., Muthuchelian, K., & Nedunchezian, N. (2007). Low night temperature effects on photosynthetic performance on two grapevine genotypes. *Biologia Plantarum*, 51(2), 381-385.
- Blum, A., & Jordan, W. R. (1985). Breeding crop varieties for stress environments. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2(3), 199-238.
- Boem, F. G., Scheiner, J. D., & Lavado, R. S. (1994). Some effects of soil salinity on growth, development and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172(3), 182-187.
- Botella, M. A., Rosado, A., Bressan, R. A., & Hasegawa, P. M. (2005). Plant adaptive responses to salinity stress. *Plant abiotic stress*, 37-70.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Brune, A., Urbach, W., & Dietz, K. J. (1995). Differential toxicity of heavy metals is partly related to a loss of preferential extraplasmic compartmentation: a comparison of Cd-, Mo-, Ni- and Zn-stress. *New Phytologist*, 129(3), 403-409.
- Buchanan, K. L., & Buchanan, K. L. (2000). Stress and the evolution of condition-dependent signals. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(4), 156-160.
- Campbell, M.K. (1991). Biochemistry, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, Fort Worth, USA.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E. & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field crops research*, 105(1-2), 1-14.

- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30(3), 239-264.
- Cseh, E., Prasad, M. N. V., & Strzałka, K. (2002). Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants, 432.
- Çakır, A. (2011). *Bağcılıkta Abiyotik Stres Koşullarına Ynenlik Melezlemelerden Kuraklık ve Tuz Stresine Toleranslı Ümitvar Tiplerin Elde Edilmesi*. [Yüksek Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çetinkaya, C. (2013). *Bazı Çilek Çeşitlerinde Kuraklık Stresi İle Geri Kazanım Uygulamalarının Fizyolojik Etkileri*. [Yüksek Tezi, Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çerçi, S. (2012). *Kuraklık Stresinin Değişik Turunçgil Anaçlarında Bazı Fotosentetik Parametreler ve Bitki Besin Maddeleri Konsantrasyonları Üzerine Etkileri*. [Yüksek Tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çil, E. E., 2006. *UV-c ışın stresinin sera şartlarında yetiştirilen fasulye (Phaseolus vulgaris L. cv. Atlanta) üzerinde bazı morfolojik ve fizyolojik etkilerinin araştırılması*. [Yüksek Tezi, Pamukkale Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Ekinci, M., Örs, S., Turan, M., & Yıldırım, E. (2018). Nitrik oksit uygulamalarının bitkilerde abiyotik stres şartlarına toleransı arttırmadaki etkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 28(2), 254-265.
- Ekmekçi, E., Apan, M., & Kara, T. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu tarım bilimleri dergisi*, 20(3), 118-125.
- Ergene A. (1982). *Toprak bilgisi*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum. No: 267, Ders Kitapları Serisi No: 42.
- Eriş, A. (1995). *Bahçe bitkileri fizyolojisi*. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Erken, O. (2012). *Değişik Gelişme Dönemlerinde, Farklı Derecede Su Stresi Uygulamalarının Brokolide (Brassica oleracea L. var. Italica) Verim, Morfolojik ve Biyokimyasal Değişimlere Etkisi*. [Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Ertan, B. Çobanoğlu, F. Şahin, B. Ertan, E. Tutmuş, E. Özen, M. Kocataş, H. & Yazıcı, K. (2009, Kasım 17-20). *Sarılop incir çeşidinde kaolin partikül film uygulamalarının verim ve bazı kalite parametrelerine*

- etkileri [Sözlü bildiri]. 1. GAP Organik Tarım Kongresi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Eryüce, N., Gürel, A., Kaerler, H. (1998). *Farklı su stresi koşullarının bitkilerde besin alınımı üzerine etkileri*. Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri. 22-26 Haziran 1998. İzmir.
- Faaek, M. F. F. (2018). *Bazı Çilek Çeşitlerinde Kuraklık Stresinin Etkileri*. [Yüksek Tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Farooq, M., Wahid, A., & Basra, S. M. A. (2009). Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 262-269.
- Foyer, C. H. (1996). Oxygen processing in photosynthesis. *Biochemical Society Transactions*, 24(2), 427-433.
- Gao, S., Ouyang, C., Wang, S., Xu, Y., Tang, L., & Chen, F. (2008). Effects of salt stress on growth, antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L. seedlings. *Plant Soil Environ*, 54(9), 374-381.
- Grattan, S.R., 1993. How Plants Responds to Salts. Agricultural Salinity and Drainage. University of California Irrigation Program, University of California, Davis, 3-5.
- Grewal, H. S. (2010). Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agricultural Water Management*, 97(1), 148-156.
- Gupta, M., Sharma, P., Sarin, N. B., & Sinha, A. K. (2009). Differential response of arsenic stress in two varieties of *Brassica juncea* L. *Chemosphere*, 74(9), 1201-1208.
- Güler, Z. (2018). *Bazı Zeytin Çeşitlerinde Su Noksanlığı Stresinde Morfolojik, Anatmik, Fizyolojik ve Gen İfadesi Değişimlerinin Belirlenmesi*. [Bütünleşik Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Gür, İ., & Şan, B. (2017). Su Stresinin Armut Yetiştiriciliğinde Kullanılan Anaçlarda Morfolojik Değişimler Üzerine Etkileri. *Meyve Bilimi*, 4(1), 17-22.
- Gürel, A., & Avcıoğlu, R. (2001a). Bitkilerde Abiyotik Stres Faktörlerine Dayanıklılık Mekanizmaları. *Bitki Biyoteknolojisi, Genetik Mühendisliği, SÜ Vakfı Yayınları, İzmir*, 288-326.

- Gürel, A., & Avcıoğlu, R. (2001b). Bitkilerde strese dayanıklılık fizyolojisi. *Bitki Biyoteknolojisi II, Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları*, 21, 308-313.
- Göksoy, A. T., & Turan, Z. M. (1991). Kuraklığın bitki morfolojisi ve fizyolojisi üzerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8, 189-199. YÖK Tez Merkezi.
- Hale, M. G., & Orcutt, D. M. (1987). The physiology of plants under stress John Wiley & Sons. New York, 1-4.
- Hall, A. E. (1992). Breeding for heat tolerance. *Plant Breed. Rev.*, 10(2), 129-168.
- Hall, A.E. (1993). *Physiology and breeding for heat tolerance in cowpea, and comparison with other crops*. 271-284. In: Adaptation of food crops to temperature and water stress, Kuo CG (ed.), Publ. No. 93-410, Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan.
- Hall, A. E. (2000). *Crop responses to environment*. CRC press. LLC, Boca Raton, Florida.
- Hirayama, T., & Shinozaki, K. (2010). Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *The plant journal*, 61(6), 1041-1052.
- Houshmand, S., Arzani, A., Maibody, S. A. M., & Feizi, M. (2005). Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. *Field Crops Research*, 91(2-3), 345-354.
- Hozman, S. (2016). *Su Stresi ve Osmoprotektan Uygulamalarının Kestane Fidanlarında Fizyolojik ve Morfolojik Özellikler Üzerine Etkileri*. [Yüksek lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Hu, K. D., Hu, L. Y., Li, Y. H., Zhang, F. Q., & Zhang, H. (2007). Protective roles of nitric oxide on germination and antioxidant metabolism in wheat seeds under copper stress. *Plant Growth Regulation*, 53(3), 173-183.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 60(1), 110-116.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P. A. R. A. M. A. S. I. V. A. M., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. A. M. A. M. U. R. T. H. Y., &

- Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.*, 11(1), 100-105.
- Kacar, B., Katkat A. V., Öztürk, Ş. (2002). Bitki Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayın No: 198, Vipaş A.Ş. Yayın No: 74. Livane Matbaası, İstanbul, 493.
- Kadioğlu, A. (2016). Bitki Fizyolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, ISBN: 978-605-4361-66-3. Trabzon. Bölüm 19: Abiyotik Stres, 359-398.
- Karanlık, S., 2001, Değişik buğday genotiplerinde tuz stresine dayanıklılık ve dayanıklılığın fizyolojik nedenlerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana. YÖK Tez Merkezi.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., 2005. The effects on drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi Uni. J. Sci.* 18: 723-740.
- Kargıcak, M. A. (2025). *Sarılop incir çeşidinde yüksek sıcaklık ve kuraklık stresi ile bazı uygulamaların fizyolojik ve morfolojik özellikler üzerine etkisi*. [Doktora tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Kessler, B. (1961). Nucleic acids as factors in drought resistance of higher plants. *Recent Advan. Bot.*, 2, 1153-1159.
- Kırnak, H., & Demirtaş, M. N. (2002). Su stresi altındaki kiraz fidanlarında fizyolojik ve morfolojik değişimlerin belirlenmesi. *Research in Agricultural Sciences*, 33(3).
- Kijne, J. W. (2006). Abiotic stress and water scarcity: identifying and resolving conflicts from plant level to global level. *Field Crops Research*, 97(1), 3-18.
- Kocaçalışkan, İ. (2004). *Bitki Fizyolojisi*. DPÜ Fen-Edebiyat Fak. Biyoloji Bölümü, Kütahya, 280-399.
- Korkmaz, H., & Durmaz, A. (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı geliştirilen cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 192-207.
- Kratsch, H. A., & Wise, R. R. (2000). The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell & Environment*, 23(4), 337-350.

- Küçük, S. (2013). *Yapraktan Glisin Betain ve Prolin Uygulamasının Tuz Stresi Altındaki Zeytin Bitkisine Etkilerinin İncelenmesi*. [Yüksek lisans tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media.
- Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J. J., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., Ruiz, J. M., & Blasco, B. (2011). Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, 181(2), 195-202.
- Levit, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. *Vol. II. Academic Press. New York*.
- Lewitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press, New York*, 2, 607.
- Loureiro, S., Santos, C., Pinto, G., Costa, A., Monteiro, M., Nogueira, A. J., & Soares, A. M. (2006). Toxicity assessment of two soils from Jales mine (Portugal) using plants: Growth and biochemical parameters. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(2), 182-190.
- Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2007). Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental botany*, 59(3), 276-282.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158.
- McKersie, B. D., & Lesheim, Y. (2013). *Stress and stress coping in cultivated plants*. Springer Science & Business Media.
- Mickelbart, M. V., Hasegawa, P. M., & Bailey-Serres, J. (2015). Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. *Nature Reviews Genetics*, 16(4), 237-251.
- Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current science*, 758-763.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651-681.
- Orcutt, D. M., & Nilsen, E. T. (2000). *Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors* (Vol. 2). John Wiley & Sons.

- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, 5, 86.
- Örs, S., & Ekinci, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237-250.
- Özataş, D. (2017). *Tuz Stresinin Farklı Anaçlar Üzerine Aşılı Golden Delicious Elma Çeşidine Etkilerinin Belirlenmesi*. [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Özer, H., Karadoğan, T., & Oral, E. (2013). Bitkilerde Su Stresi ve Dayanıklılık Mekanizması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(3).
- Öztürk, M. A. & Seçmen, Ö. (1992). *Bitki Ekolojisi*. Ege Üniversitesi Basımevi, s: 180, İzmir.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Parlak, M. (2014). *Ayvalık Zeytin Fidanlarında Su Stresine Bağlı Olarak Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) 'nin Değişimi ve CWSI İle Stoma İletkenliği Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Pinhero, R. G., & Paliyath, G. (2001). Antioxidant and calmodulin-inhibitory activities of phenolic components in fruit wines and its biotechnological implications. *Food Biotechnology*, 15(3), 179-192.
- Plaut, Z. (1995). Photosynthesis in plant/crops under water and salt stress. *Handbook of plant and crop physiology*, Marcel Dekker, 587-603.
- Pouyafard, N. (2013). *Kıyı Ege Koşullarında Yetiştirilen Ayvalık Zeytin Fidanlarında Su Stresine Bağlı Bazı Fizyolojik ve Morfolojik Değişimlerin Belirlenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., & Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, cell & environment*, 29(12), 2143-2152.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Jutur, P. P., & Sumithra, K. (2004). Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Environmental and experimental botany*, 52(1), 33-42.
- Rhoades, J. D. (1992, February). Recent advances in the methodology for measuring and mapping soil salinity. In *Proc. Intl. Symp. Strategies for*

- Utilizing Salt-Affected Lands, ISSS Meet, Bangkok, Thailand* (Vol. 1725).
- Rivero, R. M., Sánchez, E., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2003). Influence of temperature on biomass, iron metabolism and some related bioindicators in tomato and watermelon plants. *Journal of Plant Physiology*, 160(9), 1065-1071.
- Ruiz-Jiménez, J., Luque-García, J. L., & de Castro, M. L. (2003). Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 480(2), 231-237.
- Rymen, B., Fiorani, F., Kartal, F., Vandepoele, K., Inzé, D., & Beemster, G. T. (2007). Cold nights impair leaf growth and cell cycle progression in maize through transcriptional changes of cell cycle genes. *Plant physiology*, 143(3), 1429-1438.
- Sam, O., Núñez, M., Ruiz-Sánchez, M. C., Dell'Amico, J., Falcón, V., De La Rosa, M. C., & Seoane, J. (2001). Effect of a brassinosteroid analogue and high temperature stress on leaf ultrastructure of *Lycopersicon esculentum*. *Biologia Plantarum*, 44(2), 213-218.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*, Wadsworth Pub. Co., Inc., Belmont, California-USA.
- Saltveit, M.E. & Morris, L.L. 1990. *Overview of chilling injury in horticultural crops*. Chilling Injury of Horticultural Crops, Eds: C.Y. Wang, CRC Press, Boca Raton, pp.3-15, Florida.
- Sarwar, M. B., Sadique, S., Hassan, S., Riaz, S., Rashid, B., Mohamed, B. B., & Husnain, T. (2017). Physio-biochemical and molecular responses in transgenic cotton under drought stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 23(2), 157-166.
- Setter, T.L., Waters, I., Wallace, I., Bhekasut, P. & Harms, T. F. (1989). Aust. *J. Plant Physiology*. 16: 251-255.
- Sgherri, C. L., Pinzino, C., & Navari-Izzo, F. (1996). Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: Changes in O_2 production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiologia Plantarum*, 96(3), 446-452.
- Shannon, M. C. (1979). In Quest of Rapid Screening Techniques for Plant Salt Tolerance. *HortScience*, 14(5), 587-589.

- Sivritepe, N. 1995. *Asmalarda tuza dayanıklılık testleri ve tuza dayanımında etkili bazı faktörler üzerine araştırmalar*. [Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Street, H.E. & Opik, H. (1984). *The Physiology of Flowering Plants: Their Growth and Development*, Third Edition, Baltimore.
- Steponkus, P. L. (1984). Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annu. Rev. Plant Physiol. (United States)*, 35, 543-586.
- Sudhir, P., & Murthy, S. D. S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42(4), 481-486.
- Suzuki, N., & Mittler, R. (2006). Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia plantarum*, 126(1), 45-51.
- Şahin, Ö. (2009). *Farklı Asma Anaçları Üzerine Aşılı Sultani Çekirdeksiz (Vitis vinifera L.) Üzüm Çeşidinin Bor ve Tuz Stresine Tolerans Mekanizmalarının Stresle İlgili Fizyolojik Parametreler ve Antioksidan Enzimlerle Belirlenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Şahin, U. (2018). *Bazı Ceviz Anaçlarının Tuz Stresine Tolerans Düzeylerinin Karşılaştırılması*. [Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2008). Bitki Fizyolojisi-Üçüncü Baskıdan çeviri. *Palme yayıncılık*, ISBN: 978-9944-341-61-5. Bölüm 25, Stres Fizyolojisi, 591.
- Terzi, R. A. A. K., & Kadioglu, A. (2006). Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 48, 89-96.
- Thomashow, M. F. (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual review of plant biology*, 50(1), 571-599.
- Turan, Ö., & Ekmekçi, Y. (2008). Soğuk Stresinin Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tolerans Mekanizmaları. *Anadolu University Journal of Sciences & Technology*, 9(2), 177-198.
- Türkan, S. (1997). *Asmalarda su stresi, mineral madde alımı ve bunlar arasındaki ilişkiler*. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Semineri, Ankara.

- Uemura, M., Tominaga, Y., Nakagawara, C., Shigematsu, S., Minami, A., & Kawamura, Y. (2006). Responses of the plasma membrane to low temperatures. *Physiologia Plantarum*, 126(1), 81-89.
- Üzal, Ö. (2009). Tuz stresi altında yetiştirilen bazı çilek çeşitlerinde jasmonik asitin bitki gelişimi ve antioksidant enzim aktiviteleri üzerine etkisi. [Doktora tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Wang, W. X., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2000, July). Biotechnology of plant osmotic stress tolerance physiological and molecular considerations. In *IV International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding 560* (pp. 285-292).
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in plant science*, 9(5), 244-252.
- Wang, X., Li, W., Li, M., & Welti, R. (2006). Profiling lipid changes in plant response to low temperatures. *Physiologia Plantarum*, 126(1), 90-96.
- Yaşar, F. (2003). *Tuz stresi altındaki patlıcan genotiplerinde bazı antioksidant enzim aktivitelerinin in vitro ve in vivo olarak incelenmesi*. [Doktora tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Yaşartürk, Z.E., 2016. *Sarılop incir çeşidinde bazı uygulamaların meyve kalitesi üzerine etkileri*. [Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Dal, B., & Baktır, İ. (2016). Meyve Yetiştiriciliğinde Don ve Soğuk Zararının Etki Mekanizmaları. *Derim*, 18(4), 169-179.
- Yildirim, E., Taylor, A. G., & Spittler, T. D. (2006). Ameliorative effects of biological treatments on growth of squash plants under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 111(1), 1-6.
- Yildirim, E., Ekin, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R., & Parlakova, F. (2015). Roles of glycine betaine in mitigating deleterious effect of salt stress on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(12), 1673-1689.
- Yokoi, S., Bressan, R. A., & Hasegawa, P. M. (2002). Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS working report*, 23(1), 25-33.

Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in plant science*, 6(2), 66-71.

BÖLÜM 25

KARPUZ (*Citrullus lanatus*) YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KURAKLIK STRESİNİN ETKİLERİ: MEKANİZMALAR, ÇEŞİT FARKLILIKLARI VE YÖNETİM STRATEJİLERİ

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780302>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksekokulu, Van, Türkiye. Orcid id: 0000-0002-2814-2110, ranabaytin@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Bitkisel üretim, günümüzde tek veya birden fazla çevresel faktörün (stres) etkisi altında büyüme yavaşlaması ve verim düşüşleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu çevresel faktörler, hastalık yapıcılar ve zararlılar gibi biyotik kökenli olabileceği gibi; tuzluluk, kuraklık, düşük/yüksek sıcaklık, besin elementi eksikliği/fazlalığı, kimyasal toksisite ve oksidatif stres gibi abiyotik kökenli de olabilmektedir (Yaşar, 2003). Özellikle abiyotik stres faktörleri, dünya genelinde tarımsal üretimi olumsuz etkileyen ve %50'den fazla ürün kaybına neden olan ciddi tehditler arasında yer almaktadır (Wang vd., 2003). Bu faktörler içerisinde kuraklık, küresel tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır ve dünya genelindeki tarımsal üretimin %71'i abiyotik streslerden kaynaklanmaktadır (Boyer, 1982; Fahad vd., 2017).

Kuraklık, farklı açılardan tanımlanabilen karmaşık bir olgudur. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere başlıca üç tipi bulunmaktadır (Wilhite ve Wood, 1987; MGM, 2023). Tarımsal kuraklık, bitkilerin büyüme döneminde kök bölgelerindeki su miktarının yetersiz kalmasıyla doğrudan ilişkili olup, bitki gelişimi ve verimini olumsuz etkilemektedir (Yaşar ve Uzal, 2021). Son yıllarda yapılan kapsamlı çalışmalar, kuraklığın bitkiler üzerindeki etkilerini, fizyolojik reaksiyonlarını ve adaptasyon mekanizmalarını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur (Yaşar ve Uzal, 2021). Türkiye de dahil olmak üzere geniş coğrafyalarda kuraklık önemli bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Kapluhan, 2013). Küresel ısınmanın etkileriyle birlikte Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin kuraklıktan daha fazla etkileneceği tahmin edilmektedir (MGM, 2024). Kuraklığın şiddeti, sadece yağış miktarına bağlı kalmayıp, toprak özellikleri, çeşit, sıcaklık ve bulutluluk gibi çeşitli faktörler tarafından da belirlenmektedir (Reitz, 1975). Küresel bir ekolojik sorun haline gelen su kıtlığı, tarımsal üretimi kısıtlayan önemli bir etken haline gelmiştir (Schachtman ve Shin, 2007).

Karpuz (*Citrullus lanatus*), Cucurbitaceae familyasına ait önemli bir sebze türü olup, özellikle meyve gelişim aşamasında yüksek oranda su tüketmektedir. Bu yüksek su ihtiyacı nedeniyle kuraklık, son yıllarda karpuzun büyümesi ve verimi üzerinde belirgin bir abiyotik stres faktörü haline gelmiştir (Mo vd., 2016; Hamurcu vd., 2020). Karpuzun kuraklık stresine adaptasyon stratejileri arasında sitrülün birikimi, kök uzaması, fotosentetik protein modifikasyonu ve proteom/transkriptomdaki değişiklikler bulunmaktadır

(Yoshimura vd., 2008; Wang vd., 2014). Ancak, karpuzun kuraklık stresine uyumundaki fizyolojik ve moleküler mekanizmalar hala tam olarak anlaşılamamıştır. Bu derleme, karpuz bitkisinin kuraklık stresine verdiği tepkileri, biyokimyasal mekanizmaları ve potansiyel yönetim stratejilerini incelemeyi amaçlamaktadır.



Şekil 1: Karpuz türleri ²

1. KURAKLIK STRESİ ALTINDA BİTKİLERDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER

Kuraklık, bitkisel üretimi olumsuz etkileyen temel çevresel stres faktörlerinden biridir ve bitkilerin normal ürün potansiyeline ulaşmasını engellemektedir (Anjum vd., 2011). Fizyolojik açıdan kuraklık, bitki için mevcut toprak suyunun yetersiz olduğu ve metabolizma üzerinde olumsuz etkilerin gözlemlendiği bir su eksikliği durumu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2; Boyer, 1982). Kuraklığın bitki üzerindeki etkisi, stresin şiddeti, oranı ve süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Farooq vd., 2009).

² <https://www.karpuz.gen.tr/karpuz-cesitleri.html>



Şekil 2: Kuraklığın karpuz plantasyonlarına verdiği zarar ³

1.1. Morfolojik Değişimler

Kuraklık stresi, karpuz da dahil olmak üzere bitkilerin tüm gelişim evrelerini etkileyen kapsamlı morfolojik değişikliklere yol açar. Su stresinin başlangıç aşamalarında bitkiler, suya erişimi artırmak amacıyla toprak üstü aksamalarının büyümesini yavaşlatırken, kök gelişimini hızlandırma eğilimindedir (Wu ve Cosgrove, 2000). Ancak, stresin uzun süreli ve şiddetli olması durumunda, gövde ve kök gelişimi tamamen durabilmektedir (Zhang vd., 2011). Bitki, su kaybını engellemek için yaprak sayısı ve yaprak alanını azaltma gibi mekanizmalar geliştirir, hatta ciddi durumlarda yaprak dökülmeleri de gözlemlenebilir. Bu durum, fotosentez oranındaki düşüşle doğrudan ilişkilidir (Farooq vd., 2009).

Bitki Boyu ve Gelişimi: Kuraklık, bitki boyunda önemli azalmalarla sonuçlanır. Bu azalma, hücre büyümesindeki gerileme ve yaprak yaşlanmasının hızlanmasıyla açıklanmaktadır (Yüksel ve Aksoy, 2017). Zambak (Li vd., 2020), mısır (Anjum vd., 2017) ve pirinç (Patmi vd., 2020) gibi bitkilerde de kuraklık altında bitki boyunun azaldığı rapor edilmiştir. Karpuz bitkisinde yapılan bir çalışmada, %15 PEG 6000 uygulamasının hem toleranslı hem de duyarlı genotiplerde büyümeyi ve gelişmeyi azalttığı bildirilmiştir (Mo vd., 2016).

³ https://www.yeniasya.com.tr/ekonomi/diyarbakir-da-kuraklik-musibeti-500-ton-karpuz-kurudu_442855

- ✚ **Kök Gelişimi:** Kuraklık şartlarında bitkilerin kök:sürgün oranı artış gösterir, çünkü kökler düşük su potansiyeline karşı sürgünlere göre daha az hassastır (Rellán-Álvarez vd., 2016; Kim vd., 2020). Buğdayda ise kök uzunluğunda artışlar gözlemlendiği belirtilmiştir (Çobanoğlu, 2022).
- ✚ **Yaprak Alanı ve Su İçeriği:** Su kısıtlılığı, yaprak sayısını, yaprak alanını ve yaprak ömrünü azaltır, bu da fotosentezde düşüşe yol açar (Chaves, 1991; Farooq vd., 2009). Kuraklık ayrıca yaprak dokularındaki su içeriğinin azalmasına neden olur (Lazcano-Ferrat ve Lovatt, 1999).
- ✚ **Taze ve Kuru Ağırlık:** Kuraklık stresinin yaygın olumsuz etkilerinden biri, bitkilerin taze ve kuru toplam ağırlıklarında gözlenen azalmadır (Anjum vd., 2011). Fasulye bitkisinde yapılan bir çalışmada, yaş ve kuru ağırlıkların kuraklık stresinden olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir (Rosales vd., 2005).

1.2. Fizyolojik Değişimler

Kuraklık stresi, bitkide su içeriği azalmasına, turgor kaybına, stomaların kapanmasına ve hücre büyümesi ile genişlemesinde gerilemeye neden olur (Taiz ve Zeiger, 2010). Bitkilerde terleme, buharlaşma, fotosentez, iyon salınımı, karbonhidrat ve besin metabolizması gibi çeşitli fizyolojik aşamalar kuraklıktan olumsuz etkilenir (Anjum vd., 2011).

- ✚ **Fotosentez ve Klorofil:** Kuraklık, CO₂ alımını azaltan stoma kapanmasına yol açarak net fotosentez oranını (P_n) düşürür (Cornic, 2000). Fotosentetik pigmentlerdeki değişiklikler, kuraklık toleransı açısından hayati öneme sahiptir (Kyparissis vd., 1995). Kuraklık stresi altında klorofil içeriğinde yaygın olarak azalma gözlemlenirken, bazı türlerde değişmediği veya arttığı da rapor edilmiştir (Farooq vd., 2009; Pirzad vd., 2011). Karpuz bitkisinde kuraklık stresinin fotosentezi engellediği belirtilmiştir (Hamurcu vd., 2020; Mo vd., 2016). Domateste aşılamanın klorofil ve karotenoid miktarını artırdığı bulunmuştur (Altunlu, 2011).

✚ **Su İlişkileri ve Stoma Kapanması:** Bitki su ilişkileri bozulur ve su kullanım verimliliği düşer (Flexas vd., 2004). Stomaların kademeli olarak kapanması, net fotosentez oranında düşmeye ve su kullanım verimliliğinde azalmaya neden olur (Salisbury ve Marinos, 1985; Sanchez vd., 2010). Domateste (Altunlu, 2011) ve fasulyede (Caşka Kılıçaslan vd., 2020) stoma iletkenliğinin kuraklık altında değiştiği bildirilmiştir.

✚ **Mineral Besin Alımı:** Sınırlı su temini, toprak-su potansiyelindeki düşüşle besin maddelerinin difüzyon hızını yavaşlatarak kökler tarafından besin alımını azaltır (Schachtman ve Shin, 2007). Bu durum, iyon homeostazını bozarak bitki dokularındaki mineral besin konsantrasyonlarının azalmasına neden olur (Fageria vd., 2002). Özellikle K^+ , Ca^{+2} ve Na^+ iyonlarının alımı ve dağılımı kuraklıktan etkilenmektedir (Li vd., 2017; Kaya ve Tuna, 2010).

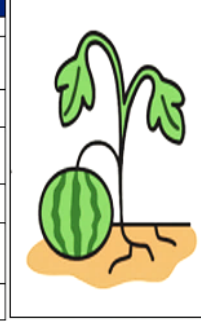
1.3. Biyokimyasal Değişimler ve Savunma Mekanizmaları

Kuraklık stresi, bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif strese yol açar (Apel ve Hirt, 2004). ROS, membran lipitleri, nükleik asitler, proteinler ve klorofiller gibi makromoleküllere zarar vererek hücrel hasara neden olabilmektedir (Şekil 3; Smirnoff, 1993).

- **Oksidatif Stres ve Malondialdehit (MDA):** Aşırı ROS üretimi, lipit peroksidasyonunu ve malondialdehit (MDA) içeriğini artırır (Moller vd., 2007). MDA içeriği, oksidatif hasarın bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sharma ve Dubey, 2005; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Fasulye (Rosales vd., 2005), mısır (Sharma ve Dubey, 2005) ve soyada (Jamei vd., 2009; Kayabaşı, 2011) MDA aktivitesinde artışlar bildirilmiştir. Karpuz bitkisinde de kuraklık stresinin MDA birikimine neden olduğu ve bunun enzim aktivitelerindeki değişikliklerle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Hamurcu vd., 2020;

Mo vd., 2016).

Bölüm	Alt Başlık / Bileşen	Açıklama / Etki
1. Oksidatif Stres 	Reaktif Oksijen Türleri (ROS)	Kuraklıkla artar, hücre yapısına zarar verir
	Malondialdehit (MDA)	Lipit peroksidasyon göstergesi; oksidatif hasarın ölçütü
2. Antioksidan Savunma 	Enzimatik	SOD, CAT, POD, APX – ROS'u zararsız hâle getirir
	Enzimatik Olmayan	Glutasyon, askorbat, karotenoidler – zararsızlaştırıcı moleküller
3. Karpuzda Enzimatik Tepkiler 	Genotip Farklılıkları	M20 genotipinde SOD, CAT, APX aktiviteleri daha yüksek
	Tuz ve Kuraklıkla Tepki	Aşılı bitkilerde stres daha az, enzim aktiviteleri ve su içeriği daha yüksektir
4. Türler Arası Farklılıklar	Örnek Bitkiler: Fasulye, mısır, soya, nohut	Her birinde strese ilişkili farklı antioksidan enzim tepkileri bildirilmiştir



Şekil 3: Karpuz ve diğer bitkilerde oksidatif stres ve antioksidan yanıtlar

✚ **Antioksidan Savunma Sistemi:** Bitkiler, ROS'un zararlarını önlemek için karmaşık bir enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemi geliştirirler (Alscher vd., 2002).

✓ **Enzimatik Antioksidanlar:** Süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi enzimler, ROS'u temizleyerek zararlı etkilerini azaltır. Bu enzimlerin aktivitesi, bitkilerin kuraklığa karşı direnci ile ilişkilidir (Türkan vd., 2005; Daşgan vd., 2006).

✓ **Enzimatik Olmayan Antioksidanlar:** Glutasyon, askorbat ve karotenoidler gibi düşük moleküler kütleli antioksidanlar, fotosentetik membranların bütünlüğünü korur (Farooq vd., 2009).

✚ **Karpuzda Enzimatik Tepkiler:** Karpuzda kuraklık stresinin enzim aktivitelerinde değişikliklere yol açtığı belirtilmiştir (Hamurcu vd., 2020). Yabani (M20) ve kültür (Y34) karpuz genotipleri üzerinde yapılan bir çalışmada, kuraklık süresince antioksidan enzim aktivitelerinin önemli ölçüde değiştiği saptanmıştır. SOD etkinliği her iki genotipte de artmış ve 8. günde maksimuma ulaşmıştır. CAT aktivitesi M20'de Y34'ten daha yüksek çıkmıştır. APX aktivitesi M20'de hızla artarken, Y34'te daha gecikmeli ve kademeli olmuştur. Yabani karpuz M20'nin Y34'e göre daha az yaprak hasarı gösterdiği de belirtilmiştir (Mo vd., 2016). Tuz stresi altında karpuz bitkisinin yapraklarındaki antioksidatif enzim aktiviteleri incelendiğinde, tuza toleranslı çeşitlerde SOD, CAT, APX ve GR gibi enzim

aktivitelerinin hassas çeşitlere göre daha yüksek performans gösterdiği, özellikle Diyarbakır mahalli çeşidinin APX enzim aktivitesi açısından öne çıktığı sonucuna varılmıştır (Yaşar vd., 2008). Bu durum, karpuzun stres koşullarında antioksidatif sistemini etkin kullandığını göstermektedir. Aşılı veya aşısız olarak tuzluluk stresine maruz bırakılan karpuz bitkileri üzerinde yapılan bir çalışmada, aşılı bitkilerin büyümesinin daha az azaldığı, yaprak su içeriği ve spesifik yaprak alanının arttığı belirtilmiştir. Aşılı bitkilerde tuzluluk SOD aktivitesini artırmış ve yaprak Na⁺ konsantrasyonu daha az birikmiştir. Strong Tosa anacının tuz stresine daha iyi dayanma kapasitesine sahip olduğu, çünkü SOD aktivitesini indükleyebildiği ve Na⁺ dışlama yeteneğinin daha etkili olduğu bildirilmiştir (Goreta vd., 2008). Fasulye bitkisinde POD, CAT ve SOD aktivitelerinin %80 sulama seviyesinde arttığı, %60 sulama düzeyinde ise azaldığı rapor edilmiştir (Caşka Kılıçaslan vd., 2020). Nohut çeşitlerinde SOD'un azaldığı, CAT ve APX'in ise kuraklık stresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Güneri Bağcı, 2010; Özpay, 2008).

2. Kuraklık Stresi ve Hormonlar (Karpuz Bitkisinin Epigenetik Mekanizması)

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi, fitohormonlar olarak bilinen endojen haberci moleküllerin kontrolündedir (Skirycz vd., 2010; Öktüren ve Sönmez, 2005). Kuraklık gibi abiyotik stres koşullarında bitkiler, bu hormonların sinyal ağlarını kullanarak uyum mekanizmaları geliştirirler (Verma vd., 2016). Bu adaptasyon mekanizmalarının genetik temelleri ve epigenetik düzenlemeler, bitkinin strese verdiği tepkileri şekillendirmektedir. Epigenetik mekanizmalar, DNA dizisinde bir değişiklik olmaksızın gen ifadesini etkileyen süreçler olup, çevresel streslere yanıt olarak bitkinin genetik yapısının nasıl “ayarlandığını” belirleyebilir (örneğin DNA metilasyonu, histon modifikasyonları) (Hirayama ve Shinozaki, 2010).

🌱 **Absisik Asit (ABA):** Kuraklık stresi altında bitki büyümesini ve savunmasını düzenlemede kritik bir rol oynar ve bir stres hormonu olarak kabul edilir (Nakashima ve Yamaguchi-Shinozaki, 2013). ABA seviyelerindeki artış, stomaların

kapanmasıyla terlemenin azalmasına yol açar (Loveys vd., 1974). Ayrıca, ABA klorofil sentezini, kloroplastlardaki fonksiyonel ve yapısal değişiklikleri ve fotosentez ürünlerinin dağıtım mekanizmalarını etkileyerek fotosentez mekanizmasının düzenlenmesinde rol oynar (Dolferus, 2014; Guerrero ve Mullet, 1986). ABA birikimi, gen ifadesinde değişikliklere ve metabolizmanın yeniden yapılandırılmasına neden olur (Guerrero ve Mullet, 1986).

- ✚ **Oksinler (IAA):** Bitki gelişimini düzenlemenin yanı sıra, kuraklık ve tuzluluk toleransının önemli bir yönü olan kök gelişimini ve oluşumunu düzenlemede etilen ile etkileşime girer (Im Kim vd., 2013; Shi vd., 2014).
- ✚ **Sitokininler (CK):** Köklerde üretilen sitokininler, besin eksikliğine karşı verilen tepkilerde yer alır ve kuraklığa karşı bitkinin tepkilerinde önemli olabilir (Veselov vd., 2017). Bazı bulgular, sitokininlerin fotosistem II (PSII) hasar onarım sürecine doğrudan katıldığını göstermektedir (Yavaş ve İlker, 2020). Ayrıca, sitokinin yıkımını artıran genlerin aşırı ifadesi veya sitokinin dehidrogenaz geninin aşırı ifadesi kök sisteminin büyüklüğünü artırarak kuraklık toleransını geliştirebilir (Ramireddy vd., 2018; Pospíšilová vd., 2016; Li vd., 2021).
- ✚ **Giberellinler (GA):** Strese yanıt olarak bitki büyümesini ve gelişimini düzenlemek için diğer hormonlarla etkileşime girer (Kohli vd., 2013). GA ve ABA, tohum dinlenmesi ve çimlenmesi arasındaki dengeyi düzenler (Li vd., 2012).
- ✚ **Etilen (ET) ve Jasmonatlar (JA):** Stres faktörleri tarafından üretimi artırılır (Jacksons, 1985; Bari ve Jones, 2009). Patojenlere ve abiyotik streslere karşı bitki savunmasında önemli rol oynarlar (Verma vd., 2016).
- ✚ **Karpuz Bitkisinin Yaşam Dinamikleri ve Hormonal Sistemi Üzerindeki Etkiler:** Karpuz bitkisinin kuraklık stresine verdiği tepkilerde, hormonal düzenlemeler merkezi bir rol oynamaktadır. Su kıtlığının kökler tarafından algılanmasıyla başlayan sinyal iletimi, ABA, sitokininler, etilen ve malat gibi faktörler aracılığıyla sürgüne

iletilir (Iqbal vd., 2022). Bu sinyaller, stomaların kapanması gibi hızlı adaptasyon tepkilerini tetikler (Loveys vd., 1974). Fotosentez oranındaki düşüşler, bitkinin kaynakları koruma stratejisinin bir parçası olarak büyümenin yavaşlamasıyla ilişkilidir (Cornic, 2000). Karpuzun kuraklık stresine adaptasyonunda sitrülün birikimi ve kök uzaması gibi stratejilerde hormonal dengelerin rolü büyüktür (Yoshimura vd., 2008; Wang vd., 2014). Yabani karpuz genotipi M20'nin kuraklık sonrası yeniden sulamada daha az yaprak hasarı göstermesi, bu genotipin hormonal ve antioksidan sistemlerinin strese daha etkin yanıt verdiğini düşündürmektedir (Mo vd., 2016).

✚ **Araştırmacı Raporları ve Epigenetik Mekanizmalar:** Karpuz bitkisinin epigenetik mekanizması üzerine spesifik bir çalışma metinlerde doğrudan belirtilmese de, bitkilerin abiyotik streslere verdiği tepkilerin karmaşıklığı, moleküler düzeydeki gen ifadesi değişiklikleri ve adaptasyon yetenekleri epigenetik düzenlemelerle yakından ilişkilidir (Hirayama ve Shinozaki, 2010). Hormon seviyelerindeki değişimler (özellikle ABA), gen ifadesinin uyarılmasına ve uyumlu çözünenlerin veya koruyucu proteinlerin birikimine yol açar (Nakashima ve Yamaguchi-Shinozaki, 2013). Bu tür genetik ve genetik olmayan değişiklikler, bitkinin stres toleransını artıran epigenetik adaptasyon mekanizmalarına işaret edebilir. Gelecekteki araştırmalar, karpuzda kuraklık toleransı ile ilişkili spesifik epigenetik işaretlerin (örn. DNA metilasyonu, histon modifikasyonları) belirlenmesine odaklanabilir.

3. Kuraklık Stresi ve Ürün Verimi Üzerindeki Etkileri

Kuraklık stresi, karpuzun yaşam döngüsünün özellikle meyve gelişimi gibi kritik evrelerinde yüksek su tüketimi nedeniyle verim üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahiptir (Mo vd., 2016; Rashidi ve Gholami, 2008).

✚ **Verim Kaybı:** Bitkilerin büyüme döneminde yaşadıkları kuraklık, gelişimlerinde ve özellikle verimlerinde önemli kayıplara neden olabilmektedir (Kumar vd., 2018). Karpuzda kuraklık stresinin bitki büyümesini ve gelişmesini azaltarak verimi olumsuz etkilediği rapor edilmiştir (Rashidi ve Gholami, 2008; Zhang vd., 2011).

✚ **Verim Bileşenleri:** Bitkilerin verim ve verim bileşenlerinde kuraklığa bağlı azalma, stomaların kapanmasıyla CO₂ alımının ve dolayısıyla fotosentez oranının düşmesine bağlanabilir (Rucker vd., 1995; Cornic, 2000).

Tablo 1: Kuraklık stresi altında gözlemlenen biyokimyasal parametre değişimleri ve araştırmacı raporları

Parametre	Çeşit/Genotip (Varsa)	Değişim Yönü (Artış/Azalış)	Gözlem (Varsa Oranlar/Açıklama) Araştırmacı (Yıl)
MDA Birikimi	Genel (Karpuz)	Artış	Oksidatif hasar göstergesi Hamurcu vd. (2020)
	M20 (Yabani), Y34 (Kültür)	Artış	- Mo vd. (2016)
SOD Aktivitesi	M20, Y34	Artış	Her iki genotipte de istikrarlı artış, 8. günde maksimum seviye Mo vd. (2016)
	Tuz toleranslı karpuz çeşitleri (Diyarbakır mahalli dahil)	Artış (Yüksek performans)	Diyarbakır mahalli çeşidi APX'te öne çıktı Yaşar vd. (2008)
	Aşılı karpuz (Strong Tosa anacı)	Artış	Na ⁺ dışlama yeteneği Goreta vd. (2008)
CAT Aktivitesi	M20, Y34	M20'de Y34'ten daha fazla artış	- Mo vd. (2016)
	Tuz toleranslı karpuz çeşitleri	Artış (Yüksek performans)	- Yaşar vd. (2008)
APX Aktivitesi	M20, Y34	M20'de hızlı artış, Y34'te gecikmeli ve kademeli	- Mo vd. (2016)
	Tuz toleranslı karpuz çeşitleri (Diyarbakır)	Artış (Diyarbakır mahalli çeşidi öne çıktı)	- Yaşar vd. (2008)
GR Aktivitesi	Tuz toleranslı karpuz çeşitleri	Artış (Yüksek performans)	- Yaşar vd. (2008)
Fotosentez Oranı	Genel (Karpuz)	Azalış	Solgunluk ve yaprak sararmasına bağlı Mo vd. (2016); Hamurcu vd. (2020)
Klorofil Miktarı	Genel (Karpuz)	Azalış	Pigment foto-oksidasyonu ve klorofil bozulması Farooq vd. (2009); Pirzad vd. (2011)
Yaprak Hasarı	Yabani karpuz M20 vs. Y34	Yabani M20'de daha az	Kuraklık stresi sırasında ve sonrasında Mo vd. (2016)

✚ **Meyve Kalitesi:** Kavun yetiştiriciliğinde tuzluluğun (benzer bir abiyotik stres) verim ve meyve kalitesini etkilediği, ancak maruz kalma süresine bağlı olarak inhibisyon etkisinin azaldığı belirtilmiştir (Del Amor vd., 1999). Bu durum, karpuzda da stresin şiddeti ve süresinin verim ve kalite üzerindeki etkilerini belirlemede önemli olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 1’de karpuz bitkisinin kuraklık stresine karşı geliştirdiği biyokimyasal savunma mekanizmalarının genotipik farklılık gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle yabancı genotipler ve bazı yerel çeşitler (örn. Diyarbakır mahallı), antioksidan enzim aktivitelerini daha etkin bir şekilde artırarak oksidatif stresi tolere etme kapasiteleri açısından öne çıkmaktadır (Mo vd., 2016; Yaşar vd., 2008). MDA birikimi, stresin şiddetini gösterirken, SOD, CAT, APX ve GR gibi enzimlerin artışı bitkinin bu strese karşı aktif bir savunma geliştirdiğine işaret eder (Hamurcu vd., 2020; Mo vd., 2016). Fotosentez oranındaki düşüş ise doğrudan verim kaybına yol açan temel fizyolojik tepkilerden biridir (Mo vd., 2016; Hamurcu vd., 2020).

4. Kuraklık Toleransını Geliştirmeye Yönelik Dışsal Uygulamalar ve Sonuçları

Kuraklık stresinin zararlı etkilerini en aza indirmek ve bitki üretimini sürdürmek için çeşitli dışsal uygulamalar geliştirilmiştir (Shanker vd., 2014).

- **Sulama Stratejileri:** Uygun sulama yöntemleri ve programları ile bitkinin su ihtiyacının karşılanması, kuraklık stresinin etkilerini azaltabilir (Caşka Kılıçaslan vd., 2020). Fasulye bitkisinde farklı sulama seviyelerinin fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir (Caşka Kılıçaslan vd., 2020).
- **Toprak İyileştirmesi ve Gübreleme:** Toprak özellikleri (su tutma kapasitesi gibi) kuraklığın şiddetini etkilediğinden, toprak iyileştirme çalışmaları kuraklık toleransını artırabilir (Aktaş, 2002). Ayrıca, uygun besin elementlerinin (özellikle K⁺) sağlanması, bitkinin strese karşı direncini artırabilir (Beringer ve Trollenier, 1978; Mengel ve Arneke, 1982; Marschner, 1995).
- **Bitki Büyüme Düzenleyicileri (Hormon Uygulamaları):** Bitki büyüme düzenleyicileriyle yapılan uygulamalar, reaktif oksijen üretimini engelleyerek oksidatif stresi azaltmaya ve bitki hücrelerinde

osmolit birikimini artırmaya yönelik bir koruma sağlayabilir (Manivannan vd., 2007). Ayçiçeğinde glisin betain ve salisilik asit uygulamalarının kuraklık toleransını artırdığı belirtilmiştir (Hussain vd., 2008). Buğdayda 4-hidroksibenzoik asit ve salisilik asidin kısa süreli kuraklık ve donma stresinin etkilerini modüle ettiği bulunmuştur (Horváth vd., 2007; Zhang ve Kirkham, 1996).

Tablo 2: Kuraklık stresini tolere etmeye yönelik dışsal uygulamalar ve karpuz/diğer bitkilerdeki muhtemel sonuçları

Uygulama Kategorisi	Uygulama Örneği	Bitki Türü (Karpuz/Diğer)	Gözlemlenen Sonuç Araştırmacı (Yıl)
Sulama Stratejileri	Farklı sulama seviyeleri	Fasulye	Fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerinde etkili. Caşka Kılıçaslan vd. (2020)
Toprak İyileştirmesi	Toprak özelliklerinin iyileştirilmesi	Genel	Su tutma kapasitesini artırma, kuraklık şiddetini azaltma Aktaş (2002)
Gübreleme	K ⁺ sağlanması	Genel	Stres direncini artırma Beringer ve Trollenier (1978); Marschner (1995); Mengel ve Arneke (1982)
Bitki Büyüme Düzenleyicileri	Glisin Betain ve Salisilik Asit	Ayçiçeği	Kuraklık toleransını artırma Hussain vd. (2008)
	4-Hidroksibenzoik Asit ve Salisilik Asit	Buğday	Kısa süreli kuraklık ve donma stresinin etkilerini modüle etme Horváth vd. (2007); Zhang ve Kirkham (1996a)
Aşılama	Strong Tosa anacına aşılama	Karpuz	Büyümede daha az azalma, SOD aktivitesinde artış, Na ⁺ birikiminde azalma Goreta vd. (2008)
	Dayanıklı anaç kullanımı	Domates	Bitki boyu, kök çapı, yaprak alanı, yaş/kuru ağırlık, verim, klorofil, karotenoid, prolin ve antioksidant enzim aktivitesinde artış Altunlu (2011)
Kuraklığa Dayanıklı Çeşit Seçimi	Crimson Sweet, Diyarbakır (Yerel)	Karpuz	Genetik farklılıkların tolerans üzerindeki etkileri, karşılaştırmalı analiz Mo vd. (2016); Yaşar vd. (2008)
	Yabani karpuz M20	Karpuz	Kuraklık stresine daha iyi uyum sağlama Mo vd. (2016)

- **Aşılama:** Karpuz yetiştiriciliğinde aşılama, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılan önemli bir stratejidir (Goreta vd., 2008; Altunlu, 2011). Tuzluluk stresine maruz bırakılan aşılı veya aşısız karpuz bitkileri üzerinde yapılan bir çalışmada, aşılı bitkilerin (özellikle Strong Tosa anacına aşılı olanların) büyümesinin daha az azaldığı, SOD aktivitesinin arttığı ve

yaprak Na⁺ konsantrasyonunun daha az biriktiği gözlemlenmiştir (Goreta vd., 2008). Bu durum, aşılı bitkilerin strese daha iyi uyum sağladığını göstermektedir. Domateste aşılamanın kuraklık stresine etkileri incelenmiş ve dayanıklı anaç kullanımının bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, yaş/kuru ağırlıklar, verim, klorofil, karotenoid, prolin ve antioksidant enzim aktivitelerinde artışa neden olduğu belirtilmiştir (Altunlu, 2011). Bu bulgular, karpuzda da aşılama uygulamasının kuraklık toleransını artırabileceği potansiyelini desteklemektedir.

- **Kuraklığa Dayanıklı Çeşit Seçimi:** Kurak bölgelerde ve kurak dönemlerde kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi ve kullanılması en temel önlemlerden biridir (Turgut ve Karadaş, 2012). Crimson Sweet ve Diyarbakır (Yerel) genotipleri gibi çeşitlerin karşılaştırmalı analizi, genetik farklılıkların tolerans üzerindeki etkilerini anlamak için kritik öneme sahiptir (Mo vd., 2016; Yaşar vd., 2008). Yabani karpuz M20'nin kuraklık stresine daha iyi uyum sağladığı raporlanmıştır (Mo vd., 2016).

5. Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Kuraklık stresinin karpuz (*Citrullus lanatus*) bitkisinin büyüme, fizyolojik işleyiş ve biyokimyasal savunma mekanizmaları üzerindeki olumsuz etkilerini kapsamlı bir şekilde gözler önüne sermiştir. Morfolojik düzeyde bitki boyunda ve yaprak alanında azalmalar (Yüksel ve Aksoy, 2017), fizyolojik düzeyde fotosentezde düşüş ve su ilişkilerinde bozulmalar (Cornic, 2000; Flexas vd., 2004) belirgin bir şekilde gözlemlenirken, biyokimyasal düzeyde reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi ve oksidatif stresin arttığı tespit edilmiştir (Apel ve Hirt, 2004; Hamurcu vd., 2020). Ancak, bitkiler bu zararlı etkilere karşı karmaşık bir antioksidan savunma sistemi geliştirerek (özellikle SOD, CAT, APX, GR gibi enzimlerin aktivitesindeki artışlar) direnç göstermeye çalışmaktadır (Alscher vd., 2002; Yaşar vd., 2008; Mo vd., 2016).

Genetik farklılıklar, karpuz çeşitlerinin kuraklık toleransında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle Diyarbakır (Yerel) gibi bazı yerel genotiplerin ve yabani ataların (M20 gibi), antioksidan sistemlerini daha etkin kullanabildikleri ve bu sayede strese daha iyi uyum sağlayabildikleri araştırmalarla kanıtlanmıştır (Yaşar vd., 2008; Mo vd., 2016). Bu durum, kuraklığa dayanıklı

karpuz çeşitlerinin geliştirilmesi için genetik kaynak çeşitliliğinin kritik önemini vurgulayabilmektedir. Hormonal düzenlemeler, özellikle Absisik Asit (ABA) gibi fitohormonlar, bitkinin strese tepki mekanizmalarında merkezi bir konumdadır (Nakashima ve Yamaguchi-Shinozaki, 2013; Iqbal vd., 2022). Epigenetik mekanizmalar ise gen ifadesinin çevresel sinyallere göre ayarlanmasında kritik rol oynayarak bitkinin adaptasyon yeteneğini şekillendirmektedir (Hirayama ve Shinozaki, 2010).

Tarımsal üretimde kuraklığın neden olduğu verim kayıpları göz önüne alındığında, dışsal yönetim stratejileri büyük önem taşımaktadır (Shanker vd., 2014). Aşılama, dayanıklı anaç kullanımıyla karpuzun kuraklık ve tuzluluk gibi streslere karşı direncini artırmada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Goreta vd., 2008; Altunlu, 2011). Ayrıca, uygun sulama stratejileri (Caşka Kılıçaslan vd., 2020), toprak iyileştirme yöntemleri (Aktaş, 2002) ve bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanımı da kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafifletmeye yardımcı olabilmektedir (Hussain vd., 2008; Horváth vd., 2007; Zhang ve Kirkham, 1996).

Gelecek araştırmalar, karpuzda kuraklık toleransının moleküler temellerini daha derinlemesine anlamaya odaklanmalıdır. Özellikle, genetik haritalama, moleküler ıslah yöntemleri ve CRISPR-Cas9 gibi ileri gen düzenleme teknolojileri kullanılarak kuraklığa dayanıklı genlerin tanımlanması ve bu genlerin ticari çeşitlere aktarılması büyük potansiyel taşımaktadır (Tuberosa, 2012; Bartels ve Sunkar, 2005). Ayrıca, topraktaki mikrobiyal toplulukların (örn. mikorizal mantarlar, PGPR bakterileri) kuraklık toleransına katkıları ve yeni nesil dışsal uygulama stratejileri (örn. biyo-uyarıcılar, nano-gübreler) üzerine yapılacak çalışmalar, karpuz yetiştiriciliğinde sürdürülebilirliği sağlamak ve iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara karşı bitki direncini artırmak adına kritik öneme sahip olduğunu düşündürmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, M., (1994). *Bitki besleme ve toprak verimliliği*, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 1361, 395s., Ankara
- Alscher, R. G., Erturk, N., Heath, L. S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of experimental botany*, 53(372), 1331-1341.
- Altunlu, H. (2011). *Aşılamanın domateste kuraklık stresine etkileri*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Nawaz, A., AlSmael, A. (2017). Drought stress in maize: physiological, biochemical and molecular responses. *Environmental and Experimental Botany*, 141, 64-77.
- Apel, K., Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399.
- Bari, R., Jones, J. D. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69, 473-488.
- Bartels, D., Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1), 23-58.
- Beringer, H., Trolldenier, G. (1978). Influence of K nutrition on response to environmental stress. Proc.int workshop "Role of K in crop production" Cairo, 20- 22 Nov 1979, pp.115-124, Eds. A. Saurat and M. M. El Fouly.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Caşka Kılıçaslan, S., Yıldırım, E., Ekinci, M., Kul, R. (2020). Kuraklık Stresinin Fasulyede Bitki Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 36(2), 264-273.
- Chaves, M. M. (1991). Effects of water deficits on carbon dioxide assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42(2), 1-16.

- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture - not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5, 187-188.
- Çobanoğlu, M. S. (2022). Bazı Buğday Çeşitlerinde Kuraklık Stresinin Önlenmesinde Kullanılabilecek Farklı Yöntemler. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 2(2), 83-91.
- Daşgan HY, Koç S, Ekici B. (2006). Bazı fasulye ve börülce tiplerinin tuz stresine tepkileri. *Alatırım Dergisi*, 5(1), 23-31
- Del Amor, F. M., Martinez, V., Cerda, A. (1999). Salinity duration and concentration affect fruit yield and quality, and growth and mineral composition of melon plants grown in perlite. *HortScience*, 34(7), 1234-1237.
- Dolferus, R. (2014). To grow or not to grow: a stressful decision for plants. *Plant Science*, 229, 247-261.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., Clark, R. B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, 77, 185-268.
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., ... Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1147.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Sharkey, TD. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6: 1-11.
- Goreta, S., Bucevic-Popovic, V., Selak, G. V., Pavela-Vrancic, M., Perica, S. (2008). Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. *The Journal of Agricultural Science*, 146(6), 695-704.
- Guerrero, F., Mullet, JE. (1986). Increased abscisic acid biosynthesis during plant dehydration requires transcription. *Plant Physiology*, 80: 588-591.
- Güneri Bağcı, E. (2010). *Nohut çeşitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi*, Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri, Ankara. 403s (Türkiye).

- Hamurcu, M., Khan, M. K., Pandey, A., Ozdemir, C., Avsaroglu, Z. Z., Elbasan, F., Gezgin, S. (2020). Nitric oxide regulates watermelon (*Citrullus lanatus*) responses to drought stress. *3 Biotech*, 10, 1-14.
- Hirayama, T., Shinozaki, K. (2010). Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *The Plant Journal*, 61(6), 1041-1052.
- Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E., Janda, T. (2007). Exogenous 4 hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short term drought and freezing stress on wheat plants. *Plant Biology*, 51, 480-487.
- Hussain M, Malik MA, Farooq M, Ashraf MY, Cheema MA. (2008). Improving Drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 193-199.
- Iqbal, S., Wang, X., Mubeen, I., Kamran, M., Kanwal, I., Díaz, G. A., ... Fahad, S. (2022). Phytohormones trigger drought tolerance in crop plants: outlook and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12, 799318.
- Im Kim, J., Baek, D., Park, H. C., Chun, H. J., Oh, D. H., Lee, M. K., ... Yun, D. J. (2013). Overexpression of Arabidopsis YUCCA6 in potato results in high-auxin developmental phenotypes and enhanced resistance to water deficit. *Molecular Plant*, 6(2), 337-349.
- Jacksons, M. B. (1985). Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Annual Review of Plant Physiology*, 36(1), 145-174.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S. (2009). Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation, membrane permeability, reactive oxygen species generation, and antioxidative response systems in *Zea mays* leaves. *Turkish Journal of Biology*, 33(1), 45-52.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y. (2005). Drought-induced oxidative stress in two common wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(4), 503-511.
- Kapluhan, E. (2013). Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27), 487-510.
- Kayabaşı, S. (2011). Kuraklık stresinde yetiştirilen soyada bazı fizyolojik parametreler ile prolin birikiminin araştırılması, Yüksek lisans tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.

- Kaya, C., Tuna, AL. (2010). Potasyumun Tuz Stresinde Yetişen Bitkilerde Rolü ve Önemi. [http://www. ipipotash.org](http://www.ipipotash.org)
- Kim, Y., Chung, Y. S., Lee, E., Tripathi, P., Heo, S., Kim, K.H. (2020). Root response to drought stress in Rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1513.
- Kohli, A., Sreenivasulu, N., Lakshmanan, P., Kumar, P. P. (2013). The phytohormone crosstalk paradigm takes center stage in understanding how plants respond to abiotic stresses. *Plant Cell Reports*, 32(7), 945–57.
- Kumar, S., Sachdeva, S., Bhat, K.V., Vats, S. (2018). Biotic and abiotic stress tolerance in plants. In: V. Sharad (Ed), ***Plant responses to drought Stress: Physiological, Biochemical and Molecular Basis***, Springer, pp. 1–25.
- Kyparissis, A., Petropoulou, Y., Manetas, Y. (1995). Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., Labiatae) under Mediterranean field conditions: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1825-1831.
- Lazcano-Ferrat, I., Lovatt, C. J. (1999). Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Science*, 39(2), 467-475.
- Li, J., Cang, Z., Jiao, F., Bai, X., Zhang, D., Zhai, R. (2017). Influence of drought stress on photosynthetic characteristics and protective enzymes of potato at seedling stage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 82-88. doi: 10.1016/j.jssas.2015.03.001.
- Li, W., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, R., Guo, Z., Xie, Z. (2020). Impacts of drought stress on the morphology, physiology, and sugar content of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. unicolor). *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 1-11.
- Li, Q. F., Wang, C., Jiang, L., Li, S., Sun, S. S., and He, J. X. (2012). An interaction between BZR1 and DELLAs mediates direct signaling crosstalk between brassinosteroids and gibberellins in Arabidopsis. *Sci Signal* 5:ra72. doi: 10.1126/scisignal.2002908.

- Li, S. M., Zheng, H. X., Zhang, X. S., Sui, N. (2021). Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. *Plant Cell Reports*, 40(2), 271-282. doi:10.1007/s00299-020-02612-1
- Loveys, B. R., Leopold, A. C., Kriedemann, P. E. (1974). Abscissic Acid Metabolism and Stomatal Physiology in *Betula lutea* Following Alteration in Photoperiod, *Annals of Botany*, 38(1), 85-92, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084805>
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., Sridharan, R., Panneerselvam, R. (2007). Changes in antioxidant metabolism of *Vigna unguiculata* L. Walp. by propiconazole under water deficit stress. *Colloids Surf B: Biointerf*, 57, 69-74.
- Marschner, H. (1995). ***Mineral nutrition of higher plants***. London: Academic Press, 657-680.
- Mengel, K., Arneke, W. W. (1982). Effect of potassium on the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Physiology Plants*, 54, 402-408.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). (2023). Kuraklık Türleri. Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/kuraklik-turleri.aspx>
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). (2024). Türkiye’de İklim Değişikliği Senaryoları. Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi-senaryolari.aspx>
- Mo, H., Xu, H., Peng, J., Lu, H., He, L., Yuan, Z. (2016). Responses of two watermelon (*Citrullus lanatus*) genotypes to drought stress and re-watering at seedling stage. *Agricultural Water Management*, 164, 218-226.
- Moller, IM., Jensen, PE., Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 459-481.
- Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (2013). ABA signaling in stress-response and seed development. *Plant Cell Reports*, 32, 959-970.
- Öktüren, F., Sönmez, S. (2005). Bitki besin maddeleri ile bazı bitki büyüme düzenleyicileri (Hormonlar) arasındaki ilişkiler. *Derim*, 22(2), 20-32.
- Özpay, T. (2008). *Taze fasulye (Phaseolus vulgaris L.) genotiplerinin kuraklık stresine olan tepkilerinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.

- Patmi, Y. S., Pitoyo, A. (2020). Effect of drought stress on morphological, anatomical, and physiological characteristics of Cempo Ireng cultivar mutant rice (*Oryza sativa* L.) strain 51 irradiated by gamma-ray. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1436, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- Pirzad, A., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S. A., Darvishzadeh, R., Samadi, A. (2011). Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(12), 2483-2488.
- Pospíšilová, H., Jiskrová, E., Vojta, P., Mrízová, K., Kokáš, F., Cudejgov á, M. M. (2016). Transgenic barley overexpressing a cytokinin dehydrogenase gene shows greater tolerance to drought stress. *New Biotechnology*, 33, 692-705. doi:10.1016/j.nbt.2015.12.005.
- Ramireddy, E., Hosseini, S.A., Eggert, K. (2018). Root engineering in barley: increasing Cytokinin degradation produces a larger root system, mineral enrichment in the shoot and improved drought tolerance. *Plant Physiology*, 177(3), 1078–1095.
- Rashidi, M., Gholami, M. (2008). Review of crop water productivity values for tomato, potato, melon, watermelon and cantaloupe in Iran. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(4), 432-436.
- Reitz, L. P. (1975). Breeding for more efficient water use by dryland crops. *Agricultural Meteorology*, 14(1-2), 3-11.
- Rellán-Álvarez, R., Lobet, G., Dinneny, J. R. (2016). Environmental control of root system biology. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 619-642.
- Rosales Serna, R., Shibata, J.K., Acosta Gallegos, J.A., Trejo Lopez, C., Ortiz Cereceres, J., Kelly, J.D. (2005). Carbohydrate content in plant organs and seed yield in common bean under drought stress. *Agricultura Técnica en México*, 31(2), 139-151.
- Rucker, M. L., Krizek, D. T., Salisbury, F. B. (1995). Growth and physiological responses of soybean (*Glycine max* L. Merr.) to drought stress during flowering and pod development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 14(4), 245-253.
- Salisbury, F. B., Marinos, N. G. (1985). The ecological role of plant growth substances. In *Hormonal regulation of development III: role of*

- environmental factors* (pp. 707-766). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, LM., Blasco, B., Rios, JJ., Rosales, MA., Ruiz, JM. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1), 30-40.
- Schachtman, DP., Shin, R. (2007). Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 47-69
- Sharma, P., Dubey, R. S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant growth regulation*, 46, 209-221.
- Shanker, A. K., Maheswari, M., Yadav, S. K., Desai, S., Bhanu, D., Attal, N. B., Venkateswarlu, B. (2014). Drought stress responses in crops. *Functional & Integrative Genomics*, 14, 11-22.
- Shi, H., Chen, L., Ye, T., Liu, X., Ding, K., Chan, Z. (2014). Modulation of auxin content in Arabidopsis confers improved drought stress resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82, 209-217.
- Skirycz, A., Inzé, D. (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*, 21(2), 197-203.
- Smirnoff, N. (1993). Tansley Review No. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New phytologist*, 27-58.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2010). Responses and adaptations to abiotic stress. ***Plant Physiology, Fifth Edition***. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc, 755-778.
- Tuberosa, R. (2012). Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in Physiology*, 3, 347.
- Turgut, B., Karadaş, K. (2012). Çimlenme sonrası su stresi süresinin Palandöken-97 ve Kırık Buğday çeşitlerinde kök ve gövde gelişimine etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 14(1), 1-8.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress, *Plant Science*, 168, 223-231.

- Verma, V., Ravindran, P., Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology*, 16, 1-10.
- Veselov, D. S., Kudoyarova, G. R., Kudryakova, N. V., Kusnetsov, V. V. (2017). Role of cytokinins in stress resistance of plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64, 15-27. doi:10.1134/s1021443717010162.
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. (2003).8 Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218, 1-14.
- Wang, Y., Yuan, Z., Xu, H., Huang, R., Mo, H. (2014). Proteomic analysis of watermelon (*Citrullus lanatus*) roots under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 171(1), 56-65.
- Wilhite, D. A., Wood, D. A. (1987). Drought in the Great Plains: a Bibliography (CAMaC Progress Report 87-5).
- Wu, Y., Cosgrove, DJ. (2000). Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1543-1553.
- Yaşar, F. (2003). Tuz stresi altındaki patlıcan genotiplerinde bazı antioksidant enzim aktivitelerinin in vitro ve in vivo olarak incelenmesi, Doktora tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., Özpay, T., Uzal, Ö. (2008). Tuz stresinin karpuzda (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) antioksidatif enzim (SOD, CAT, APX ve GR) aktivitesi üzerine etkisi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 18(1), 61-65.
- Yasar, F., Uzal, O. (2021). Effect of applications of different potassium (K⁺) doses on antioxidant enzyme activities in pepper plants under salt stress. *Journal of Elementology*, 26(4), 905-912.
- Yavaş, İ., ve İlker, E. (2020). Çevresel stres koşullarına maruz kalan bitkilerde fotosentez ve fitohormon seviyelerindeki değişiklikler. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(2), 295-311.
- Yoshimura, K., Masuda, A., Kuwano, M., Yokota, A., Akashi, K. (2008). Programmed proteome response for drought avoidance/tolerance in the root of a C3 xerophyte (wild watermelon) under water deficits. *Plant and Cell Physiology*, 49(2), 226-241.
- Yüksel, B., Aksoy, Ö. (2017). Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 01-05.

- Zhang, H., Gong, G., Guo, S., Ren, Y., Xu, Y., Ling, K. S. (2011). Screening the USDA watermelon germplasm collection for drought tolerance at the seedling stage. *HortScience*, 46(9), 1245-1248.
- Zhang, J., Kirkham, M. B. (1996). Lipid peroxidation in Sorghum and Sunflower seedlings as affected by Ascorbic Acid, Benzoic Acid, and Propyl Gallate. *Journal Plant Physiology*, 149, 489-493.

BÖLÜM 26

AKILLI TARIMDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS): UYGULAMA ALANLARI VE KRİTİK ROLÜ

Deniz Uğur GÜZEL¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16780356>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. Orcid id:0000-0003-2606-3985, denizugur.guzel@yyu.edu.tr

GİRİŞ

CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi), yeryüzüne ait konumsal (mekânsal) verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve haritalar aracılığıyla görselleştirilmesini sağlayan bir bilgi teknolojisidir. CBS, coğrafya, istatistik ve veri tabanı sistemlerini entegre etme kabiliyeti sayesinde, yalnızca mekânsal verileri yönetmekle kalmaz, aynı zamanda hem nicel hem de nitel karar destek süreçlerinde vazgeçilmez bir araç hâline gelmiştir (Burrough ve McDonnell, 1998; Longley vd., 2015). Özellikle mekânsal analizler ve çok kriterli değerlendirmeler yoluyla kullanıcıya alternatif senaryolar sunabilmesi, CBS'nin hem bilimsel hem de yönetsel kararlar için tercih edilmesini sağlamaktadır.

Tarım sektörü, doğası gereği yoğun mekânsal bilgi içeren bir alandır; bu nedenle CBS uygulamaları tarım alanlarında geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Tarım parsellerinin sınıflandırılması, ürün rotasyonu planlaması, toprak uygunluk analizleri, su kaynaklarının yönetimi, afet risk haritalaması ve hassas tarım (precision agriculture) gibi birçok alt uygulama CBS ile daha etkin yürütülebilmektedir (Keskin vd., 2020; Fayaz vd., 2025; Kumar vd., 2025).

Özellikle bahçe bitkileri, bağcılık ve sera tarımı gibi spesifik üretim türlerinde; toprak ve iklim uygunluk analizleri, mikroklima değerlendirmeleri, verim tahmini ve bitki sağlığını izleme gibi işlemler CBS tabanlı analizlerle yapılmaktadır. Bu tür uygulamalar hem üretim verimliliğini artırmakta hem de sürdürülebilir kaynak yönetimi ve çevresel planlamayı desteklemektedir (Kandilli vd., 2021; İslam vd., 2025; Bovkır, 2024).

Bu derleme, tarım ve bahçecilik sektöründe CBS teknolojilerinin temel kullanım alanlarını, güncel literatürden örnek vaka çalışmaları ve bunların elde ettiği sonuçlar üzerinden bir bakış yapılarak incelenmektedir.

1. TARIM ARAZİLERİNİN PLANLANMASI VE ARAZİ KULLANIMI ANALİZLERİ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım alanlarının planlanmasında mekânsal karar destek aracı olarak önemli bir işlev üstlenmektedir. Toprak kullanımına ilişkin planlamalar; yalnızca fiziksel çevre özellikleriyle değil, aynı zamanda iklimsel veriler ve sosyoekonomik göstergelerle birlikte değerlendirilmelidir (Doğan ve Güzel, 2020; Güzel vd., 2024). CBS bu çok boyutlu veri bileşenlerini entegre ederek, mekânsal analizlerin daha sağlıklı ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına olanak tanır. Özellikle toprak türü, eğim,

bakı, drenaj kapasitesi, yağış dağılımı ve sıcaklık verileri gibi doğal faktörlerin yanında; nüfus yoğunluğu, tarımsal girdi maliyetleri ve ulaşım altyapısı gibi sosyoekonomik veriler de arazi uygunluk analizlerinde kullanılabilir (Doğan vd., 2025).

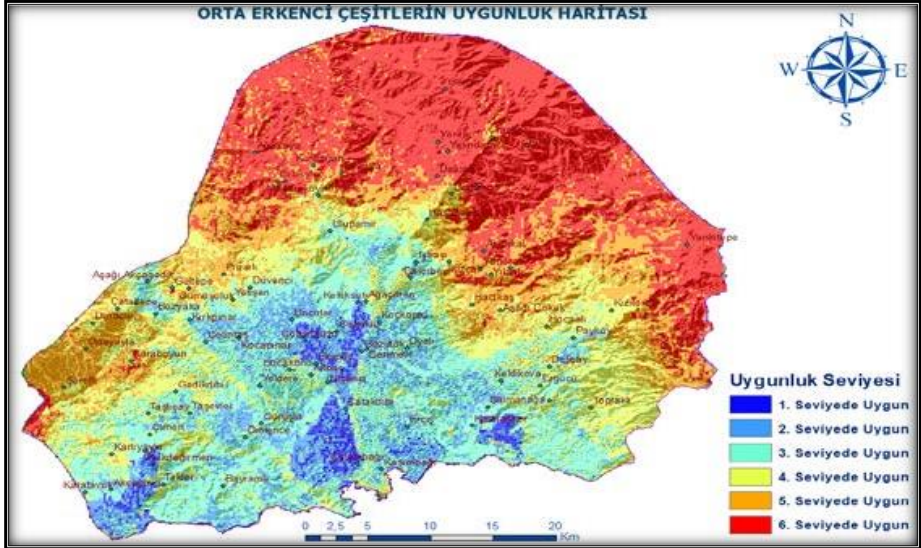
Bu analizlerin temel hedefi, tarıma elverişli alanların sürdürülebilir bir şekilde belirlenmesi ve tarım dışı kullanım baskısının azaltılmasıdır. Böylece hem tarımsal üretkenlik artırılmakta hem de plansız yapılaşma, toprak kaybı ve arazi tahribatı gibi sorunların önüne geçilebilmektedir (Longley vd., 2015; Al-Maimani ve Al-Ismaili, 2019).

CBS'nin arazi uygunluk analizindeki gücü, çok kriterli karar verme yöntemleriyle birleştiğinde önemli sonuçlar üretmektedir. Örneğin, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) veya Analitik Ağ Süreci (ANP) gibi yöntemlerle, farklı kriterlerin ağırlıkları belirlenerek daha hassas mekânsal sınıflandırmalar yapılabilir (Saaty, 2008). Türkiye’den yapılan birçok lisansüstü çalışma, özellikle ova ve ova kenarı tarım alanlarının bu yöntemlerle analiz edildiğini göstermektedir (Tatar, 2025).

1.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Fayaz vd. (2025), Hindistan’ın Keşmir Vadisi’nde elma yetiştiriciliği için uygun alanları belirlemek üzere CBS’yi senaryo temelli modelleme ile entegre etmiştir. Çalışmada, topoğrafik, iklimsel ve sosyoekonomik parametreler bir araya getirilerek çok kriterli uygunluk analizleri gerçekleştirilmiş; sonuç olarak, elma üretimi açısından yüksek potansiyel taşıyan alanların haritalandırılması sağlanmıştır.
- ✓ Nagaraju vd. (2023) tarafından Hindistan’ın Madhya Pradesh bölgesinde yürütülen çalışmada, farklı toprak kalite göstergeleri (pH, organik madde, makro besin içerikleri) CBS ile değerlendirilerek bahçecilik açısından en uygun tarım alanları belirlenmiştir. Arazi kullanım haritaları ile birlikte yapılan analizler, sürdürülebilir tarım uygulamaları için gerekli mekânsal kararların alınmasına katkı sağlamıştır.
- ✓ Doğan ve Güzel (2020), Van ili Erciş ilçesindeki bağcılık potansiyelini değerlendirdiği çalışmada; iklimsel, toprak ve topoğrafik verileri dikkate alarak üzüm yetiştiriciliği için en uygun alanları belirlemiştir. CBS tabanlı analizlerde üç iklimsel (sıcaklık,

yağış, don riski), üç topraksal (organik madde, yapı, tuzluluk) ve iki topoğrafik (eğim, yükselti) kriter kullanılmıştır. Böylece bölgeye özgü üzüm çeşitleri için optimum yetiştirme ortamı sağlanabilecek alanlar mekânsal olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 1: Van Erciş ilçesi Orta erkenci üzüm çeşitlerinin uygunluk seviyeleri harita (Doğan ve Güzel, 2020).

2. SULAMA YÖNETİMİ VE SU TAŞKINLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE CBS UYGULAMALARI

Tarım sektöründe su yönetimi, iklim değişikliği ve artan kuraklık tehdidi nedeniyle stratejik bir öncelik hâline gelmiştir. Suyun verimli kullanımı, sadece ürün verimini artırmakla kalmayıp aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği sağlamada da kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), sulama altyapısının planlanması, su kaynaklarının izlenmesi, bitki su ihtiyacının belirlenmesi ve sulama sistemlerinin mekânsal optimizasyonu açısından güçlü bir karar destek aracı sunmaktadır (Longley vd., 2015; Kumar vd., 2025).

CBS destekli sulama planlamasında; toprak geçirgenliği, eğim, arazi kullanımı, bitki deseni ve iklim verileri gibi çok boyutlu veri katmanları bir araya getirilerek, su dağılımı en uygun şekilde modellenilebilir. Aynı şekilde, sel riski haritalaması ve taşkın yönetimi de CBS'nin önemli uygulama alanları arasında yer almakta, özellikle yağış rejiminin değişken olduğu tarım

bölgelerinde erken uyarı sistemleriyle entegre çözümler sunulmaktadır (Zulkifli ve Bukari, 2025).

CBS'nin etkisi, uzaktan algılama (RS) ile birleştirildiğinde daha da artmaktadır. Örneğin, uydu görüntüleri ile toprak nemi, su birikimi ve drenaj sorunları kısa sürede haritalanabilir. Bu sayede, sulama sistemleri için uygun alanlar belirlenirken aynı zamanda sel riski olan bölgeler önceden tanımlanabilir (Islam vd., 2025).

2.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Kumar vd. (2025), CBS tabanlı hidrolojik modelleme tekniklerini kullanarak, Hindistan'da taşkın riski yüksek bölgelerin belirlenmesini ve bu alanlara özel sulama planlamasının yapılmasını amaçlamıştır. Çalışmada, mekânsal verilerle su taşkınlarına eğilimli bölgeler haritalandırılmış ve sulama için uygun parseller belirlenmiştir. Elde edilen çıktılar, yerel su yönetim politikalarının oluşturulmasına yön vermiştir.
- ✓ Zulkifli ve Bukari (2025), Malezya'nın Iskandar Puteri bölgesinde yürüttükleri çalışmada, CBS tekniklerini kullanarak taşkın riski olan bölgeleri sınıflandırmıştır. Mekânsal analizler kapsamında; arazi kullanım sınıfları, akış yönü, eğim ve drenaj yoğunluğu gibi kriterler değerlendirilmiş ve taşkın duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar, hem bölgesel sulama altyapısının planlanmasında hem de afet risk azaltımında referans alınmıştır.
- ✓ Abayzeed vd. (2024), Sudan'ın El-Manağıl kentinde meydana gelen taşkınların tarım alanları üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla CBS destekli mekânsal değerlendirme gerçekleştirmiştir. Taşkın yolları, su akışı modelleri, drenaj yetersizlikleri ve zarar gören tarımsal alanlar görselleştirilmiştir. Çalışma, bölgedeki sulama altyapısının yeniden tasarımı için somut öneriler sunmuş, taşkın riskine karşı dirençli bir tarım stratejisi geliştirilmiştir.

3. ÜRÜN TAHMİNİ VE VERİM ANALİZİNDE CBS UYGULAMALARI

Tarımda ürün tahmini ve verim analizleri, sürdürülebilir üretim planlaması, gıda güvenliği ve piyasa öngörülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle değişken iklim koşulları, toprak yorgunluğu ve su

kıtlığı gibi sorunların etkili şekilde yönetilebilmesi için, mekânsal ve zamansal verilerin entegre analizine dayanan karar destek sistemleri gerekmektedir. Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uydu verileri ve zaman serileriyle birlikte kullanıldığında ürün desenlerinin dinamik takibini ve ileriye dönük tahminlerin daha güvenilir yapılmasını mümkün kılmaktadır (Longley vd., 2015).

CBS ortamında, uzaktan algılama verileri (örneğin NDVI, EVI gibi bitki indeksleri) ile tarımsal istatistiklerin entegre edilmesi sayesinde, belirli ürünlerin yıllar içerisindeki ekim alanı değişimleri, verim eğilimleri, kuraklık etkisi, ürün rotasyonu ve verim kayıpları detaylı şekilde izlenebilmektedir (Pasichnyk vd., 2025). Ayrıca, bu mekânsal-zamansal analizler, yalnızca izleme amaçlı değil, aynı zamanda erken uyarı sistemleri ve yapay zekâ destekli karar sistemleri ile birlikte kullanılabilir hale gelmektedir (Maalini vd., 2025).

Verim analizlerinde kullanılan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), bitki örtüsü yoğunluğunu ve sağlığını yansıtan temel bir göstergedir. NDVI zaman serileri, geçmiş yıllardaki kuraklık etkilerini, bitki gelişme döngülerini ve tarımsal stres durumlarını analiz etmekte oldukça etkilidir (Jensen, 2007). CBS ile birleştirilen bu tür indeksler, sadece gözlem değil, aynı zamanda öngörü sağlayan karar araçlarına dönüşmektedir.

3.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Torres vd. (2024), Kolombiya'daki kahve üretim bölgelerinde farklı rakım seviyeleri ve mikroiklim etkilerini CBS ortamında analiz etmiştir. Mekânsal modelleme yoluyla düşük ve yüksek verim gösteren plantasyon alanları sınıflandırılmış ve elde edilen bulgular dijital haritalar üzerinde görselleştirilmiştir. Bu sayede üretici kooperatiflerine hem alan yönetimi hem de ihracat planlaması konusunda stratejik bilgiler sunulmuştur.
- ✓ Maalini vd. (2025), Hindistan'ın güney bölgelerinde yürüttükleri çalışmada, toprak numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarını CBS tabanlı sistemlere entegre ederek çeşitli mahsullerin verim tahminlerini geliştirmiştir. Bu çalışmada, makine öğrenmesi algoritmaları olan Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Rastgele Orman (RF) modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gübreleme ve sulama kararlarının optimizasyonunda kullanılmış ve deneme alanlarında ortalama %22 oranında verim artışı sağlanmıştır.

- ✓ Pasichnyk vd. (2025), Ukrayna’da gerçekleştirdikleri araştırmada, NDVI gibi bitki indekslerini kullanarak CBS tabanlı bir verim tahmin modeli geliştirmiştir. Uydu verileri ile arazi kullanım verileri mekânsal-zamansal düzeyde bütünleştirilmiş ve farklı ürün türleri için verim tahminleri yapılmıştır. Bu model sayesinde tarımsal planlamada ön sezon tahminleri daha güvenilir hale gelmiş ve iklim değişkenliğine karşı esneklik sağlanmıştır.

4. SERACILIK VE BAHÇECİLİKTE MEKÂNSAL İZLEME VE YÖNETİM

Kontrollü tarım sistemleri olan seracılık ve bahçecilik, iklim değişikliği ve su kaynaklarının azalması gibi çevresel tehditler karşısında giderek daha stratejik bir konuma gelmiştir. Bu tür üretim sistemlerinde mikro-çevresel koşulların hassas kontrolü, verimlilik ve kalite üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bu bağlamda yalnızca alan yönetimi değil; aynı zamanda sıcaklık, nem, ışık yoğunluğu ve toprak nemi gibi çevresel değişkenlerin mekânsal analizi için de etkili bir platform sunmaktadır (Islam vd., 2025).

CBS uygulamaları, sera ve bahçe alanlarının konumsal sınıflandırılmasını, sulama ihtiyaçlarının mekânsal modellenmesini, bitki gelişim evrelerinin izlenmesini ve hassas çevresel kontrol sistemlerinin planlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu sistem, aynı zamanda sera içi havalandırma ve gölgelendirme stratejilerinin iyileştirilmesinde de kullanılmakta, üretim alanlarının maksimum verimle optimize edilmesine yardımcı olmaktadır (Al-Maimani ve Al-Ismaili, 2019).

CBS sistemleri, yalnızca dış mekânsal düzenlemelerle sınırlı kalmayıp, sensör destekli veri toplama sistemleriyle bütünleştirildiğinde sera içi yönetim sistemlerinin dijitalleştirilmesini sağlar. Günümüzde, IoT destekli sensörlerden gelen veriler CBS ortamında analiz edilerek sera bazlı iklim kontrol sistemleri, otomatik sulama programları ve gübreleme planlamaları yapılmaktadır (Jensen, 2007).

4.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Islam vd. (2025), Çin’in kuzey bölgelerindeki solar (güneş destekli) seralarda yürüttükleri çalışmada, CBS verileri kullanılarak sera içi çevresel değişkenlerin (sıcaklık, nem, ışık) dağılımını analiz

etmişlerdir. Araştırma sonucunda, sera içi sıcaklık ve nemde %20'nin üzerinde bölgesel farklılıklar tespit edilmiştir. Bu durumun, özellikle havalandırma sistemlerinin yetersizliği ve sera yerleşim yönüyle ilgili olduğu belirtilmiş, yerleşim planlaması ve yapısal düzenlemelere ilişkin öneriler geliştirilmiştir.

- ✓ Al-Maimani ve Al-Ismaili (2019), Umman'ın Al-Batinah Güney Bölgesi'nde seraların zaman içindeki yayılımını CBS ve uzaktan algılama verileriyle incelemiştir. Topoğrafik yapı, yol ve su altyapısı, çiftçi yoğunluğu gibi değişkenlerin sera yerleşimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma, seracılık faaliyetlerinin artış gösterdiği bölgelerde özellikle altyapı erişilebilirliği ve uygun iklimsel koşulların belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.
- ✓ Wanjala vd. (2022), Kenya'nın Orta ve Rift Vadisi bölgelerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, seraların coğrafi dağılımını haritalandırmış ve CBS tabanlı yönetim planları geliştirmiştir. Seraların konumu, büyüklüğü, erişim yollarına mesafesi ve pazar ağlarına yakınlığı gibi faktörler dikkate alınarak bölgesel üretim stratejileri önerilmiştir. Bu yaklaşım, özellikle küçük ölçekli üreticilerin desteklenmesine yönelik politikaların geliştirilmesinde rehber olmuştur.

5. KENTSEL TARIM VE BAHÇE PLANLAMASINDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Kentleşmenin hızla artması, gıda güvenliği, ekolojik sürdürülebilirlik ve kentsel yaşam kalitesi gibi konuların yeniden değerlendirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Bu kapsamda Kentsel Tarım, yalnızca bir gıda üretim aracı değil; aynı zamanda sosyal, çevresel ve estetik faydalarıyla çok boyutlu bir planlama ögesi hâline gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bu dönüşümde merkezi bir rol üstlenmekte; hem mekânsal analiz hem de stratejik karar destek mekanizması olarak kent ölçeğindeki tarımsal faaliyetlerin planlanmasına olanak sunmaktadır (Liu vd., 2025).

CBS uygulamaları aracılığıyla, kent içindeki boş alanların, uygun çatıların, topluluk bahçelerine uygun açık alanların, altyapıya erişimin ve iklimsel avantajların mekânsal olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu analizler, yalnızca alan seçiminde değil; aynı zamanda çevresel etkilerin

azaltılması, su ve enerji verimliliği gibi sürdürülebilirlik kriterlerinin de optimize edilmesinde etkili olmaktadır (Orlando vd., 2025).

CBS destekli analizler, sadece alan tespitiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda şu yönlerden kentsel planlamaya entegre çözümler sunar:

- 📍 Boş alanların potansiyel gıda üretim alanı olarak sınıflandırılması,
- ☀️ Güneş alma süresi ve yönelime göre verim tahmini yapılması,
- 💧 Su kaynaklarına erişim haritalarıyla sulama uygunluğu analizi,
- 🏠 Topluluk bahçeleri için erişilebilirlik ve sosyal eşitlik analizleri

5.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Liu, Chanse ve Chicca (2025), ABD'nin Baltimore kentinde gerçekleştirdikleri çalışmada, afet sonrası dönemde gıda güvenliğini sağlamak amacıyla kentsel tarım alanlarını CBS ile analiz etmişlerdir. Çalışmada özel mülkiyetli ve topluluk bahçesi olarak kullanılabilecek alanlar belirlenmiş, bu alanların iklim değişikliğine karşı dirençli üretim alanları olarak stratejik önem taşıdığı vurgulanmıştır. Bu sayede hem mekânsal eşitsizlikler hem de gıda tedarik zincirindeki kırılganlıklar azaltılmaya çalışılmıştır.
- ✓ Orlando ve arkadaşları (2025), İtalya'nın Sicilya adasındaki Bagheria kırsalında, tarihi tarım yapılarının yeniden işlevlendirilmesini konu alan çalışmalarında, CBS tekniklerini kullanarak mekânsal sürekliliği ve kültürel peyzaj bütünlüğünü korumaya yönelik bir planlama modeli geliştirmişlerdir. Araştırma, kentsel yayılmanın tehdit ettiği kırsal peyzajların sürdürülebilir kentsel tarım altyapılarına dönüştürülmesini desteklemektedir.
- ✓ Bovkır (2024), İstanbul'daki çatıların kentsel tarım amacıyla kullanım potansiyelini CBS destekli çok kriterli karar analizi (ÇKKA) yöntemiyle değerlendirmiştir. Yapının fiziksel özellikleri, güneşlenme süresi, statik uygunluk ve erişilebilirlik gibi faktörler mekânsal analizlerle bütünleştirilmiş; bu sayede yeşil çatı tarımı için öncelikli alanlar belirlenmiştir. Çalışma, aynı zamanda kentsel yeşil altyapı planlaması açısından önemli girdiler sunmaktadır.

6. KENTSEL HASSAS TARIMDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Hassas tarım (precision agriculture), tarım alanlarında verimliliği artırmak, girdi kullanımını azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla, tarladaki mekânsal farklılıkların analiz edilerek değişken oranlı uygulamaların yapılmasını esas alan modern bir üretim yaklaşımıdır. Bu yöntemin etkili bir şekilde uygulanabilmesi, detaylı konumsal veri toplanmasını ve bu verilerin anlamlı mekânsal bilgiye dönüştürülmesini gerektirir. Bu noktada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tarımsal verilerin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesinde güçlü bir karar destek aracıdır (Longley vd., 2015).

CBS sayesinde, sensör verileri, uzaktan algılama görüntüleri ve toprak analizleri gibi çeşitli veri kaynakları bir araya getirilerek sulama planlaması, gübreleme zamanlaması, bitki sağlığı izleme ve zararlı tespiti gibi işlemler yerinde, zamanında ve ihtiyaca göre yapılabilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ tabanlı algoritmalar ve makine öğrenmesi modelleri ile entegre çalışan CBS uygulamaları, geçmiş yıllara ait verim haritalarını kullanarak geleceğe dönük üretim senaryoları oluşturabilmektedir (Jensen, 2007).

6.1. Seçilmiş Uygulama Örnekleri

- ✓ Maalini vd. (2025). Hindistan'ın güney eyaletlerinde yürütülen bu çalışmada, toprak numunelerine ait besin içeriği analizleri CBS tabanlı mekânsal modellerle entegre edilmiş ve veriler SVM (Support Vector Machines) ile Random Forest algoritmaları kullanılarak işlenmiştir. Sonuçta, girdi optimizasyonu ve mahsul seçimi için yüksek doğrulukta verim tahmin haritaları oluşturulmuş; bu yaklaşım sayesinde pilot tarlalarda %22'ye varan verim artışı sağlanmıştır.
- ✓ Pasichnyk vd. (2025). Ukrayna'da yapılan bu çalışmada, NDVI gibi bitki indeksleri zaman serileri hâlinde CBS ile entegre edilmiştir. Araştırma, uzaktan algılama verileri ile tarla bazlı verimlilik düzeylerini ilişkilendirmiş ve farklı ürün türleri için ön sezon verim tahminleri geliştirmiştir. CBS ortamında yapılan bu mekânsal-zamansal modelleme, çiftçilerin iklim değişkenliğine karşı daha esnek planlama yapmasına olanak tanımıştır.
- ✓ Islam vd. (2025). Çin'in kuzey bölgelerinde yürütülen bu çalışmada, solar seralarda sıcaklık, nem, ışık gibi çevresel değişkenler CBS

ortamında üç boyutlu olarak modellenmiş ve hassas çevresel yönetim sistemleri geliştirilmiştir. Özellikle sera içi havalandırma ve yönetime bağlı sıcaklık dağılımı analizleri ile enerji verimliliği ve bitki gelişimi arasında nedensel ilişki kurulmuştur. Çalışma, akıllı sera sistemleri ile CBS tabanlı veri entegrasyonunun verim üzerindeki etkilerini göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) tarım sektöründeki çok boyutlu uygulama potansiyelini farklı ölçeklerdeki örnek çalışmalar üzerinden ortaya koymuştur. Arazi uygunluk analizlerinden su yönetimine ve verim tahminine, seracılıktan kentsel tarım planlamasına kadar genişleyen bu uygulama alanları, CBS'nin yalnızca mekânsal veri görselleştirme aracı değil, aynı zamanda güçlü bir karar destek sistemi olduğunu göstermektedir. CBS tabanlı uygulamaların, verimliliği artırma, maliyetleri düşürme, çevresel sürdürülebilirliği sağlama ve toplumsal fayda üretme gibi çok katmanlı çıktılar sunduğu görülmektedir. Bu yönüyle CBS, tarım alanında sadece teknik bir destek aracı değil, aynı zamanda bilimsel, yönetsel ve stratejik karar süreçlerinin temel bileşeni hâline gelmiştir.

Çalışmada ele alınan örnekler, CBS'nin tarımsal problemlere nasıl bütüncül çözümler sunduğunu açıkça göstermektedir. Örneğin, arazi uygunluk analizleri bağlamında Fayaz ve diğerleri (2025) Hindistan'ın Keşmir Vadisi'nde elma yetiştiriciliği için topoğrafik, iklimsel ve sosyoekonomik parametreleri entegre ederek yüksek potansiyelli alanları haritalamıştır. Doğan ve Güzel (2020) ise Van Erciş ilçesindeki bağcılık potansiyelini iklimsel, topraksal ve topoğrafik verilerle mekânsal olarak sınıflandırmıştır. Bu çalışmalar, farklı coğrafi bağlamlarda dahi CBS'nin çok kriterli analiz yeteneği sayesinde en uygun tarım alanlarının belirlenebilmesindeki etkinliğini ortaya koymaktadır. Nagaraju ve diğerleri (2023) tarafından yapılan toprak kalitesi değerlendirmesi de, bahçecilik için uygun alanların belirlenmesinde CBS'nin önemini pekiştirmektedir.

Sulama yönetimi ve su taşkınlarının değerlendirilmesinde ise Kumar ve diğerleri (2025) Hindistan'da CBS tabanlı hidrolojik modelleme tekniklerini kullanarak taşkın riski yüksek bölgeleri belirlemiş ve yerel su yönetim politikalarına yön vermiştir. Zulkifli ve Bukari (2025) Malezya'da taşkın duyarlılık haritaları oluşturarak hem sulama altyapısı planlamasına hem de afet risk azaltımına katkı sağlamıştır. Abayzeed ve diğerleri (2024) tarafından

Sudan'da gerçekleştirilen taşkın etkileri analizi de, bölgedeki sulama altyapısının yeniden tasarımı için somut öneriler sunmuştur. Bu durum, CBS'nin sadece verimli su kullanımını değil, aynı zamanda iklim değişikliği ile artan taşkın risklerine karşı dayanıklı tarım stratejileri geliştirmedeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Uzaktan algılama (RS) verilerinin CBS ile entegrasyonu (İslam vd., 2025; Jensen, 2007) ise toprak nemi ve drenaj sorunlarının hızlı haritalanmasını sağlayarak bu süreçleri daha da verimli kılmaktadır.

Ürün tahmini ve verim analizlerinde ise Maalini ve diğerleri (2025) Hindistan'da makine öğrenmesi algoritmaları (Destek Vektör Makineleri ve Rastgele Orman) kullanarak toprak besin içeriği analizleri ile %22'ye varan verim artışı sağlayan tahmin haritaları oluşturmuştur. Pasichnyk ve diğerleri (2025) Ukrayna'da Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) gibi bitki indekslerini CBS ile entegre ederek ön sezon verim tahminlerini güvenilir hale getirmiştir. Torres ve diğerleri (2024) Kolombiya'daki kahve üretim bölgelerinde farklı rakım seviyeleri ve mikroiklim etkilerini CBS ortamında analiz ederek düşük ve yüksek verimli alanları sınıflandırarak stratejik bilgiler sunmuştur. Bu yaklaşımlar, CBS'nin uzaktan algılama ve yapay zeka ile entegrasyonunun, tarımsal planlamada öngörü yeteneğini nasıl artırdığını açıkça göstermektedir.

Seracılık ve bahçecilikte mekânsal izleme ve yönetim alanında İslam ve diğerleri (2025) Çin'deki solar seralarda sıcaklık, nem ve ışık gibi çevresel değişkenleri CBS ortamında üç boyutlu olarak modelleyerek enerji verimliliği ve bitki gelişimi arasında nedensel ilişki kurmuştur. Bu, mikro-çevresel koşulların hassas kontrolünde CBS'nin vazgeçilmez bir araç olduğunu teyit etmektedir. Al-Maimani ve Al-Ismaili (2019) Umman'da seraların zaman içindeki yayılımını inceleyerek altyapı erişilebilirliği ve uygun iklimsel koşulların belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Wanjala ve diğerleri (2022) Kenya'da seraların coğrafi dağılımını haritalandırarak bölgesel üretim stratejileri önermiştir.

Kentsel tarım ve bahçe planlamasında ise Liu, Chanse ve Chicca (2025) ABD'nin Baltimore kentinde afet sonrası gıda güvenliğini sağlamak için kentsel tarım alanlarını CBS ile analiz etmiştir. Bovkır (2024) İstanbul'daki çatıların kentsel tarım potansiyelini CBS destekli çok kriterli karar analizi (ÇKKA) yöntemiyle değerlendirerek yeşil altyapı planlamasına önemli girdiler sunmuştur. Orlando ve arkadaşları (2025) ise İtalya'da tarihi tarım yapılarının

yeniden işlevlendirilmesinde CBS tekniklerini kullanarak mekânsal sürekliliği ve kültürel peyzaj bütünlüğünü korumaya yönelik bir planlama modeli geliştirmiştir. Bu örnekler, CBS'nin kentsel alanlarda gıda üretimi, ekolojik sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin artırılmasındaki rolünü vurgulamaktadır.

Özellikle dikkat çekilmesi gereken bir diğer önemli nokta, CBS'nin yalnızca bireysel üretici kararlarını değil, aynı zamanda kamu politikaları, kentsel ve kırsal planlama stratejileri, afet yönetimi ve gıda güvenliği gibi daha geniş ölçekli konularda da etkin şekilde kullanılabilmesidir. Bu durum, CBS'nin tarımsal kalkınma hedefleriyle uyumlu, bilimsel temelli ve sürdürülebilir bir yönetim için vazgeçilmez bir teknolojik bileşen olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Bununla birlikte, CBS tabanlı tarım uygulamalarının daha da yaygınlaşması ve etkinleştirilmesi için bazı sınırlılıklar ve gelecek araştırma yönleri bulunmaktadır. Mevcut modellerde veri kalitesi ve erişilebilirliği, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hala önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Ayrıca, karmaşık çevresel ve ekonomik faktörleri entegre edebilen daha sofistike mekânsal-zamansal modellerin geliştirilmesi gerekmektedir. Gelecekteki araştırmalar, büyük veri analizi, yapay zeka ve Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörlerinden gelen gerçek zamanlı verilerin CBS platformlarıyla daha derin entegrasyonuna odaklanmalıdır. Bu sayede, otonom tarım sistemleri ve akıllı karar destek mekanizmaları için daha sağlam altyapılar oluşturulabilecektir.

Sonuç olarak, CBS; tarımsal üretimin optimize edilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve gıda güvenliğinin güvence altına alınmasında bilimsel temelli ve sürdürülebilir yönetişimin temel direği olarak konumlanmaktadır. Bu bağlamda, gelecekteki tarım politikalarının ve uygulamalarının şekillendirilmesinde CBS tabanlı çözümlerin rolü artarak devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Abayzeed, R., Elhag, A., & Hassan, A. (2024). Study of the effects of torrents and floods on agricultural land in El–Manaql City using GIS. *Journal of Karary University for Environmental Studies*.
- Al-Maimani, A. M., & Al-Ismaili, A. M. (2019). Spatio-temporal distribution of greenhouses and affecting driving factors in Al-Batinah South, Oman using GIS mapping. *International Journal of Agriculture*, 9(2), 35-42.
- Bovkır, R. (2024). İstanbul'da kentsel yeşil altyapı için çatı tarımı potansiyelinin CBS tabanlı karar analizi ile değerlendirilmesi. *Geomatik Dergisi*, 9(1), 45–60.
- Brown, K. H., & Jameton, A. L. (2000). Public health implications of urban agriculture. *Journal of Public Health Policy*, 21(1), 20–39.
- De Zeeuw, H., & Dubbeling, M. (2009). Cities, food and agriculture: Challenges and the way forward.
- Doğan, A., & Güzel, D. U. (2020). Amur üzümü (*Vitis amurensis* Rupr.) yetiştiriciliğinde CBS teknikleri kullanılarak mekânsal karar destek sistemi (MKDS) geliştirilmesinde Erciş-Van (Türkiye) örneği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural Medical Sciences*, 7(13), 227–243.
- Doğan, A., Kurt, U. K., Kurt, H., & Sargın, B. (2025). The future of agricultural lands fragmented by inheritance: The necessity of land consolidation in the case of Yomra. In *7th International Anatolian Scientific Research Congress* (pp. 207–221). Tunceli, Türkiye.
- Fayaz, A., Jamil, M., Singh, H., & Ahmed, P. (2025). Land suitability analysis for apple cultivation in mountainous Kashmir valley using scenario-based modelling. *Spatial Information Research*.
- Güzel, D. U., & Doğan, A. (2020). Erciş (Van) yöresinde üzüm (*Vitis* spp.) yetiştirmeye uygun potansiyel alanların coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak iklim, toprak ve topoğrafya faktörlerine göre belirlenmesi. *Yüzuncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(4), 672-687.
- Güzel, D. U., Doğan, A., & Uyak, C., (2024). Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for Grape Cultivation by Using a Geographical Information System (GIS): Çatak (Turkey) Example. *Der Erwerbsobstbau*, 66: 1683-1695.

- Islam, M. N., Reza, M. N., Iqbal, M. Z., Lee, K. H., & Jang, M. K. (2025). Spatial, temporal, and vertical variability of ambient environmental conditions in Chinese solar greenhouses during winter. *Applied Sciences*, 13(17), 9835.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective* (2nd ed.). Pearson Education.
- Doğan, A., Kandilli, M., & Kazankaya, A. (2021). Ceviz (*Junglas regia* L.) yetiştiriciliğinde CBS teknikleri kullanılarak mekânsal karar destek sistemi (MKDS) geliştirilmesinde Çatak-Van (Türkiye) örneği. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 8(17), 58–79.
- Keskin, N., Karaca, S., Alaeddinoğlu, F., Keskin, S., Doğan, A., Uyak, C., ... Gazioğlu Şensoy, R. İ. (2020). Determination with geographic information systems (GIS) of the existing Vineyard Areas in Hizan District of Bitlis Province. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 4(1), 131–136.
- Kumar, V., Jahangeer, J., Singh, R., & Dikshit, P. K. S. (2025). Advancement in hydrological modeling and water resources management for achieving Sustainable Development Goals (SDGs). *Frontiers in Water*.
- Liu, Y., Chanse, V., & Chicca, F. (2025). Enhancing post-disaster food security through urban agriculture in the context of climate change. *Land*, 14(4), 799.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). Wiley.
- Maalini, D., Kumar, V., SR, A. K., & Baskar, M. (2025). Machine learning-based soil nutrient analysis for optimized plant cultivation and precision agriculture. *IEEE*.
- Nagaraju, M. S. S., Kishore, M. A., Tarai, R. K., Rout, P. P., & Samal, K. C. (2023). Soil quality assessment using GIS in Central India. *ResearchGate*.
- Orlando, S., Catania, P., Greco, C., Ferro, M. V., & Vallone, M. (2025). Landscape transformation and the adaptive reuse of historical agricultural constructions in Bagheria (Sicily): A GIS-based approach to territorial planning. *Sustainability*, 17(14), 6291.

- Pasichnyk, R., Babala, L., Machulyak, M., & Yakymenko, Y. (2025). Modeling vegetation index dynamics in GIS based on remote observations. CEUR Workshop Proceedings.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Torres, I. D. A., Velásquez, C. A. C., & Cortés, F. J. R. (2024). Methodology to identify spatial patterns in coffee production. *Agronomía Colombiana*.
- Wanjala, G. W., Ouma, P. O., & Mutua, F. (2022). Geospatial analysis of greenhouse agriculture in Kenya. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(3), 457–465.
- Zulkifli, Y. J., & Bukari, S. M. (2025). GIS-based mapping of flood vulnerable areas in Iskandar Puteri. *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*.



ISBN: 978-625-378-292-41