



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XIX

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU

Doç. Dr. Cihan DEMİR



İKSAD
Publishing House

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR XIX

EDİTÖRLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU

Doç. Dr. Cihan DEMİR

YAZARLAR

Prof. Dr. Bilal KESKİN

Prof. Dr. Süleyman TEMEL

Doç. Dr. Hülya AKAT

Doç. Dr. Levent YAZICI

Dr. Meral DOĞAN

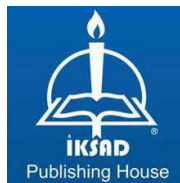
Dr. Yasemin AKTAŞ

Arş. Gör. Oğuz EROL

Peyzaj Mimarı Kaan ÇİÇEK

İshak BAYYİĞİT

İsmail TAŞ



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: 978-625-378-322-8

Cover Design: İbrahim KAYA

September / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

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

BÖLÜM 1

TARIMSAL ORMANCILIK (Agroforestry)

İshak BAYYİĞİT.....	3
---------------------	---

BÖLÜM 2

TOHUM DORMANSİSİ VE DORMANSİ KIRMA YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Bilal KESKİN , Prof. Dr. Süleyman TEMEL.....	21
--	----

BÖLÜM 3

ZEYTİN BİTKİSİNİN HAYVAN BESLENMESİNDE KULLANIMI

Prof. Dr. Süleyman TEMEL , Prof. Dr. Bilal KESKİN.....	37
--	----

BÖLÜM 4

TÜRKİYE’DE TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER ÜRETİMİ, TİCARETİ VE PROJEKSİYONU

Doç. Dr. Levent YAZICI, Arş. Gör. Oğuz EROL.....	55
--	----

BÖLÜM 5

TÜRKİYE’DE LİF BİTKİLERİ ÜRETİMİ MEVCUT DURUMU VE PROJEKSİYONU

Doç. Dr. Levent YAZICI, Arş. Gör. Oğuz EROL.....	77
--	----

BÖLÜM 6

TÜRKİYE’DE BAĞCILIĞIN YERİ VE ÖNEMİ: SULTANİ ÇEKİRDEKSİZ ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MANİSA GÖZLEMİ

Dr. Meral DOĞAN.....	95
----------------------	----

BÖLÜM 7

SULAMA SUYU OLARAK ATIK SU KULLANIMININ OLUŞTURDUĞU SAĞLIK RİSKLERİ

İsmail TAŞ.....	111
-----------------	-----

BÖLÜM 8

SU VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMADA ETKİLİ YÖNTEM: KONTROLLÜ DRENAJ

İsmail TAŞ.....177

BÖLÜM 9

PEYZAJ DÜZENLEME ALANLARINDA KURAKLIK STRESİNE KARŞI GELİŞTİRİLEN STRATEJİLER

Peyzaj Mimarı Kaan ÇİÇEK , Doç. Dr. Hülya AKAT.....229

BÖLÜM 10

ENDÜSTRİYEL HAMMADDELERİN MODERN TARIMDAKİ ROLÜ: VERİMLİLİK, RİSKLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Dr. Yasemin AKTAŞ.....275

ÖNSÖZ

Doğa, insanlığın en kadim öğretmeni; toprak, orman ve su ise bu öğretinin temel taşlarıdır. Binlerce yıldır insan, yaşamını sürdürebilmek için toprağı ekip biçmiş, ormanlardan faydalanmış, su kaynaklarından beslenmiş ve bu kaynaklarla birlikte var olmanın yollarını aramıştır. Günümüzde ise bu kadim ilişkinin sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde yeniden tanımlanması, her zamankinden daha büyük bir önem taşımaktadır.

Elinizdeki bu kitap; ziraat, orman ve su ürünleri alanlarında çalışan araştırmacılar, öğrenciler, uygulayıcılar ve doğa ile ilgilenen herkes için temel bir başvuru kaynağı olma amacıyla hazırlanmıştır. Bu alanların her biri, hem ülkemizin hem de dünyanın doğal kaynak yönetimi açısından stratejik öneme sahiptir. Tarımsal üretimin verimliliği, ormanların ekosistem hizmetleri ve sucul kaynakların sürdürülebilir kullanımı, sadece ekonomik değil, aynı zamanda ekolojik ve sosyal birer sorumluluktur.

Kitapta yer alan bölümler; güncel bilimsel bilgiler ışığında, uygulamalı örneklerle desteklenmiş ve disiplinler arası bir anlayışla kaleme alınmıştır. Amacımız, bu alandaki bilgi birikimini sadece paylaşmak değil, aynı zamanda okuyucunun doğa ile olan bağıını güçlendirecek bir farkındalık oluşturmaktır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm yazar ve katkı sağlayanlara teşekkür eder, okuyucuların bu eserden en yüksek verimi elde etmelerini temenni ederiz.

Doğaya duyulan saygıyla...

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU¹

Doç. Dr. Cihan DEMİR²

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, gbengisu@harran.edu.tr, 0000-0003-1214-0011

² Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ, cihan.demir@klu.edu.tr, 0000-0001-7550-2644

BÖLÜM 1

TARIMSAL ORMANCILIK (Agroforestry)

İshak BAYYİĞİT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224182>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Mardin, ORCID:0000-0001-9190-4985

Giriş

Tarımın önemi

İnsan medeniyetinin görkemli dokusunda tarım her zaman merkezi ve vazgeçilmez bir rol oynamıştır. Atalarımızın toprağı ilk kez işleyip yabani bitkileri evcilleştirdiğı yerleşik yaşamın başlangıcından, günümüzün geniş ve teknolojik olarak gelişmiş çiftliklerine kadar tarım, toplumların geliştiğı temel yapı taşı olmuştur. Tarım, insan yaşamını sürdürmek ve ekonomik kazanç sağlamak için doğal kaynakları işleme uygulaması olup, bitki ve hayvan yetiştirmede kullanılan beceri ve hayal gücünü, modern üretim yöntemleri ve yeni teknolojilerle birleştirir (Pawlak ve Kołodziejczak, 2020; Kocira ve Staniak, 2025).

Tarım aynı zamanda küresel ekonomiye tahıl, hayvancılık, süt ürünleri, lif ve yakıt hammaddeleri gibi ticarete kullanılan temel mallar sağlayan bir iş koludur. Tarım ve gıda, herhangi bir ulus ve ülkenin en önemli unsurlarıdır. Son yıllarda yapılan çalışmaların çoğı tarımda sürdürülebilirlik konularına odaklanmakta olup, tarımda sürdürülebilirlik, çevreyi koruyarak, doğal kaynakları geliştiren ve genişleten, yenilenemeyen kaynakları en iyi şekilde değerlendirecek şekilde tarım yapmak olarak tanımlanmaktadır (Liu vd. 2024; Ben Hassen vd. 2025; Popescu vd. 2025).

Dünya genelinde, çevre dostu olmayan endüstriyel tarımda kaynak ve enerji tüketimindeki yaygın artış nedeniyle, alternatif olabilecek tarım sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sistemler verimi artırarak sadece insanların gıda güvenliği taleplerini karşılamamakta, aynı zamanda ürün kalitesini de iyileştirerek, sürdürülebilirlik bağlamında tarımsal ekosistemin çok işlevselliğini desteklemektedir. Sürdürülebilir tarım araştırmaları ve uygulamaları son 40 yılda kayda değer sonuçlar elde etmiş olsa da, sosyal ekonominin gelişimi ve dünya tarımının mevcut zorlukları, tarımın geleceğini iyileştirmek için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir.

Tarımsal ormancılık, ağaçları, mahsulleri ve hayvanları karşılıklı olarak faydalı bir şekilde bütünleştiren bir arazi yönetimi yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Tarımsal ormancılık, karmaşık bir terim olsa da, daha iyi bir çevre oluşturmak ve yoksulluğı azaltmak için mükemmel bir sürdürülebilir tarım yöntemidir (Şekil 1).



Şekil 1. Tarımsal ormancılık sisteminin basitçe gösterilişi

Tarımsal ormancılık, tüm tarafların birbirinden faydalanabilmesi için mahsül ve/veya hayvancılıkla birlikte ağaçların bilinçli bir şekilde yetiştirilmesidir. Tarımsal ormancılık, biyoçeşitliliği, toprak nemini ve verimliliğini artırarak çeşitlendirilmiş gıda üretimi ve daha sağlıklı ve artan verim sağlar. Sistemde yer alan ağaçlar toprak erozyonunu önler ve karbondioksiti emerek üretkenlik sağlar ve iklim değişikliğinin etkisini azaltırlar. Sistemin ayrılmaz parçası olan ağaçlar gölge yapma yanında, hayvanlar için yem, kompost malzemesi ve hatta toprağa nem sağlar. Bir tarımsal ormancılık ağacı, tükettiğinden daha fazla su ile sisteme katkıda bulunur. Tarımsal ormancılık, doğal bir ekosistemin yeniden oluşmasına yardımcı olur. Neticede, daha fazla ürün, daha iyi bir iklim ve iklim değişikliğinin etkilerine karşı artan dirençle sonuçlanır (Roy vd. 2025).

Neden tarımsal ormancılık

Odunsu bitki örtüsünün mahsul ve/veya hayvan sistemleriyle bilinçli bir şekilde birleştirilmesi olarak tanımlanan Tarımsal ormancılık, mevcut çevresel zorluklarla başa çıkabilen, sürdürülebilirlik kavramına uygun bir tarımsal yönetim sistemi olarak bilinmektedir. Tarımsal ormancılık, bitki ve hayvan türlerini ağaçlar ve odunsu çalılarla birleştiren bir arazi kullanım sistemidir. Tarımsal ormancılık sistemleri, çevresel sürdürülebilirliği ve verimliliği artırmak için ekolojik olarak dost, kaynak verimli tarım uygulamalarıyla yerel, küçük ölçekli çiftçiliğe vurgu yapar (FAO, 2022). Tek sağlık yaklaşımıyla

insanların, hayvanların ve çevrenin sağlığını dikkate alan tarımsal ormancılık gibi modellerin uygulanması, iklime dayanıklı gıda sistemlerine ulaşmada kritik öneme sahiptir.

Bir tarımsal ormancılık sisteminin parçası olan unsurların entegrasyonundan kaynaklanan ekolojik ve ekonomik faydalar, tarım arazilerinin çok işlevliliğini destekleyebilir ve gıda üretimiyle ilişkili çeşitli problemleri ortadan kaldırabilir. Tarımsal ormancılığın karbon sekestrasyonuna fayda sağladığı, toprak erozyonunu azalttığı, biyoçeşitlilik üzerindeki olumsuz etkileri sınırladığı, sera gazı emisyonlarını ve besin maddelerinin sızmasını azalttığı, bitkiler için aşırı hava olaylarına karşı tampon görevi gördüğü ve ürün üretiminin zamansal istikrarını artırdığı gösterilmiştir. Dahası, tarımsal ormancılık sistemleri sosyokültürel faydaları da artırır. Bununla birlikte, tarım arazilerindeki ağaçlara yönelik algılanan olumsuz bakış açısı, yetersiz tanımlama ve politika desteği veya karmaşık sistemleri yönetme konusunda bilgi eksikliği gibi çeşitli zorluklar, tarımsal ormancılık sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesini engellemektedir (Roy vd. 2025).

Tarımsal ormancılık sistemi Dünya’da güncelliğini korumakta olup, araziden maksimum düzeyde yararlanılmasını amaçlanmaktadır. Tarımsal ormancılık sistemleri, üretilen bitkilerin birbirleriyle faydalı ve zararlı etkileşimlerini düzenlemek ve sürdürülebilirliği artırmak için tasarlanmıştır. Sistemde toprağın korunması ve daha sağlıklı hale getirilmesi oldukça önemli olup, sistem toprağın iyileştirilmesine yardımcı olur (Fahad vd. 2022). Tarımsal ormancılık toprak biyotasını iyileştirir. Biyota, toprak organik maddesinin ayrışmasındaki, besin döngüsündeki ve dolayısıyla toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkileyen rolleri nedeniyle toprak sağlığı ve ekosistem sürdürülebilirliği açısından kritik kabul edilir; bu da nihayetinde toprak verimliliğini ve uzun vadeli sürdürülebilirliği belirler (Chaudhary ve Ghaley, 2025)

Tarımsal ormancılık hem olumlu hem de olumsuz anlamda mahsullerin birbirleri ile etkileşimlerini de içerir. En yaygın etkileşim, ışık, su veya topraktaki besinler için ortaya çıkan rekabettir. Rekabet, her zaman herhangi bir mahsulün büyümesini ve verimini azaltır. Ancak rekabet, monokültürde de meydana gelir ve tarımsal ormancılık sistemlerinde daha az zararlı olduğu kabul edilir. Etkileşimler, ağaçlar, meralar ve yiyecek arayan hayvanlar örneğinde olduğu gibi tamamlayıcı olabilir; ağaçlar gölge ve/veya yem

sağlarken, hayvanlar gübre sağlar. Sistem, gıda, yem, yakıt, lif üretimi yanında, toprak verimliliğini artırma gibi bir dizi fayda sağlamak üzere tasarlanmıştır (Rolo, 2022).

Tarımsal ormancılık sistemleri, ağaçlardan birçok amaçla yararlanır: toprağı tutmak, azot fiksasyonu yoluyla verimliliğı artırmak veya mineralleri toprağın derinliklerinden getirip yaprak dökümüyle biriktirmek, gölge sağlamak, yapı malzemesi (kereste), gıda ve yakıt üretmek. Tarımsal ormancılık sistemleri, bir yaşam biçimini tanımlayan birçok alt sistemi içeren, çiftlik sisteminin temel parçaları olarak düşünülebilir.

Faydaları

Tarımsal ormancılık, birim arazi başına verimliliğı artırdığı için gıda üretimi için ekilebilir arazi kıtlığının olumsuz etkilerini hafifletebilir. Tarımsal faaliyetlerin genişlemesinin orman bozulması ve parçalanmasında keskin bir artışla ilişkilendirildiğı gelişmekte olan ülkelerde, ekilebilir arazi eksikliği özellikle endişe vericidir. Geleneksel tarımsal ormancılık bu bölgelerde onlarca yıldır uygulanmaktadır, ancak bunlar genellikle küçük sistemlerdir ve birçok hanede geçimlik bir uygulama olarak yönetilmektedir; bu nedenle, tarımsal ormancılığın tüm potansiyelini ortaya çıkarmamaktadır. Tarımsal ormancılığın yaygın olarak benimsenmesini sınırlandıran veya halihazırda kurulmuş tarımsal ormancılık sistemlerindeki üretim potansiyelini engelleyen birçok engel hâlâ mevcuttur. Okuryazarlık düzeyi, finansal destek ve arazi kullanım hakkı gibi sosyoekonomik arka plan, küçük tarımsal ormancılık sistemlerinin üretim potansiyelini artırmanın önündeki temel engellerdir. Bu engellerin, düşük okuryazarlık seviyesi nedeniyle teknolojik yeniliklerin benimsenmesiyle aşılamadığını ifade etmektedir. Sisteme uygun türlerin ve ekim düzenlemelerinin dikkatli bir şekilde seçilmesiyle başarı sağlanabileceğı açıktır. Yeni türlerin tanıtılması veya yerel ürünlerin alternatif kullanımı, kırsal kalkınmayı ve yerel toplulukların dayanıklılığını artırabilir. Yerel toplulukları karar alma sürecine dahil etmenin kırsal ekonomilerin sürdürülebilir kalkınması için kilit öneme sahip olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Achmad vd. 2022; Bas vd. 2022; Octavia vd. 2022).

Tarımsal ormancılığın faydaları aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenebilir

- Yıl boyunca gıda ve faydalı ve satılabilir ürün üretiminin iyileştirilmesi
- Yıl boyunca iş gücü ve kaynak kullanımının iyileştirilmesi
- Toprakların (özellikle baklagiller dahil edildiğinde) ve su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi
- Arazi kullanımında verimliliğin artırılması
- Ağaç dikme maliyetini karşılayan kısa vadeli gıda üretimi
- Gölge gerektiren veya gölgeye dayanıklı sebze veya diğer mahsuller için gölge sağlanması
- Orta ve uzun vadeli meyve üretimi
- Uzun vadeli yakıt ve kereste üretimi
- Gıda veya satış için toplam üretimin artırılması

Tarihçesi

Tarımsal ormancılık oldukça eskiye dayanan bir sistemdir. Son kırk yılda, tarımsal ormancılık olgunlaşmış ve öncelikle marjinal topraklarda tarımsal verimliliği sürdürmenin ve aşırı azotlu gübre ve pestisit kullanımından kaynaklanan su basması ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi ikinci nesil sorunları çözenin bir yolu olarak, uluslararası bilim camiasının dikkatini çekmeye başlamıştır. Araştırma çalışmaları, maden atıkları ve kıyılardaki bozulmuş alanlar gibi tuzlu, sulak ve bozulmuş ekolojiler de dahil olmak üzere bozulmuş alanların çoğunun, plantasyon tabanlı tarım sistemleri, yüksek değerli tıbbi ve aromatik bitkiler, hayvancılık, balıkçılık, kümes hayvanları, orman ve meyve ağaçları ve sebzeler gibi yüksek getirili bileşenleri içeren uygun tarımsal ormancılık tekniklerinin benimsenmesiyle verimli hale getirilebileceğini göstermiştir (Rolo, 2022; Roy vd. 2025).

Tarımsal ormancılık, hem sanatı hem de bilimi bir araya getirerek, ekinler veya hayvanların yanında ağaç veya diğer odunsu çok yıllık bitkileri yetiştirme uygulamasını ifade eder. Tarımsal ormancılığın tarihi, kendine özgü yapısıyla karakterize edilir. Arkeolojik kanıtlar, Güney Asya'da erken ağaç evcilleştirmesinin Mezolitik döneme (MÖ 10.000-4000) kadar uzandığını göstermektedir. Meyve ağaçlarının yetiştirilmesi ve tarıma hayvancılığın entegrasyonu protohistorik dönemlerde yaygındı (Dagar ve Tewari, 2017). Orta Çağ boyunca Avrupa'da tarımsal ormancılık uygulamaları ormanların

temizlenmesini, çalılıkların yakılmasını, ekinlerin yetiştirilmesini ve ağaç dikilmesini içeriyordu. Ormanlık alanlar temizlenirken, ağaçların dikilmesi veya korunması yaygın bir uygulamaydı ve bu da ağaçların birkaç dikim döngüsü boyunca dikilmeden kalmasına olanak sağlıyordu. Bu, aynı arazi parçasında hem ağaçların hem de ürünlerin eş zamanlı olarak dikilmesini içeriyordu (Mazoyer ve Roudart, 1997).

19. yüzyılda orman ve plantasyonların kurulması, tarımsal ormancılığın önemli bir unsuru haline geldi. Bu noktadan sonra uygulama hızla yaygınlaştı ve 1887 gibi erken bir tarihte Güney Afrika'ya, 1890'da ise sömürge Hindistan'ın Chittagong ve Bengal bölgelerine tanıtıldı. Tarımsal ormancılık, Asya, Afrika ve Latin Amerika'ya yayıldı. 1975'te, Kanada Uluslararası Kalkınma Araştırma Merkezi (IDRC), tropikal arazi kullanımını en üst düzeye çıkarmak için ormancılık, tarım ve hayvancılığı entegre ederek tarımsal ormancılığı teşvik etti. Bu rapor, tarımsal ormancılığı açlık, barınma ve çevresel bozulmaya bir çözüm olarak ortaya koydu. 1977 yılında Uluslararası Tarımsal Ormancılık Araştırma Konseyi (ICRAF) tarımsal ormancılığı kurumsallaştırdı. Tarımsal ormancılık alanındaki küresel stratejik araştırma, 1991 yılında Uluslararası Tarımsal Araştırma Danışma Grubu (CGIAR) tarafından başlatılmıştır. Tarımsal ormancılık, şu anda Missouri Üniversitesi ve Florida Üniversitesi de dahil olmak üzere dünya çapındaki kurumlarda öğretilmektedir.

Tarımsal ormancılık konsepti

Bu yaklaşım, üretkenliği, sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı artırmak için ağaçlar, mahsuller ve hayvancılık arasındaki etkileşimlerden yararlanır (Şekil 2). Tarımsal ormancılık konseptinin temel unsurları şunlardır:

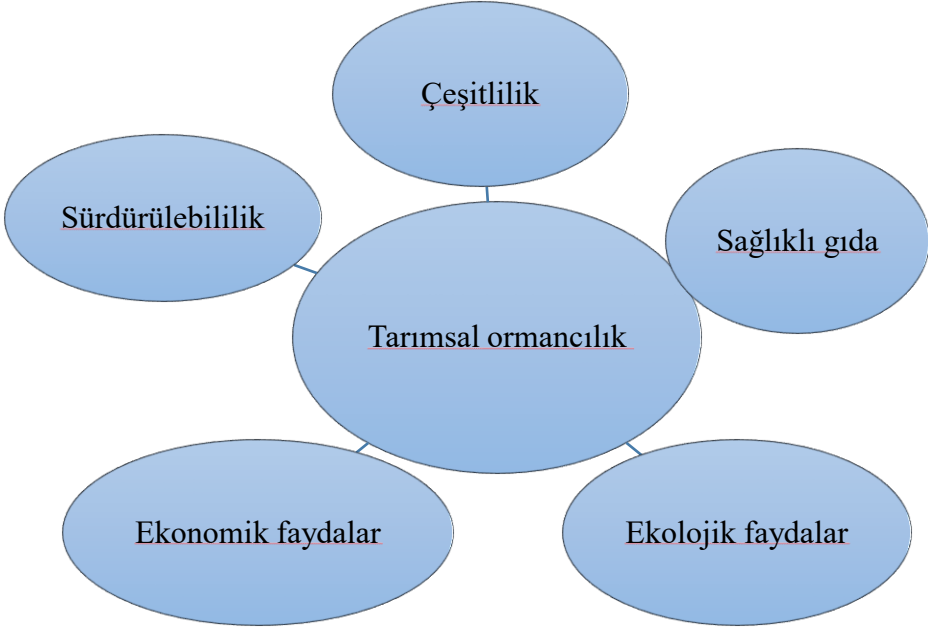
a) Çeşitlendirme: Çeşitli bitki ve hayvan türlerini bir araya getiren tarımsal ormancılık sistemleri, biyolojik çeşitliliği teşvik eder ve monokültürlerle ilişkili riski azaltarak daha dayanıklı tarım alanları oluşturur.

b) Ağaçlar ve tarımın entegrasyonu: Tarımsal ormancılık sistemleri, odunsu çok yıllık bitkileri (ağaçlar ve çalılar) tarımsal mahsuller ve/veya hayvancılıkla bilinçli olarak birleştirerek, genel üretkenliği ve sürdürülebilirliği artıran etkileşimleri teşvik eder.

c) Sürdürülebilir arazi kullanımı: Tarımsal ormancılık uygulamaları, toprak verimliliğini artırarak, erozyonu azaltarak, suyu koruyarak ve mikro

iklimleri iyileştirerek tarımın uzun vadeli sürdürülebilirliğini iyileştirmeyi amaçlar.

d) Çoklu çıktılar ve hizmetler: Tarımsal ormancılık sistemleri, çeşitli ürünler (gıda, yem, yakıt, kereste, odun dışı orman ürünleri) ve ekosistem hizmetleri (karbon tutulması, biyolojik çeşitliliğin korunması, toprak ve suyun korunması) üretmek üzerine tasarlanmıştır.



Şekil 2. Tarımsal ormancılık konsepti ve faydaları

e) Ekolojik ve ekonomik faydalar: Ağaçların tarımsal sistemlere entegre edilmesi, ekolojik istikrarın ve ekonomik sürdürülebilirliğin artmasına yol açabilir. Ağaçlar toprak sağlığına katkıda bulunur, ürünler ve hayvanlar için gölge ve barınak sağlar ve neticede kereste ve odun dışı ürünlerin satışı yoluyla ek gelir kaynağı olabilir.

f) Uyum: Tarımsal ormancılık uygulamaları çeşitli iklim ve ekolojik koşullara uyum sağlayabilir ve bu da onları farklı bölgeler ve tarım ortamları için uygun hale getirir.

Bu maddelerin anlaşılması ve uygulanmasıyla tarımsal ormancılık, insanların ve çevrenin ihtiyaçlarını dengeleyen, daha dayanıklı ve üretken tarım sistemlerine giden bir yol sunmaktadır.

Tarımsal ormancılık ve prensipleri

Tarımsal ormancılık uygulaması, tarım ve ormancılık tekniklerinin uyumlu birlikteliğiyle oluşan faydalı bir sistemdir (Gitari vd. 2024). Sistemin temel bileşenleri verimlilik, ekolojik istikrar ve sosyo-ekonomik faydalar üzerine kuruludur. Temel bileşenler arasındaki etkileşimlerin optimizasyonu sistemin başarısı için kaçınılmazdır.

Tarımsal ormancılığın ekolojik ilkeleri

Tarımsal ormancılık sistemleri, çeşitli bitki ve hayvan türlerini destekleyen çeşitli habitatlar oluşturarak biyolojik çeşitliliğin korunmasında önemli bir rol oynar. Bu sistemler, habitat zenginliğini artıran ve ekolojik etkileşimleri teşvik edecek şekilde ağaçları, mahsulleri ve bazen de hayvanları entegre eder.

Biyçeşitliliğin korunması

Tarımsal ormancılığın, tarımsal alanlarda tür kaybını azaltmanın yanı sıra, nesli tükenmekte olan türlerin korunması için de önemli olduğu belirlenmiştir (Torralba vd. 2016; Udawatta vd. 2019). Biyçeşitliliğin korunması, Avrupa için 2030 hedeflerinden biridir ve gıda ve lif üretimi ile düzenleme ve kültürel hizmetler de dahil olmak üzere, insan refahına fayda sağlayan bir dizi hizmete katkıda bulunmaktadır (AB Biyçeşitlilik Stratejisi 2030).

Tarımsal ormancılığın temel faydalarından biri, tarımsal biyçeşitliliği koruma ve geliştirme yeteneğidir. Farklı ağaç ve ürün türlerini bir araya getirerek, tarımsal ormancılık sistemleri çok çeşitli organizmaları destekleyen çeşitli mikro habitatlar sağlar. Bu çeşitlilik, ekosistem dayanıklılığını ve işlevini korumak için hayati önem taşır. Örneğin, tarımsal ormancılık uygulamalarının, toprak sağlığı ve verimliliği için gerekli olan simbiyotik azot bağlayıcılar, fosfatı çözen organizmalar ve hastalıkları önleyen endofitik mikroplar dahil olmak üzere mikrobiyal çeşitliliği desteklediği gösterilmiştir (Sridhar ve Bagyaraj, 2017). Dahası, tarımsal ormancılık sistemleri ekolojik koridorlar görevi görerek türlerin habitatlar arasında hareketini kolaylaştırabilir ve doğal alanların parçalanmasını azaltabilir. Bu bağlantı, özellikle doğal habitatların tarım için büyük ölçüde temizlendiği alanlarda birçok türün hayatta kalması için hayati önem taşır. Genel olarak, tarım ormancılığının çok işlevli

arazi yönetimi, tarımsal üretimi ekolojik sürdürülebilirlikle bütünleştirerek biyolojik çeşitliliğin korunmasını destekler. Bu yaklaşım yalnızca biyolojik çeşitliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda toprak sağlığının iyileştirilmesi, su düzenlemesi ve iklim değişikliğinin azaltılması gibi ek faydalar da sağlar (Ghosh vd. 2014).

Toprak sağlığı ve verimliliği

Toprak ekosistemlerinin işleyişi esas olarak toprak biyoçeşitliliğine ve toprak organik madde içeriğine bağlıdır. Ormansızlaşma, ürün artıklarının temizlenmesi, aşırı otlatma, aşırı mekanik toprak işleme ve sulama gibi uygunsuz arazi kullanım uygulamaları, toprak besin kayıplarına ve arazi bozulmasına katkıda bulunan başlıca faktörlerdir. Organik madde eksikliği toprak verimliliğini azaltır ve nihayetinde tarımsal üretimin azalmasına neden olur. Toprak verimliliğini korumak için birçok geleneksel yöntem önerilmiştir; bunlar arasında tarımsal ormancılık, çoklu faydaları olan potansiyel bir sistemdir. Tarımsal ormancılıktaki odunsu çok yıllık bitkiler, biyolojik azot fiksasyonu ve biyokütlelerindeki besin maddelerinin depolanması yoluyla ürünlere besin girdileri sağlayabilir. Ağaç kökleri, toprağın daha derin katmanlarından çeşitli makro ve mikro besinleri alır ve bunlar daha sonra köklerin ve çöplerin ayrışması sırasında toprağın en üst katmanına salınır ve tarımsal ürünlere besin sağlamada potansiyel olarak kullanılabilir. Tarımsal ormancılık sistemleri, toprak yapısını, besin bulunabilirliğini ve biyolojik aktiviteyi artıran çeşitli mekanizmalar aracılığıyla toprak sağlığına ve verimliliğine önemli ölçüde katkıda bulunur. Tarımsal ormancılığın toprak sağlığını iyileştirmesinin temel yollarından biri, yaprak döküntülerinden ve kök biyokütlesinden toprağa organik madde eklemektir. Bu organik madde, toprak yapısını iyileştirir, su sızmasını ve tutulmasını artırır ve besin döngüsünü iyileştirir. (Ranjan vd. 2023). Organik maddenin toprak mikroorganizmaları tarafından ayrıştırılması, bitki büyümesi için gerekli olan besinleri serbest bırakarak toprak verimliliğini artırır (Dollinger ve Jose, 2018). Tarımsal ormancılık sistemleri, yağmur damlalarının toprak yüzeyindeki etkisini azaltarak ve toprağı kök sistemleriyle stabilize ederek toprakları erozyondan korur (Fahad vd. 2022). Tarımsal ormancılık ayrıca, faydalı mikroplar ve toprak faunası da dahil olmak üzere çeşitli toprak organizmaları için habitatlar sağlayarak topraktaki biyolojik aktiviteyi de destekler. Bu organizmalar besin

döngüsünde, toprak yapısının oluşumunda ve toprak kaynaklı hastalıkların baskılanmasında önemli bir rol oynar. Ağaçların varlığı, topraktaki mikrobiyal çeşitliliği artırarak tarımsal ekosistemin genel sağlığına ve dayanıklılığına katkıda bulunur (Sahoo vd. 2024).

Su yönetimi

Tarımsal ormancılığın toprak karbonu ve toprak özelliklerini iyileştirerek su düzenlemesinde (tarım arazilerinde, meralarda, su havzalarında ve korunan alanlarda) önemli bir rol oynadığını ve bunun da toprak suyunu hem kalite hem de miktar olarak artırdığını göstermektedir. Su düzenlemesi için en iyi tarımsal ormancılık uygulamaları silvipastoral sistemler (meralarda ağaçlar), ekili alanlarda ağaçlar, iyileştirilmiş nadaslar, ev bahçeleri, ara sokak tarımı, tampon bölge tarımsal ormancılığı, bambu bazlı tarımsal ormancılık, kakao bazlı tarımsal ormancılık, kauçuk bazlı tarımsal ormancılık, kahve bazlı tarımsal ormancılık ve canlı çitlerdir. Politika yapıcılarının görevi, su düzenlemesine uygun tarımsal ormancılık uygulamalarının benimsenmesini destekleyen politikalar oluşturmak ve uygulamaktır (Awazi vd. 2024).

Bu nedenlerle etkili su yönetimi, tarımsal ormancılığın bir diğer kritik ekolojik ilkesidir. Ağaçların tarımsal alanlara entegrasyonu, suyun sızması, tutulması ve dağıtımı da dahil olmak üzere su dinamiklerini etkiler. Tarımsal ormancılık uygulamaları, toprak yapısını iyileştirerek, yüzeysel akışı azaltarak ve verimli su kullanımını teşvik ederek su yönetimini geliştirir. Tarımsal ormancılık sistemlerindeki ağaçlar, toprak yapısını iyileştirerek su sızmasını artırır ve yüzeysel akışı azaltır. Bu artan sızma, toprakta daha fazla su depolanmasını sağlayarak, bitkilerin ekilmesi ve dikilmesi için kullanılabilir hale getirir ve toprak erozyonu riskini azaltır. Çalışmalar, çit ara ve ara yol ekim ve dikimi gibi tarımsal ormancılık uygulamalarının, geleneksel tarım sistemlerine kıyasla toprak su tutulumunu önemli ölçüde artırdığını ve yüzeysel akışı azalttığını göstermiştir (Fahad vd. 2022). Ağaçların sağladığı gölge, toprak yüzeyinden buharlaşmayı azaltarak toprak nemini korur ve mahsullerin su kullanım verimliliğini artırır (Gupta, 2020). Ayrıca, tarımsal ormancılık sistemleri, arazi boyunca akan suyun hızını ve hacmini azaltarak havza yönetiminde rol oynar. Su akışındaki bu azalma, su baskını riskini en aza indirir ve tortuları ve besinleri su kütlelerine girmeden önce filtreleyerek su kalitesini artırır. Bu nedenle, ağaçların ve mahsullerin tarımsal ormancılık sistemlerine

entegrasyonu, havzaların genel sağlığına ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunur (Ghosh vd. 2014). Bu faydalar, sürdürülebilir tarım sistemlerinin etkinliği ve su kaynaklarının korunması için elzemdir (Achiso ve Masebo, 2019).

Tarımsal ormancılığın sosyoekonomik ilkeleri

Ağaç ve çalılar tarımsal ve hayvansal tarım sistemlerine bilinçli bir şekilde entegre edilmesi olan tarımsal ormancılık, çok sayıda sosyoekonomik fayda sağlar. Bu faydalar üç ana başlık altında toplanabilir: geçim kaynaklarının iyileştirilmesi, gıda güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik.

Tarımsal ormancılık sistemleri, kırsal toplulukların geçim kaynakları üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Tarımsal ormancılık, çiftlik üretimini çeşitlendirerek hane halkı gelirini önemli ölçüde artırabilir. Tarımsal ormancılık sistemlerindeki ağaçlar ve çalılar, satılabilen veya geçimlik olarak kullanılabilen meyve, yem, yakacak odun ve kereste gibi ürünler sağlar (Garrity vd. 2010).

Tarımsal ormancılık, çeşitli gıda kaynakları sağlayarak ve tarımsal üretkenliği artırarak gıda güvenliğine katkıda bulunur. Ağaç ve çalılar varlığı, azot fiksasyonu ve organik madde ilavesi yoluyla toprak verimliliğini artırabilir ve bu da daha yüksek ürün verimine yol açabilir. Ayrıca, tarımsal ormancılık sistemleri, meyve ve diğer yenilebilir ürünler sağlayarak kurak mevsimlerde gıda kıtlığına karşı bir tampon görevi görebilir (Pretty, 2012).

Tarımsal ormancılık sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliği, sosyoekonomik faydalarının bir diğer önemli yönüdür. Tarımsal ormancılık, yüksek değerli ağaç ürünlerinin üretimi ve girdi maliyetlerinin düşürülmesi yoluyla çiftlik kârlılığını artırabilir. Örneğin, azot bağlayıcı ağaçların entegrasyonu, kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerini düşürebilir. Tarımsal ormancılık sistemleri tarımsal uygulamaların sürdürülebilirliğini artırarak uzun vadeli ekonomik faydalar sağlayabilir.

Unsurları

Alan

Tarımsal ormancılık, balkonda saksı veya sera gibi bir sistem değildir. Tarımsal kaynak olan araziye, sahibinin yararına ve toplumun uzun vadeli refahı için yönetmeyi amaçlayan bir sistemdir.

Ağaçlar

Tarımsal ormancılık sistemlerindeki ağaçların toprağın organik karbon içeriği ve yer üstü ve yer altı biyokütlesinde depolanan karbon üzerindeki olumlu etkisi, tarımsal arazilerde atmosferik karbon sekestrasyonuna teşvik edebilir. Ancak, bitki örtüsü katmanları arasındaki etkileşim çoğunlukla rekabetçiye, ağaçların varlığı verimi düşürebilir. Tarımsal ormancılıkta, çok amaçlı ağaçlara veya çok yıllık çalılara özel önem verilir. Sistemde kullanılabilecek ağaç ve çalılar, farklı meyve türleri, yenilebilir yaprak ve diğer gıda kaynakları olabileceği gibi, kereste olarak kullanılabilecek meyve türlerini de içerebilir. Bu ağaçların tarımsal ormancılık sistemlerinde kullanımını planlamak için, özellikleri hakkında önemli ölçüde bilgi sahibi olmak gerekir. İstenilen bilgiler arasında yukarıda açıklanan kullanımlar, türün iklimsel adaptasyonları (çeşitli toprak ve stres koşullarına adaptasyonlar dahil), bitki örtüsünün boyutu ve biçimi ile kök sistemi ve çeşitli tarımsal ormancılık uygulamalarına uygunluğu yer almaktadır.

Ağaç dışı ürünler

Tarımsal ormancılık sistemlerinde herhangi bir ürün bitkisi kullanılabilir. Bu tür sistemlerin tasarımında bitki seçimi, belirli bir bölgede halihazırda pazarlanmak, hayvan beslemek veya ev tüketimi için üretilen veya bölgede üretim için büyük umut vadeden bitkilere dayanmalıdır. Ancak, tarımsal ormancılık felsefesine uygun olarak, bitki seçiminde aşağıdakiler de dahil olmak üzere bazı diğer değerler gözetilmelidir:

- Para kazanmak için ürünler
- Çiftçiye beslemek için ürünler
- Hayvanları beslemek için ürünler
- Toprağı korumak için ürünler

Bu nedenle, ürün seçimi, ürün bilgisi, adaptasyonları, üretim kullanımlarının yanı sıra aile ihtiyaçları, takas fırsatları ve pazarlar hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir. Herhangi bir çiftlik hayvanı tarımsal ormancılık sistemlerinde kullanılabilir.

Sonuç

Tarımsal ormancılık, ağaçları ve diğer odunsu çok yıllık bitkileri tarımsal ürünler veya hayvancılıkla bütünleştirme uygulamasıdır. Sanat ve bilimi

harmanlayan bu uygulama, Güney Asya'daki Mezolitik dönemden Orta Çağ'a kadar uzanan zengin bir geçmişe sahiptir. Tarımsal ormancılığın temel kavramı, verimliliği, ekolojik istikrarı ve sosyoekonomik faydaları optimize etmek için aynı arazide ağaç, ürün ve hayvancılık kullanımını içerir. Bu yaklaşım, üretimi koruma, erozyonu kontrol altına alma, toprak verimliliğini artırma ve iklim değişikliğini hafifletme ile birleştirir. Tarımsal ormancılık, gıda güvenliği ve yoksulluğun azaltılması gibi zorluklara doğa temelli çözümler sunarak çeşitlendirilmiş gelir kaynakları sunar ve ekonomik riskleri azaltır. Çiftlik üretimini çeşitlendirir, hane halkı gelirini artırır ve çiftlik dayanıklılığını artırır. Tarımsal ormancılıktaki son gelişmeler arasında GPS, uzaktan algılama ve veri analitiği kullanan hassas tarım ormancılığı; kuraklığa ve hastalıklara dayanıklı çeşitler için genetik mühendisliği; ve dikey tarım teknikleriyle kentsel tarım ormancılığı yer almaktadır. Dijital platformlar ve mobil uygulamalar, çiftçilere bilgi ve kaynaklara erişim sağlayarak tarım ormancılığında devrim oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Achiso Z, Masebo N. (2019). Parkland agroforestry practices on biodiversity conservation-a review. SSR Institute of International Journal of Life Science, 5:2412-2420.
- Achmad B, Sanudin, Siarudin M, Widiyanto A, Diniyati D, Sudomo A, Hani A, Fauziyah E, Suhaendah E, Widyaningsih TS et al. (2022). Traditional subsistence farming of smallholder agroforestry systems in Indonesia: A Review. Sustainability, 14: 8631.
- Awazi NP, Njamnjobo NA, Ambebe TF. (2024). Agroforestry for ecosystem services: Assessing the role of agroforestry for water regulation. Forestist. doi:10.5152/forestist.2024.24032.
- Bas TG, Gagnon J, Gagnon P, Contreras A (2022). Analysis of agro alternatives to boost cameroon's socio-environmental resilience, sustainable development, and conservation of native forests. Sustainability, 14: 8507.
- Ben Hassen T, El Bilali H, Strassner C. (2025). Sustainable Agri-Food Systems: Environment, Economy, Society, and Policy—2nd Edition. *Sustainability*. 2025; 17(4):1667. <https://doi.org/10.3390/su17041667>.
- Chaudhary VP, Ghaley BB (2025). Insights into beneficial effects of an agroforestry system on soil properties and crop yields: A case study from the experimental farm at university of Copenhagen, Denmark. *Sustainability* 17(4):1466. <https://doi.org/10.3390/su17041466>
- Dagar JC, Tewari VP. (2017). Evolution of agroforestry as a modern science. In: Agroforestry (J Dagar, V Tewari Eds), Springer, Singapore.
- Dollinger J, Jose S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92: 213-219.
- Fahad S, Chavan SB, Chichaghare AR, Uthappa AR, Kumar M, Kakade V, Pradhan A, Jinger D, Rawale G, Yadav DK, Kumar V, Farooq TH, Ali B, Sawant AV, Saud S, Chen S, Poczai P (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability* 14 (22):14877. <https://doi.org/10.3390/su142214877>.

- FAO (2022). The State of the World's Forests (SOFO). Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>.
- Garrity DP, Akinnifesi FK, Ajayi OC, Weldesemayat SG, Mowo JG, Kalinganire A, Bayala J. (2010). Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security*, 2:197-214.
- Gitari HI, Nungula EZ, Chappa LR, Raza MA, Ranjan S, Sow S, Alnemari AM, Seleiman MF, Mwadalu R, Maitra S. (2024). Agroforestry for climate security. In: *Agroforestry* (A Raj, MK Jhariya, A Banerjee, RK Jha, KP Singh Eds), Scrivener Publishing LLC. pp 317-342.
- Ghosh PK, Kumar S and Singh G (2014) Agronomic practices for agroforestry systems in India. *Indian Journal of Agronomy*. 59(4): 497-510.
- Gupta VP. (2020). Role of agroforestry in soil conservation and soil health management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4S): 555-558.
- Kocira A, Staniak M. (2025). Role of agriculture in implementing the concept of sustainable food system. *Agriculture*, 15:1041. <https://doi.org/10.3390/agriculture15101041>.
- Liu M, Chen X, Jiao Y (2024). Sustainable agriculture: Theories, methods, practices and policies. *Agriculture*, 14(3):473. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030473>.
- Mazoyer M, Roudart L. (1997). *Histoire des agricultures du monde*, Le Seuil, Paris.
- Octavia D, Suharti S, Murniati, Dharmawan IWS, Nugroho HYSH, Supriyanto B, Rohadi D, Njrumana GN, Yeny I, Hani A et al. (2022). Mainstreaming smart agroforestry for social forestry implementation to support sustainable development goals in Indonesia: A Review. *Sustainability*, 14: 9313.
- Pawlak K, Kołodziejczak M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability* 12(13):5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>.
- Popescu D-M, Duica M-C, Duta N-M, Duica A, Voinea C-M, Stanescu G. (2025). Transforming agriculture for a sustainable future: Economic,

- ethical, and environmental perspectives. *Sustainability*, 17(12):5518. <https://doi.org/10.3390/su17125518>.
- Pretty J. (2012). Sustainable intensification in Africa. In: *Sustainable Intensification*, Routledge. pp 3-4.
- Ranjan S, Kumar S, Dutta SK, Sow S, Kumar S, Sushant. (2023). Long-term organic amendment application improves soil fertility status, nutrient accumulation and crop productivity under rice-wheat cropping system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 54(18): 2579-2589.
- Rolo V. (2022). Agroforestry for sustainable food production. *Sustainability*, 14(16):10193. <https://doi.org/10.3390/su141610193>.
- Roy MK, Fort MP, Kanter R, Montagnini F. (2025). Agroforestry: a key land use system for sustainable food production and public health. *Trees, Forests and People*, 20:100848. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100848>.
- Sahoo S, Seleiman MF, Roy DK, Ranjan S, Sow S, Jat RK, Alhammad BA, Gitari H. (2024). Conservation agriculture and weed management effects on weed community and crop productivity of a rice-maize rotation. *Heliyon*, 10(10): e31554.
- Sridhar KR, Bagyaraj DJ. (2017). Microbial biodiversity in agroforestry systems. *Agroforestry: Anecdotal to Modern Science*. 645-667.
- Torralba M, Fagerholm N, Burgess PJ, Moreno G, Plieninger T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230:150-161.
- Udawatta PR, Rankoth L, Jose S. (2019). Agroforestry and biodiversity. *Sustainability* 11:2879.

BÖLÜM 2

TOHUM DORMANSİSİ VE DORMANSİ KIRMA YÖNTEMLERİ

Prof. Dr. Bilal KESKİN¹, Prof. Dr. Süleyman TEMEL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224252>

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır. Orcid ID: 0000-0001-6826-9768, bilalkeskin66@yahoo.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır. Orcid ID: 0000-0001-9334-8601, stemel33@hotmail.com

1. Giriş

Tohum yeni bir bitkinin oluşmasını sağlayacak üretim materyalidir. Tohum embriyo, endosperm ve kabuk olmak üzere 3 (üç) kısımdan oluşmaktadır. Tohumun çimlenebilmesi için öncelikle çevre şartlarının (su, sıcaklık, ışık) uygun olması gerekmektedir. Sıcaklık ve ışık bir taraftan çimlenmeyi engelleyici etkisi olurken, diğer taraftan çimlenmeyi teşvik edici yönü de bulunmaktadır. Işığın çimlenmeyi teşvik etmesi tüm bitkilerde söz konusu değildir (Bewley ve Black, 1994; Casal ve Sanchez, 1998; Baskin ve Baskin, 2004; Kucera ve ark., 2005; Zaidan ve Carreira, 2008; Miranda ve ark., 2017). Çevre şartları uygun olması durumunda tohum kabuğunun ortamdaki suyun tohum içerisine girmesine izin vermesi, embriyonun hasar görmemiş ve çimlenme kabiliyetini yitirmemiş olması ve endospermin embriyoda meydana gelen radícula toprak altında oluşmasına ve kotiledonların toprak yüzeyine çıkaracak kadar besin deposunu bulundurması gerekmektedir. Çevre şartlarının uygunluğu yanında tohumdaki bu özelliklerin birlikte mevcut olması tohumun çimlenmesini ve yeni bir bitki oluşturabilmesini sağlayacaktır.

Tohum çimlenmesi 3 (üç) aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada tohumlar ortamdaki suyu alması, ikinci aşamada endospermdeki depo ürünlerinin (nişasta, protein) metabolizması ve embriyoya taşınması, üçüncü aşamada ise embriyoda hücre bölünmelerinin başlaması sonucu radicle'nin oluşması sağlanır (Popinigis ve Popinigis, 1985; Bareke, 2018). Tohumun çimlenmeye başlaması için tohumun canlı olması, tohumdaki dormansinin giderilmiş olması ve tohum çimlenmesi için gerekli çevre şartlarının uygun olması gerekmektedir (Hartmann ve ark., 1997).

Tohumun çimlenebilmesi için yukarıda sayılan faktörlerin mevcut olmasına rağmen çimlenememesi durumuna dormansi denilmektedir. Tohumlar dormansi mevcut olduğu dönem süresince çimlenemez ve dinlenme döneminde kalırlar. Tohumun dinlenme dönemindeki süreyi kısaltarak en erken dönemde çimlenmesini sağlayacak uygulamalara ise dormansi kırma denilmektedir. Doğal ortamlardaki bitki tohumlarının çoğunda ileri derecede dormansi görülebilmektedir. Bu dormansi durumu kültüre alınmış bitkiler için istenmezken, doğal ortamlarda gelişme gösteren bitki tohumlarında dormansi olması arzu edilir. Doğal alanlardaki bitkiler ekstrem iklim ve toprak şartlarının mevcut yıllarda bitki gelişmesi olumsuz etkilenecek ve bitki kendi neslini devam ettirecek tohumları oluşturmaya imkan vermeyecektir. Bu durumda

önceki yıllarda toprağa düşmüş ve dormansi özelliği nedeniyle çimlenmemiş tohumlar bitki neslinin devam etmesi için bir garanti olacaktır.

Bu bölümde tohum dormansi çeşitleri ve sınıflandırması, nedenleri ve dormansinin kırılması amacıyla tohumlara uygulanan yöntemler hakkında bilgilendirmeler sunulacaktır.

2. Dormansi Çeşitleri ve Sınıflandırmaları

Tohumlardaki dormansi durumlarını tanımlamak ve bunları sınıflandırmak için birçok araştırmacı önerilerde bulunmuşlardır. Araştırmacılar dormansi çeşitlerini farklı şekillerde sınıflandırmışlardır (Harper, 1957, 1977; Nikolaeva, 1967, 2004; Lang ve ark., 1985, 1987), Ancak daha kabul gören bir sınıflandırmaya göre dormansi fizyolojik, morfolojik, morfizyolojik, fiziksel ve kombinasyon (fizyolojik + fiziksel) olmak üzere 5 sınıfa ayırmışlardır (Baskin ve Baskin, 1998, 2004).

1- Fizyolojik dormansi: Fizyolojik dormansi derin, orta ve derin olmayan olmak üzere 3 (üç) alt seviyesi bulunmaktadır. Tohumların büyük çoğunluğu derin olmayan fizyolojik dormansiye sahiptirler. Derin fizyolojik dormanside tohumların embirjolari gelişme göstermez veya anormal fide gelişmesi gösterirler. Derin fizyolojik dormansi gösteren tohumlara sadece giberallik asit uygulamsı dormansinin ortadan kalkmasını sağlamak için yeterli olmaz ve bu tohumlar birkaç ay soğuk ve sıcak katlama uygulaması yapıldıktan sonra dormansi kırılmaları gerçekleşir (Baskin ve Baskin, 2004; Baskin ve ark., 2005). Derin olmayan fizyolojik dormansiye sahip tohumların embirjolari normal fide oluşturabilirler. Bu tohumlara sadece giberallik asit uygulaması dormansiyi kırabileceği gibi, aynı zamanda bu tohum kabukları zedelenerek, tohumlar kuru şartlarda depolanarak, soğuk ve sıcak katlama uygulamaları yapılarak tohumlardaki dormansi sonlandırılabilir.

2- Morfolojik dormansi: Embirjolari az gelişmiş tohumlarda görülen dormansi çeşididir. Bu embirjolarin çimlenme özelliği kazanabilmeleri için belirli bir süre bekletilmesi ve gelişmelerini tamamlamaları gerekmektedir. Bu süreye kadar çimlenme olayı gerçekleşmez. Bu tip tohumlara giberallik asit uygulaması yanında soğuk ve sıcak katlama uygulamaları tohumdaki dormansinin kırılmasını sağlamaktadır.

3- Morfizyolojik dormansi: Bu çeşit dormansiye sahip tohumların embirjolarinde az gelişme olmasının yanı sıra tohumların çimlenmesini

engelleyen bazı metabolitler sayesinde fizyolojik dormansi de görülmektedir. Tohum embriyolarının gelişmelerini tamamlamalarının beklenmesinin yanı sıra tohum çimlenmesini engelleyen metabolitlerin de ortamdan kalkması ve tohumun fizyolojik olgunluğa ulaşması gerekmektedir.

4- Fiziksel dormansi: Tohum kabuğunun sert olması nedeniyle tohum içerisine su girişi engellenmekte ve tohumlarda çimlenme olmamaktadır. Bu çeşit dormansiye sahip tohumlarda mekanik ve kimyasal aşındırmalar yapılması dormansinin kırılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

5- Kombinasyon (fizyolojik + fiziksel) dormansi: Bu çeşit dormansiye sahip tohumlar hem fizyolojik dormansiye hem de tohumları sert kabuk özelliğine sahiptirler. Sadece fizyolojik dormansinin kırılması bu tohumların çimlenmesini sağlamaz, aynı zamanda sert tohum özelliklerinin de giderilmesi gerekmektedir.

3. Dormansi Nedenleri

Tohumlar sahip oldukları yapısı gereği sert kabuk özelliğine sahip olmaları, tohum fizyolojisini tamamlayamamış olması ve çimlenmeyi engelleyici metabolitlerin tohumda olması nedeniyle tohum çimlenme özelliği kazanamaz. Tohumların dormansi özelliğinin bulunması birçok olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Dormansiyi oluşturan nedenler aşağıda sıralanmıştır.

1- Hormonlar (Büyüme düzenleyicileri) ve bazı metabolitler: Tohumda ve özellikle de tohum kabuğunda doğal olarak bulunan absisik asit, benzoik asit, kumarin, jasmonik asit, naringenin ve sinamik asit gibi hormon ve metabolitler tohumların çimlenmesini engellemektedirler (Angevine ve Chabot 1979; Arora ve Bhojwani 1989). Absisik asit hasat öncesi ve hasattan sonra tohumun dormant halde kalmasını sağlamaktadır (Hilhorst, 1995; Li ve Foley, 1997; Koornneef ve ark., 2002; Nambara ve Marion-Poll, 2003; Kushiro ve ark., 2004; Kucera ve ark., 2005). Diğer taraftan giberallik asit tohumların çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine olumlu etkiler yapmaktadır.

2- Tohumun fizyolojisini tamamlayamaması: Hasat edilen tohumlar belirli bir süre geçmeden çimlenme özelliği kazanamazlar. Tohumlardaki bu özellik mevcut olmaması durumunda tohumlar hasat edilmeden bitki üzerinde çimlenmesine neden olacak ve aynı zamanda hasat edilen tohumların uygun olmayan şartlarda depolanmasına imkan vermeyecektir. Hasat edilen tohumlar

ortamdaki neme ve sıcaklıktan etkilenip hemen çimlenme eğilimi gösterecektir (Hartmann ve ark., 1997; Bradford ve ark., 1999). Çoğu bitki türlerinde yapılan araştırmalarda fizyolojik dormansinin ortadan kalkması için birkaç günden birkaç aya kadar düşük sıcaklık ortamlarda kalması gerekir (Bradbeer 1992), diğer bazı bitki tohumları ise yüksek sıcaklık ortamlarında belirli süre bekletilmesi fizyolojik dormansiye kaldırılmasına imkan sağlar (Chauhan ve Johnson 2008). Hasat edilen tohumlarda embriyo gelişimi tamamlanmamış olması da fizyolojik dormansiye neden olmaktadır (Durrani ve ark., 1997). Bu tip dormansinin kırılmasında enbryonun oluşumunu tamamlamasının yanı sıra diğer dormansi kırma uygulamalarının da yapılmasına ihtiyaç gösterebilmektedir (El-Barghathi ve El-Bakkosh 2005, Fenner ve Thompson 2005). Yeni hasat edilen tohumlar olgun ve su geçirgen özelliklere sahip olmasına rağmen, bitkide tohum gelişim aşamasında absisik asidin tohumlarda birikmesi tohumların hemen çimlenmeyip dormant halde kalmasını sağlamaktadır (Hilhorst, 1995; Kucera ve ark., 2005). Bu durumunda olan tohumların çimlenmelerini teşvik etmek için soğuk katlama, sıcak katlama, ışık, hormon ve nitrik oksit uygulamaları yapılmaktadır (Bailly, 2004; Kucera ve ark., 2005; Bethke ve ark., 2006).

3- Tohumun sert kabuk yapısına sahip olması: Tohum kabuklarının sert olması nedeniyle ortamdan su alımı engellenmektedir. Tohum kabuğundaki sert ve geçirimsiz özelliği kaldırılmadığı sürece bu tohumlarda çimlenme gerçekleşmez ve dormant durumda kalırlar (Bewley, 1997; Leubner-Metzger, 2003; Kucera ve ark., 2005). Tohumlardaki sert kabuk mekanik veya kimyasal uygulamalarla azaltılarak tohumdaki dormansi kaldırılır ve tohumun çimlenmesi sağlanır (Keskin ve ark., 2023; Temel ve ark., 2023).

4. Dormansi Kırma Yöntemleri

4.1. Giberallik asit

Doransinin kırılması ve çimlenmenin sağlanmasına giberallik asit pozitif etki yaparken, absisik asit negatif etkisi olmaktadır (Steinbach ve ark., 1997; White ve ark., 2000; Cadman ve ark., 2006). Yapılan diğer bir çalışmada tohumlara giberallik asit uygulaması aynı zamanda tohumdaki absisik asit içeriğinde de geçici bir yükselmeye neden olmuştur (Ali-Rachedi ve ark., 2004). Bu durumda giberallik asit uygulamaları aynı zamanda absisik asit içeriğinde de artışa neden olacağından dolayı bazı bitki tohumlarında dormansi

kırmada başarılı olmayacaktır. Nitekim yapılan bir araştırmada düşük dozlarda uygulanan giberallik asit dormansi kırmada başarı göstermesine rağmen yüksek dozlarda uygulanan giberallik asit uygulamasında dormansinin kırılmasında başarısız olmuştur (Keskin ve ark., 2022; Temel ve ark., 2023).

4.2. Tohum kabuğunun aşındırılması ve yumuşatılması

Sert kabuklu tohumlar çevresindeki suyu alıp çimlenme faaliyetlerini başlatamazlar. Tohumlarda bu sert kabuk bulunduğu sürece tohum dormant durumda kalır ve çimlenme olmaz. Tohumlardaki sert kabuğa aşındırmak, inceltmek ve yumuşatmak amacıyla mekanik ve kimyasal aşındırıcılar ile kuru sıcak ve sıcak suda bekletme uygulamaları yapılmaktadır.

Mekanik aşındırmada sert tohum kabuğu farklı süreler boyunca mekanik yollarla aşındırılır ve inceltir. Mekanik aşındırmanın süresi uzun tutulduğu durumlarda tohum embriyosuna zarar verme ihtimali bulunmaktadır. Bundan dolayı mekanik aşındırma süresi her bir tohum türü için ayrıca belirlenmelidir. Düşük süreli mekanik aşındırmalar dormansi kırma üzerine önemli etkisi olurken, mekanik aşındırma süresinin fazla tutulması çimlenme oranında azalmaya neden olmaktadır (Gürel ve ark., 2022; Temel ve ark., 2023; Keskin ve ark., 2023).

Kimyasal aşındırmada sülfürik asit ve sodyum hidroksit gibi asit ve alkali özelliklere sahip sıvılar içerisinde belirli doz ve süre bekletilen tohumların kabuklarında aşınmalar gerçekleştirilir. Kimyasal aşındırma süresi uzun tutulduğunda ve aşındırma sonrası tohumlar hemen yıkanmadığı durumlarda tohum embriyosunda önemli zararlar meydana gelmektedir (Meerow, 1991; Bonner ve ark., 1974; Gürel ve ark., 2022; Temel ve ark., 2023; Keskin ve ark., 2023).

Kuru sıcaklıkta farklı sıcaklık derecelerinde ve süreler boyunca tohumlar bekletilerek sert tohum kabuklarında yumuşama gerçekleştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Yağ palmyesi (*Elaeis guineensis*) tohumlarına 80 gün boyunca 40 °C'lik sıcaklıkta bekletilmesi durumunda tohumlardaki dormansinin kırıldığı görülmüştür (Tabi-Mbi ve ark., 2017).

Tohumların sıcak suda bekletilmesi sert tohum kabuğunda yumuşama sağlamasını yanı sıra, tohum kabuğundaki lignin ve pektin maddelerinin çözündürülmesini sağladığı ve tohum embriyosuna su ve oksijen iletiminin sağlaması yoluyla dormansinin kırılmasına katkı sağladığı belirtilmiştir (Ameer

ve ark., 2013). Tohumların 40-100 °C'lik sıcak suda bekletilmesi sert tohum kabuğunda yumuşamaya ve dormansinin kırılmasına katkı sağlayarak tohumların çimlenmesini artırır. *Acacia catechu* tohumlarının 80 °C'lik sıcak suda 10 dakika bekletilmesi, *Elaeocarpus floribundus* tohumlarının 100 °C'lik sıcak suda 12 dakika bekletilmesi tohumlardaki dormansinin kırılmasına önemli katkıları olmuştur (Das ve ark., 2014). Diğer taraftan 100 °C'lik sıcak suda 2 dakika süreyle bekletilen *Astragalus gummifer* tohumlarında önemli miktarda dormansi kırılması ve çimlenme oranı artmasına rağmen, tohumların 4 dakika süreyle sıcak suda bekletilmesi durumunda çimlenme oranında azalma görülmüştür (Gürel ve ark., 2022; Keskin ve ark., 2023).

4.3. Sıcak ve soğuk nemli katlama

Tohumların ıslak kum, talaş, toprak, pamuk, çimlendirme kağıtları arasına konulduktan sonra soğuk ve sıcak nemli ortamlarda bekletilmesi, tohum kabuklarının yumuşatılması yanında tohumun çimlenmesini ve dormanside kalmasını sağlayan absisik asit etkisini azaltarak tohumun dormansiden kurtulması ve çimlenmesine katkı sağlarlar. *Alhagi pseudalhagi* tohumlarına uygulanan sıcak ve soğuk katlama uygulamaları tohumdaki dormansinin kırılmasına önemli katkısı olurken (Keskin ve ark., 2023), *Astragalus gummifer* tohumlarına uygulanan soğuk ve sıcak katlamanın dormansi kırmada etkisi görülmemiştir (Gürel ve ark., 2022). Bu uygulamalar genellikle tohum hasadından sonra belirli bir süre fizyolojik olgunluk süresine ihtiyaç duyan tohumlara uygulanır (Nautiyal ve ark., 2023).

4.4. Soğuk suda bekletme

Tohum kabuklarının yumuşatılması ve tohumda çimlenmeyi engelleyen metabolitlerin tohumdan uzaklaştırılması amacıyla tohumlar belirli süre ve sıcaklıkta su içerisinde bekletilir. Şeker pancarı tohumları 1 (bir) gün süreyle suda bekletildiğinde tohumda çimlenmeyi engelleyici maddelerden kumarin ve fenolik bileşiklerin tohumdan uzaklaştığı ve tohumun dormansiden kurtularak çimlenmeyi artırdığı görülmüştür (Kumar ve Goel, 2019). *Pinus taeda* tohumlarının 28 gün boyunca 11 °C'lik soğuk suda bekletilmesi dormansinin kırılmasına ve tohumlardaki çimlenmenin artmasına katkısı önemli düzeyde olmuştur (Barnett ve McLemore, 1967). Tohumların kısa süreli soğuk suda bekletilmesi çimlenme oranını artırırken, uzun süreli soğuk suda bekletilmesi

çimlenme oranında önemli azalmaya neden olmaktadır (Gürel ve ark., 2022; Keskin ve ark., 2023).

4.5. Manyetik alan

Tüm canlılar az veya çok manyetik bir alana maruz kalırlar. Manyetik alana maruz kalan tohumlar daha hızlı su alımı yaparak çimlenmeleri artırır ve daha çok fotosentez yaparak bitki gelişmesini katkı sağlarlar (Martinez ve Carbonell, 2000; Podlesny ve Misiak, 2004; Soltani ve ark., 2006; Florez ve ark., 2007; Carbonell ve ark., 2008). Bezelye ve mercimek tohumlarına farklı manyetik alan şiddeti ve farklı süre uygulamalarında mercimek ve bezelye tohumlarında çimlenme yüzdelğinde artışlar olmuş, aynı zamanda fide büyümlerinde de artışlar görülmüştür. Mercimekte en yüksek çimlenme ve fide büyüme değerleri 24 saat boyunca 300 mT'luk, bezelyede ise 72 saat boyunca 300 mT'luk manyetik alan uygulamalarında elde edilmiştir (Yildiz ve ark., 2017).

4.6. Eşek hıyarı, acı kavun (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich.) suyu

Bu bitkinin çeşitli organlarında α -elaterin (cucurbitacin E), β -elaterin (cucurbitacin B), elatericine A, and elatericine B (cucurbitacin I) gibi bileşiklerin yanı sıra fenolik bileşikler, vitaminler, steroller, alkaloidler, reçine, flavonoidler, nişasta, yağ asitleri ve amino asitler içermektedirler (Özcan ve ark., 2015; Memişoğlu ve Toker, 2002). Eşek hıyarıda elde edilen sıvı farklı doz ve süre boyunca patates ve buğdaya uygulandığında dormansi kırılmasını ve sürgün gelişimini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir (Yildiz ve ark., 2015; Yıldiz ve ark., 2017).

4.7. Sodyum hipoklorit uygulaması

En fazla kullanılan sterilizasyon maddesi olan Sodyum hipoklorit bakteri, virüs ve mantarlara karşı etkilidir (Smith, 1968; Spaulding, 1968). Tohum çimlendirme çalışmalarında en fazla kullanılan sterilizasyon maddesidir (Gürel ve ark., 2022; Keskin ve ark., 2023; Temel ve ark., 2023). Sodyum hipoklorit tohum dezenfektanı sağlamasını yanında tohumlarda mekanik aşındırma yaparak ve α -amilaz aktivitesini artırarak dormansinin kırılmasına yardımcı olurlar (Yildiz, 2002; Böhm, 2003; Kanecko ve Morohashi, 2003; Kayan ve ark., 2005). Yüksek dozlarda sodyum hipoklorit

uygulaması hem tohum çimlenmesini hem de fide gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir (Hsiao ve Hans, 1981; Hsiao ve Quick, 1984; Yıldız ve Er, 2002).

4.8. Gama Radyasyon uygulaması

Gama ışınları tohum ve bitkide hücre, doku ve organlarda morfolojik, fizyolojik, ve biyokimyasal değişiklik yaparak bu yapıların büyüme ve gelişmesine etki etmektedirler. Yüksek gama ışınları bitki büyüme ve gelişmesi üzerine olumsuz etkileri olurken, düşük dozlarda uygulandığında tohum çimlenmesini, bitki büyümesini, enzim aktivitesini ve ürün verimini olumlu etkilemektedir (Gunckel ve Sparrow, 1961, Chaomei ve Yanlin, 1993; Kumari ve Singh, 1996; Radhadevi ve Nayar, 1996). *Lathyrus chrysanthus* tohumlarına uygulanan gama radyasyonu düşük dozlarda tohum çimlenmesini ve fide gelişmesi olumlu etkilerken, daha yüksek dozlarda gama radyasyonu uygulamalarında ise tohum çimlenmesi ve fide gelişmesinde gerileme görülmüştür (Yıldız ve ark., 2017).

KAYNAKLAR

- Ali-Rachedi, S., Bouinot, D., Wagner, M.H., Bonnet, M., Sotta, B., Grappin, P., Jullien, M. (2004). Changes in endogenous abscisic acid levels during dormancy release and maintenance of mature seeds: studies with the Cape Verde Islands ecotype, the dormant model of *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 219: 479–488.
- Ameer, J.B.M., Vijayakumar, A., Selvaraju, P. (2013). Standardization of seed dormancy breaking treatment in Senna (*Cassia auriculata*). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 5(11): 220-223.
- Angevine, R., Chabot, B.F. (1979) Seed germination syndromes in higher plants In: Solbrig OT, Jain S, Johnson GB & Raven PH (eds) *Topics in Plant Population Biology*. Columbia University Press, New York, pp. 188– 206.
- Arora, R., Bhojwani, S.S. (1989) In vitro propagation and low temperature storage of *Saussurea lappa* C.B. Clarke – an endangered medicinal plant. *Plant Cell Report* 8: 44–47.
- Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research* 14: 93–107.
- Baskin, C.C., Baskin. J.M. (1998). *Seeds – ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Baskin, J.M., Baskin, C.C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14: 1–16.
- Baskin, C.C., Baskin. J.M., Yoshinaga, A., Thompson, K. (2005). Germination of drupelets in multi-seeded drupes of the shrub *Leptecophylla tameiameiae* (Ericaceae) from Hawaii: a case for deep physiological dormancy broken by high temperatures. *Seed Science Research* 15: 349–356.
- Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336-346.
- Barnett, J.P., McLemore, B.F. (1967). Improving storage of spruce pine seed. *Tree Planters' Notes*. 18(2): 17-18.
- Bethke, P.C., Libourel, I.G.L., Jones, R.L. (2006). Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany* 57: 517–526.

- Bewley, J.D., Black, M. (1994). Seeds – physiology of development and germination, 2nd edn. New York, NY, USA: Plenum Press.
- Bewley, J.D. (1997). Breaking down the walls – a role for endo- β -mannanase in release from seed dormancy? Trends in Plant Science 2: 464–469.
- Bonner, F.T., McLemore, B.F., Barnett, J.P. (1974). Presowing treatment of seed to speed germination. In: Bonner FT, editor. Seeds of Woody Plants in the United States, Agriculture Handbook. Washington D.C: USDA.
- Böhm, J. (2003). Terrestrial orchid seed handling: Growing orchids of temperate climates from seed. In: Seed Pretreatment Protocol. Homnurg-Saar, Germany: Institute of Physiology, Medical Faculty, University of Saarland;
- Bradford, K.J., Chen, F., Cooley, M.B. (1999). Gene Expression Prior to Radicle Emergence in Imbibed Tomato Seeds. In: Black M, Bradford KJ, Vazquez-Ramos J, editors. Seed Biology advances and Applications. Proceedings of the sixth International Workshop on Seeds, Mérida, México, 1999. pp. 231-251.
- Bradbeer, L.B. (1992). Vegetable production and their uses. Africana publication limited Lagos, Nigeria, pp. 67-70.
- Cadman, C.S.C., Toorop, P.E., Hilhorst, H.W.M., Finch-Savage, W.E. (2006). Gene expression profiles of Arabidopsis Cvi seed during cycling through dormant and non-dormant states indicate a common underlying dormancy control mechanism. Plant Journal. 46: 805-822.
- Carbonell, M.V., Martinez, E., Florez, M., Maqueda, R., Lopez-Pintor, A., Amaya, J.M. (2008). Magnetic field treatments improve germination and seedling growth in *Festuca arundinacea* Schreb. and *Lolium perenne* L. Seed Science and Technology. 36: 31-37.
- Casal, J.J., Sanchez, R.A. (1998). Phytochromes and seed germination. Seed Science Research 8: 317-329.
- Chaomei, Z., Yanlin, M. (1993). Irradiation induced changes in enzymes of wheat during seed germination and seedling growth. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica. 7: 93-97.
- Chauhan, B.S., Johnson, D.E. (2008). Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of *Eclipta (Eclipta prostrata)* in a tropical environment. Weed Science 56: 383-388.

- Das, N. (2014). The effect of seed sources variation and Presowing treatments on the seed germination of *Acacia catechu* and *Elaeocarpus floribundus* species in Bangladesh. International Journal of Forestry Research. 1: 1-8.
- El-Barghathi, M.F., El-Bakkosh, A. (2005). Effect of some mechanical and chemical pre-treatments on seed germination and seedling growth of *Quercus coccifera* (Kemes Oaks). Jerash Private University.
- Fenner, M., Thompson, K. (2005). The ecology of seeds. Cambridge University Press, New York.
- Florez, M., Carbonell, M.V., Martinez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. Environmental and Experimental Botany. 59: 68-75.
- Gunckel, J.E., Sparrow, A.H. (1961). In: Ruhland W, editor. Encycl. Plant Physiology, in Ionizing Radiation: Biochemical, Physiological and Morphological Aspects of their Effects on Plants. Berlin: Springer-Verlag; pp. 555-611.
- Gürel, G., Keskin, B., & Temel, S. (2022). The Effects of Some Dormancy Breaking Treatments and Temperature on Seed Vigor of Gum Tragacanth (*Astragalus gummifer* Labill.). Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 32(2): 266-279.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R. L. (1997). Plant propagation: principles and practices. Prentice-Hall Inc. 770 pp.
- Hilhorst, H.W.M. (1995). A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. Seed Science Research 5: 61–73.
- Hsiao, A.I., Hans, J.A. (1981). Application of sodium hypochlorite seed viability test to wild oat populations with different dormancy characteristics. Canadian Journal of Plant Science. 61: 115-122.
- Hsiao, A.I., Quick, A.W. (1984). Action of sodium hypochlorite and hydrogen peroxide on seed dormancy and germination of wild oats, *Avena fatua* L. Weed Research. 24: 411-419.
- Kanecko, Y., Morohashi, Y. (2003). The effect of sodium hypochlorite treatment on the development of α -amylase activity in mung bean cotyledons. Plant Science, 164: 287-292.

- Kayan, N., Yildiz, M., Ozgen, M. (2005). Breaking dormancy and seedling growth in lentil (*Lens Culinaris* Medik.) under in vitro conditions. XIV. National Biotechnology Congress, Eskişehir, Turkey; pp. 348-351.
- Keskin, B., Temel, S., Gürel, G., & Özden, E. (2023). Effects of Some Temperature and Dormancy-Breaking Applications on Germination Rates of Camelthorn (*Alhagi pseudalhagi* (Bieb.) Desv.) Seeds. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54(1): 22-30.
- Koornneef, M., Bentsink, L., Hilhorst, H. (2002). Seed dormancy and germination. Current Opinion in Plant Biology 5: 33–36.
- Kucera, B., Cohn, M.A., Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. Seed Science Research 15: 281–307.
- Kumari, R., Singh, Y. (1996). Effect of gamma rays and EMS on seed germination and plant survival of *Pisum sativum* L. and *Lens culinaris* medic. Neo Botanica. 4: 25-29
- Kumar, N., Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. Biotechnology Reports, 24: e00370.
- Kushiro, T., Okamoto, M., Nakabayashi, K., Yamagishi, K., Kitamura, S., Asami, T., Hirai, N., Koshiba, T., Kamiya, Y., Nambara, E. (2004). The Arabidopsis cytochrome P450 CYP707A encodes ABA 8'-hydroxylases: key enzymes in ABA catabolism. *EMBO Journal* 23: 1647-1656.
- Leubner-Metzger, G. (2003). Functions and regulation of β -1,3-glucanase during seed germination, dormancy release and after-ripening. Seed Science Research 13: 17-34.
- Li, B.L., Foley, M.E. (1997). Genetic and molecular control of seed dormancy. Trends in Plant Science 2: 384-389.
- Martinez, E., Carbonell, M.V., Amaya, J.M. (2000). A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordenum vulgare* L.). Electro and Magnetobiology. 19(3): 271-277.
- Meerow, A.W. (1991). Palm seed germination. Co-operative Extension Service Bulletin. 274: 1-17.
- Memişoğlu, M., Toker, G. (2002). Biological activities and traditional usage of *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. FABAD Journal of Pharmaceutical Science. 27: 157-164.

- Miranda, R.M.D., Dias, D.C.F.D.S., Picoli, E.A.D., Silva, P.P.D., Nascimento, W.M. (2017). Physiological quality, anatomy and histochemistry during the development of carrot seeds (*Daucus carota* L.). *Ciênc Agrotec* 41: 169-180.
- Nambara, E., Marion-Poll, A. (2003). ABA action and interactions in seeds. *Trends in Plant Science* 8: 213–217.
- Nautiyal, P.C., Sivasubramaniam, K., Dadlani, M. (2023). Seed dormancy and regulation of germination. In: Dadlani M, Yadava DK (eds) *Seed Science and Technology*. Springer, Singapore, pp 39–66.
- Nikolaeva, M.G. (1967). [Physiology of deep dormancy in seeds.] Leningrad, Russia: Izdatel'stvo 'Nauka' (in Russian). [Translated from Russian by Z. Shapiro (1969), National Science Foundation, Washington, DC, USA: 219.]
- Nikolaeva, M.G. (2004). On criteria to use in studies of seed evolution. *Seed Science Research* 14: 315-320.
- Özcan, S.F., Yıldız, M., Ahmed, H.A.A., Aasim, M. (2015). Effects of squirting cucumber (*Ecballium elaterium*) fruit juice on *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of plants. *Turkish Journal of Biology*. 39: 790-799.
- Podlesny, J., Misiak, L. (2004). Podlesna a concentration of free radicals in pea seeds afterpresowing treatment with magnetic field. *International Agrophysics*. 18: 261-267
- Popinigis, F., Popinigis, F. (1985). Evaluation of physiological quality. In: Popinigis F. *Seed physiology*. Brasília: MA/AGIPLAN, p: 289.
- Radhadevi, D.S., Nayar, N.K. (1996). Gamma rays induced fruit character variations in Nendran, a varieties of banana (*Musa paradasiaca* L.). *Geobios*. 23: 88-93.
- Smith, C.R. (1968). Mycobactericidal agents. In: Lawrence CA, Block SS, editors. *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Philadelphia: Lea and Febiger; pp. 504-514.
- Soltani, F., Kashi, A., Arghavani, M. (2006). Effect of magnetic field on *Asparagus officinalis* L. Seed germination and seedling growth. *Seed Science and Technology*. 34: 349-353.
- Spaulding, E.H. (1968). Chemical disinfection of medical and surgical materials. In: Lawrence CA, Block SS, editors. *Disinfection,*

- Sterilization, and Preservation. Philadelphia: Lea and Febiger; pp. 517-531.
- Steinbach, H.S., Benech-Arnold, R., Sanchez, R.A. (1997). Hormonal regulation of dormancy in developing sorghum seeds. *Plant Physiology* 113: 149-154.
- Tabi-Mbi, K., Ngando-Ebongue, G.F., Ntsomboh-Ntsefong, G., Youmbi, E. (2017). Effect of dry heat treatment along with some dormancy breaking chemicals on oil palm seed germination. *South African Journal of Botany*. 112: 489-493.
- Temel, S., Keskin, B., Çakmakcı, S. (2023). Effect of different dormancy-breaking methods on seed germination and vigour of *Atraphaxis spinosa*. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(1): 39-46.
- White, C.N., Proebsting, W.M., Hedden, P., Rivin, C.J. (2000). Gibberellins and seed development in maize. I. Evidence that gibberellin/abscisic acid balance governs germination versus maturation pathways. *Plant Physiology* 122: 1081-1088.
- Yildiz, M., Er, C. (2002). The effect of sodium hypochlorite solutions on *in vitro* seedling growth and shoot regeneration of flax (*Linum usitatissimum*). *Naturwissenschaften*. 89: 259-261.
- Yildiz, M., Kayan, M., Aycan, M. (2015). The effect of squirting cucumber (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich.) fruit juice on *in vitro* shoot regeneration in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). 18. National Biotechnology Congress, 19-18 December, Konya, Turkey.
- Yildiz, M., Beyaz, R., Gursoy, M., Aycan, M., Koc, Y., Kayan, M. (2017). Seed Dormancy. Chapter 5, pp. 85- 98, In: *Advances in Seed Biology*, J.C. Jimenez Lopez (ed)., IntechOpen.
- Zaidan, L.B., Carreira, R.C. (2008). Seed germination in Cerrado species. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20: 167-181.

BÖLÜM 3

ZEYTİN BİTKİSİNİN HAYVAN BESLENMESİNDE KULLANIMI

Prof. Dr. Süleyman TEMEL¹, Prof. Dr. Bilal KESKİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224273>

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır. Orcid ID: 0000-0001-9334-8601, stemel33@hotmail.com

² Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Iğdır. Orcid ID: 0000-0001-6826-9768, bilalkeskin66@yahoo.com

1. Giriş

Hayvan beslenmesinde kaba yem önemli bir girdi olup, karlı bir hayvancılık için arzu edilen miktar ve kalitede yem materyalinin ucuza temin edilmesi gerekmektedir. Bu durum kurak ve yarı-kurak coğrafyalarda daha da önem arz etmektedir. Nitekim bu gibi bölgelerde otsu türler yaz döneminde sararıp kurumakta, kış döneminde ise dormant döneme geçmektedir. Dolayısıyla hayvanlar yeterli ve dengeli beslenememekte, sonuçta ise hayvansal ürünlerin miktar ve kalitesinde önemli düşüşler yaşanmaktadır. Bu nedenle bilim insanları ve üreticiler yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde yaşanan yem açığını kapatabilme amacıyla alternatif yem materyalleri arayışına girmişlerdir. Bu anlamda Akdeniz havzasını çevreleyen ülkelerde yaygın olarak yetişen çalı formasyonları özellikle de otlatmaya uygun ve hayvanlar tarafından sıklıkla tercih türler önemli yem kaynakları olarak görülmüştür (Papanastasis ve ark., 2006; Temel ve Tan, 2009a, 2009b; Kökten ve ark., 2010; Temel ve Tan, 2011a; Kökten ve ark., 2012; Gökkuş, 2016; Alatürk ve ark., 2023). Bu yem materyallerinden bir tanesi de kurak ve yarı-kurak Akdeniz iklim özelliğe gösteren bölgelerde yaygın bir şekilde yetişen zeytin (*Olea europaea* L.) bitkisidir. Bitkinin herdem yeşil olması ve üretkenliğini yıl boyu devam ettirmesi otlanan hayvanlar için önemli bir alternatif yem kaynağı olmuştur. Özellikle de yem materyalinin kıt olduğu dönemlerde (sonbahar, kış ve yaz) hayvanların günlük besin gereksinimlerini rahatlıkla karşılayabilen bir yem materyali olarak görülmüştür. Ayrıca yem değeri geleneksel olarak yetiştirilen pek çok buğdaygil yem bitkisinden daha iyi olduğu ve yıl içerisinde besin değerini çok fazla kaybetmediği belirlenmiştir. Ancak yaprakların saponin ve özellikle de tanen içeriklerinin yüksek olmasından dolayı otlatılırken ihtiyatlı davranılması ya da yapraklarının kurutularak yedirilmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir.

2. Taksonomisi

Oleaceae familyası içerisinde 32 cins yer almakta ve bu cinslerden bir tanesi de *Olea* cinsidir. Bu cins içerisinde ise 36 tür bulunmakta olup en fazla bilinen türü *Olea europaea* L.'dir (Anonim, 2025). Bu tür de kültür zeytini (*Olea europaea* L. subs. *sativa*) ve yabani zeytin-delice (*Olea europaea* L. subs. *oleaster*) olmak üzere iki alt türe ayrılmaktadır.

Alem: Plantae (Bitkiler Alemi)

Bölüm: Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)

Sınıf: Dicotyledonae (Çift Çenekliler)

Takım: Lamiales (Ballıbabagiller)

Familya: Oleaceae (Zeytingiller)

Cins: Olea (Zeytinler)

Tür: *Olea europaea* L. (Zeytin)



Resim. 1. Kültür (a) ve yabani zeytin/Delice (b) (Foto: S.TEMEL)

3. Bitkisel Özellikler

Çok yıllık ömür uzunluğuna sahip zeytin bitkisi herdem yeşil olup, korunduğunda 16 metreye kadar boylanma gösterebilmektedir. Gövde sıklıkla budaklıdır. Dallar silindirik ya da dörtgensidir. Yapraklar karşılıklı dizilmiş, basit, mızraksı ya da ters yumurtamsı, genellikle düzdür. Yapraklar neredeyse sapsız, koyu yeşil renkte, üst yüzeyi tüysüz, alt yüzeyi gümüşidir (Guillen ve ark., 1993). Salkımlar yapraklardan daha kısadır. Çiçekler erselik ya da çok eşli, salkım ya da demet halinde dal koltuklarında görülür. Mayıs ve haziran ayları arasında çiçek açar. Çiçekler beyazımsı renkte ve kokuludur. Meyve üzüksü, küresel ya da dikdörtgensel, parlak siyah, kahverengimsi yeşil ya da nadiren fildişi renklidir (Garcia-Gonzalez ve ark., 2010).

4. Ekolojisi

Dünya da Akdeniz iklim özelliği gösteren 5 coğrafi (Sili'nin merkezi, Akdeniz havzası, Güneybatı Avustralya, Güney Afrika'nın Cope Bölgesi ve Kaliforniya) bölge vardır (Di Castri ve ark., 1981). Bu bölgelerde (her iki yarım kürenin 30-40 derece enlemleri arasında yer alan) çalı formasyonları hakim olup, başlıca çalı formasyonlarını Maki, Garig/frigana ve Psödomaki oluşturmaktadır. Bir maki elemanı olan delice bitkisi de Dünya yüzeyinde orta

enlem derecesinde ve özellikle de Akdeniz ikliminin görüldüğü alanlarda doğal olarak yetişen bir türdür (Gemaş ve ark., 2004). Nitekim Gemici (1992) Akdeniz ikliminin hakim olduğu kuşakta Delice bitkisinin en baskın maki türlerinden biri olduğunu ve bundan dolayı da; Sağlıker ve Darıcı (2005), zeytinin bu zonü karakterize eden bir biyo-indikatör bir bitki olduğunu ifade etmişlerdir. Bitki en düşük -12 °C'ye, maksimum ise +45 °C'ye kadar tolerans gösterebilmektedir (Efe ve ark., 2009). Ayrıca kuvvetli ve derin kök sistemleri sayesinde kurak koşullara da dayanıklılıkları yüksektir.

Ülkemizde ise delice bitkisi daha çok Akdeniz, Ege, Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde yayılış göstermiştir (Atalay 2002, Atalay ve Mortan, 2006). Bitki her ne kadar Akdeniz iklim bölgelerine adapte olmuş da, en fazla bitki yoğunluğunun 500 metreye kadar olduğu, 650-700 m'den sonra ise yayılışlarının sona erdiği vurgulanmıştır (Gemici, 1992). Konu ile ilgili yürütölen başka bir çalışmada da Temel ve Tan (2009a), Akdeniz havzasında delice bitkisinin birim alandaki bitki yoğunluğunun en fazla 0-400 m'de, 400-800 m'de ise orta ve 800 m üzeri rakımda ise çok fazla yayılış göstermediğini ve yine güney bakıda kuzey bakıya göre daha yoğun bir şekilde bulunduğunu ifade etmişlerdir. Kültür formlarının ise bugün Dünya da 40 farklı ülkede yetiştiriciliğinin yapıldığı (Tunalıoğlu, 2009) ve ülkemizde ise toplam bağ-bahçe alanlarının %22'sinin zeytinliklerden oluştuğı rapor edilmiştir (Yavuz, 2005).

5. Gelişme (Fenolojik) Dönemi

Fenoloji, yıl boyu ya da mevsimsel olarak bitkilerin büyüme başlangıcından generatif (tohum) olgunlaşma evresine kadar geçen süre zarfında morfolojik değişikliklerin düzenli bir biçimde ortaya çıkışını ifade etmektedir (Gökkuş ve ark. 1995). Dolayısıyla doğal olarak yetişen türlerin yıl içerisindeki gelişme seyirlerinin bilinmesi uygun otlatma dönemlerinin ortaya konulması açısından önem arz etmektedir. Genel olarak mera veya makiliklerde yer alan otsu türler erken gelişme dönemlerinde vejetasyonda yoğun bir şekilde bulunurken, olgunlaşma döneminin ilerlemesiyle vejetasyondan çekilmektedirler. Oysa delice bitkisi herdem yeşil olup, gelişmesini yıl boyu devam ettirebilmektedir. Bu da hayvanların daha uzun bir süre otlanmasına ve üretilen yemden daha fazla yararlanmasına neden olmaktadır.

Çizelge 1. Yabani zeytin bitkisinin rakım ve yöneylere göre yıllık gelişme seyri (Temel ve Tan, 2013)

Rakım	Yöney	Nisan			Mayıs			Haziran			Ekim			Kasım			Mart		
		B	O	S	B	O	S	B	O	S	B	O	S	B	O	S	B	O	S
DR	G	Çtb	Çtd	Çb	Tç	Çs	Mb	Ty	Md		Mo	Ys		Yd			Ytb	Ytd	Yb
	K	Çtb	Çtd	Çb	Tç	Çs	Mb	Ty	Md		Mo	Ys		Yd			Ytb	Ytd	Yb
OR	G	Yb	Çtb	Çtd	Çb	Tç	Çs	Mb	Ty	Md	Mo		Ys	Yd			Ytb	Ytd	
	K	Yb	Çtb	Çtd	Çb	Tç	Çs	Mb	Ty	Md	Mo		Ys	Yd			Ytb	Ytd	

DR: 0-400 m, OR: 400-800 m, G: Güney, K: Kuzey, B: Baş, O: Orta, S: Son

Ytb: Yaprak tomurcuk başlangıcı

Çtd: Çiçek tomurcuk dönemi

Ytd: Yaprak tomurcuk dönemi

Çb: Çiçeklenme başlangıcı

Yb: Yapraklanma başlangıcı

Tç: Tam çiçeklenme dönemi

Ty: Tam yapraklanma dönemi

Çs: Çiçeklenme sonu

Ys: Yaprak sararma dönemi

Mb: Meyve bağlama başlangıcı

Yd: Yaprak dökümü

Md: Meyve dönemi

Çtb: Çiçek tomurcuk başlangıcı

Mo: Meyve olgunlaşma

Üç yıl süreyle delice bitkisinin yıllık gelişme seyrini inceleyen Temel ve Tan (2013), Kasım ayı sonuna doğru yıl içerisinde oluşturduğu yaprakların (ömrü 2-3 yıl arasında değişen yaprakların) bir kısmını döktüğünü, ancak Mart sonunda dökülen yaprakların yerine yeni yapraklar oluşturarak uzun bir süre muhafaza ettiğini ortaya koymuştur (Çizelge 1). Ayrıca Temel ve Tan (2013) yürüttüğü çalışmada delice bitkisinin rakımlara göre gelişme seyrirlerinin farklılık gösterdiğini, ancak yöneylere göre gelişim seyrinde bir farklılığın olmadığını ifade etmiştir. Akdeniz bölgesinde yürütülen başka bir çalışmada Kurt (2000), yabani zeytin türünün Nisan ve Mayıs aylarında çiçeklenmesini, Mayıs ayında meyve oluşumuna başladığını ve Kasım ayında da meyvelerini olgunlaştırdığını belirtmiştir.

6. Bitki Başına Yaprak Verimleri

Hayvan beslemede yem kaynağı olarak tercih edilen bitkilerde en çok istifade edilen kısım, yüksek yem kalite içeriğine sahip olmasından dolayı bitkinin vejetatif aksamı özellikle de yapraklarıdır. Bu nedenle bitkinin birim alanda ürettiği toprak üstü biokütle miktarının arzu edilen seviyelerde (miktarlarda) olması karlı bir hayvancılık açısından önem arz etmektedir. Nitekim yapılan hayvancılıkta en önemli girdi (masraf) yem materyaline gitmektedir. Diğer taraftan kurak ve yarı-kurak Akdeniz Bölgesinde havalarda

çok hızlı bir şekilde ısındığından otsu türlerin ürettikleri yem miktarı düşmekte ve besin kaliteleri de hızla azalmaktadır (Silanikove, 1997; Alatürk ve ark., 2023). Oysa yenileme tomurcukları ve büyüme sürgünlerini toprak üzerindeki sap kısımlarında oluşturan çalı türlerinde ise biçme (kesme) ve otlanmaya bağlı olarak yeni sürgün ve yaprak oluşumları teşvik edilmekte bu da, kritik dönemlerde (yaz ve sonbahar mevsiminde) oluşan yem açığını kapatmaktadır (Parissi ve Nastis, 2000). Dolayısıyla otsu türlerin aksine çalı veya ağaç formunda gelişen türlerde genellikle bitkilerin ince sürgünleri, yaprakları, meyveleri ve tohumları yem olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle çalılık alanlarda otlanan hayvanların yeter miktarda beslenebilmesi için türlerin yıl içerisinde ürettikleri yem miktarlarının (bitki kısımlarının) bilinmesi önemlilik arz etmektedir.

Delice gibi çalı ve ağaç formunda gelişen türler doğal koşullar altında yetiştiklerinden, yıl içerisindeki verimleri ortamın ekolojik koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Konu ile ilgili olarak öncesinde yapılan araştırma sonuçları çalı türlerin yıllık yem üretimlerinin yıllara, mevsimlere, yıllık yağış miktarına, toprak tipine ve arazi şartlarına göre değişebileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çalı formasyonların yem verimleri bitki türüne, bitkinin yaşına ve uygulanan idare sistemlerine göre de önemli farklılıklar gösterebilmektedir (Temel ve Tan, 2011b). Nitekim Temel (2007) makiliklerde bitki başına yaprak verimi açısından delice bitkisinin keçiboynuzu ve katran ardıcı bitkilerini müteakiben en zengin üçüncü tür olduğunu ifade etmiştir. Yapılan bu çalışmada yabani olarak yetişen zeytin (delice) bitkisinin bitki başına yaprak veriminin 18.86 kg, yaprak oranının ise %33.79 olduğu ortaya konulmuştur. Diğer taraftan kültürü yapılan zeytin bitkisinde ise budama sonrası ve hasat işlemi sırasında bitki başına 25 kg zeytin yaprağının oluştuğunu belirtmişlerdir (Molina-Alcaide ve Yáñez-Ruiz, 2008). Bu verilere göre Türkiye de yıllık ortalama 46–94 bin ton zeytin yaprağı atığının olduğu tahmin edilmektedir (Seçmeler ve Üstündağ Güçlü, 2016)

7. Otlanmada Tercih Durumu ve Yem Kaynağı Olarak Kullanımı

Makilik alanlar genellikle engebeli ve parçalı bir arazi yapısına sahiptirler. Ayrıca bu alanlarda yüksek boylu çalı ve ağaç türleri baskın durumda olup, otlanan bitki kısımlarının çiftlik hayvanları tarafından

erişilebilirliğini kısıtlamaktadır. Yine çalı türlerin sahip olduğu diken gibi fiziksel savunma mekanizmaları ile bünyelerinde bulundurduğu sekonder bileşikler çalılar üzerinde otlayan hayvan cinsini, yoğunluğunu ve baskısının azalmasına neden olmaktadır (Tolera ve ark., 1997; Aganga ve Tshwenyane, 2003; Matson ve ark., 2004). Makilikler sahip oldukları bu özelliklerinden dolayı büyükbaş hayvanlardan ziyade genellikle küçükbaş hayvanlar özellikle de keçiler tarafından daha etkin bir şekilde kullanabilmektedirler. Bunda da keçilerin sahip oldukları atletik vücut yapıları ve ağız anatomilerinin önemli bir rolü vardır (Nastis, 1996). Nitekim Ben Salem ve ark. (2000), keçi ve koyunların çalı formunda gelişen türler üzerindeki otlama tercihlerinin aynı olmadığını, koyunlara kıyasla keçilerin ağaç ve çalı türlerini daha fazla tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Yine Papachristou (1994), çalılık alanlarda otlayan keçilerin yıl içinde %16 otsu, %24 odunsu ve %60 çalı türlerini tercih ettiklerini gözlemlemiştir. Başka bir çalışmada ise Kronberg ve Malechek (1997), kurak ve ilkbahar dönemlerinde keçilerin yem tercihlerinde çalıların ilk sırada yer aldığını belirtmişlerdir.

Delice bitkisinin yaprak ve sürgün uçları kültür formlarına göre daha küçük ve dikenimsi yapıdadır. Sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı delice bitkisini keçiler diğer ruminantlara göre daha fazla tercih etmektedirler. Konu ile ilgili olarak Temel ve Tan (2009b), makilik alanlarında doğal olarak yetişen delice bitkisinin keçiler tarafından orta derecede, Le Houerou (1980) ise daha fazla tercih edildiğini rapor etmiştir.



Resim 2. Makiliklerdeki zeytinlerin otlanması (Foto: S.TEMEL)

Zeytin bitkisinin meyveleri ve meyvelerinden çıkarılan yağı esas olarak insan gıdası olarak kullanımının yanı sıra tıbbi ve endüstri sanayisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan bitkinin yaprakları, ince sürgünleri ve yere dökülen yaprak ve meyveleri hayvan beslenmesinde alternatif yem kaynağı olarak tercih edilmektedir. Nitekim çok sayıda bilim insanı yabani formda olan delice bitkisinin ince sürgün ve yapraklarının yıl boyu keçiler tarafından yğun bir şekilde tercih edildiğini, ortamda otsu türlerin yer almadığı ya da hayvanların günlük ihtiyaçlarını karşılayamayacak kadar kıt (az) olduğu yaz, sonbahar ve özellikle de kış dönemlerinde ise kısmen koyunlar tarafından tercih edildiğini belirtmişlerdir (Karabulut ve ark., 2006; Temel ve Tan, 2009b; Temel ve Kır, 2015). Ayrıca Akdeniz maki formasyonları içerisinde yoğun olarak yetişen Delice bitkisinin dalları çobanlar tarafından bilinçli olarak kesilerek küçükbaş hayvanların yem ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmaktadır. Yine kültürü yapılan formların hasat sonrası dökülen yaprak ve meyveleri ve budama sonrası kesilen kısımları sonbahar ve kış dönemlerinde çiftlik hayvanların beslenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

8. Sürgün ve Yapraklarının Besin Değeri

Kaba yemlerin besin değeri veya kalitesinin daha iyi anlaşılabilmesi için de yem dokusunu meydana getiren hücre yapısının bilinmesi gerekmektedir. Yem bitkilerinde bitki hücresi, hücre içi (protoplast) ve hücre duvarı (hücre çeperi) maddelerden meydana gelmektedir. Hücre içi maddeler protein, karbonhidrat ve yağ gibi yapısal olmayan karbonhidratlardan oluşmakta olup büyük bir kısmı ruminantlar tarafından sindirilebilmektedir. Oysa selüloz, hemi-selüloz, lignin ve kütin gibi yapısal karbonhidratlardan oluşan hücre duvarı maddeler ise hayvanlar tarafından daha az oranda sindirilebilmekte veya yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Collins ve Fritz, 2003). Buna göre kaba yemlerin ham protein oranı, metabolik enerji, kuru madde sindirilebilirliği, sindirilebilir enerji ve nispi yem değerinin yüksek, ADL, ADF ve NDF oranlarının ise düşük olması istenir.

Nitekim NRC (2007) ve Victor (1981), canlı ağırlığı 50 kg olan bir hayvanın günlük yaşama payı için gereksinim duyduğu HP oranının minimum %7.5, sindirilebilir enerjinin 2.34 Mcal kg⁻¹, metabolik enerji

içeriğinin $1.91 \text{ Mcal kg}^{-1}$ ve kuru madde sindirilebilirliğinin ise %50 olması gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Yine yemin kalitesinin rakamsal bir göstergesi olan nispi yem değeri 150'nin üzerinde ise en iyi kalite, 125-150 arasında ise birinci kalite, 103-124 arasında ikinci kalite, 87-102 arasında üçüncü kalite, 75-86 arasında dördüncü kalite ve 75'in altında ise beşince kalite olarak kabul edilmiştir. Ayrıca kaba yem kalite standartlarına göre kaba yemlerde NDF oranının %40'ın, ADF içeriğinin ise %31'in altında olması istenmektedir (Rivera ve Parish, 2010). Mevcut bu bilgiler ışığında öncesinde yapılan araştırma sonuçları incelendiğinde Dökülgen ve Temel (2020), delice bitkisinin ham protein oranının ortalama %6.24, sindirilebilir enerjinin $3.18 \text{ Mcal kg}^{-1}$, metabolik enerji içeriğinin $2.61 \text{ Mcal kg}^{-1}$, kuru madde sindirilebilirliğinin %68.02, NDF değerinin %37,76, ADF oranının %26.80, ADL içeriğinin %11.66 ve nispi yem değerinin ise 217.0 olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 2). Yürütülen başka bir çalışmada ise Karabulut ve ark. (2006), delice bitkisinin HP içeriğini %10.4, NDF oranını %34.0 ve ADF içeriğini ise %25.8 olarak tespit etmişlerdir. Kültürü yapılan zeytin bitkisi yapraklarının kimyasal kompozisyon içeriklerinin ise uygulanan kurutma, depolama süresi ve dallı yaprak oranına göre farklılık gösterdiğini ve buna göre ham protein içeriğinin %7.0-12.9, ADF oranının %25.5-34.2, NDF içeriğinin %34.9-41.3 ve ADL oranının %14.1-21.1 arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir (Martín-García ve ark., 2003; Molina-Alcaide ve ark., 2003; Molina-Alcaide ve Yáñez-Ruiz, 2008). Bu sonuçlar yem kaynağı olarak kullanılan buğdaygil yem bitkisi türleri ile kıyaslandığında delice bitkisinin azımsanmayacak oranda yüksek bir protein, kuru madde sindirilebilirliği, sindirilebilir ve metabolik enerji içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca yemin besin değerini düşüren yapısal karbonhidratların da delice bitkisinde düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Mevsimlere göre yabancı zeytin ağacı kısımlarının besin değerleri (Dökülgen ve Temel, 2020)

Kalite Özellikleri	Mevsimler			Bitki Kısımları		Ortalama
	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yaprak	Yaprak+Sürgün	
HP	5,83	6,71	6,18	6,04	6,44	6.24
NDF	37.28	38.79	37.20	37.14	38.72	37.76
ADF	22.59	29.91	27.91	25.75	27.85	26.80
ADL	10.86	11.33	12.78	10.52	12.79	11.66
KMS	71.30	65.60	67.16	68.84	67.20	68.02
SE	3.32	3.08	3.14	3.22	3.15	3.18
ME	2.73	2.53	2.58	2.64	2.58	2.61
NYD	230.1	203.4	217.6	222.8	211.3	217.0

Diğer taraftan otsu yem bitkisi türlerinin besin değerleri mevsimlere göre önemli farklılık göstermektedir. Ayrıca otsu türlerde olgunlaşmayla birlikte arzu edilen yem kalite değerlerinde önemli düşüşler, istenmeyen besin içeriklerinde ise önemli artışlar meydana gelmektedir. Bu da otlanan hayvanların yıl içerisinde yeterli ve dengeli beslenememesine ve hayvansal ürün performanslarında önemli düşüşlere neden olmaktadır. Her ne kadar çalı türlerinde de mevsimlere ve olgunlaşma dönemlerine göre besin içeriklerinde azalmalar görülse de bu düşüşler otsu türler kadar çok fazla değildir (Temel ve Tan, 2011a; Dökülgen ve Temel, 2015; 2019; Alatürk ve ark., 2023). Nitekim herdem yeşil olan delice bitkisi de yem kalitesinde çok fazla bir düşüş göstermeden besin değerini yıl boyu muhafaza ettiği görülmüştür (Çizelge 2). Mevcut bu bilgiler ışığında delicenin yem değerinin arzu edilen kalite faktörleri (HP, SE, ME, KMS ve NYD) yönünden hayvanların günlük besin gereksinimlerini karşılayabildiği, istenmeyen besin değerleri (NDF, ADF ve ADL) açısından ise toksik seviyede olmadığı ortaya konmuştur.

Ayrıca kültürü yapılan yem bitkisi türlerinde olduğu gibi delice bitkisinde de yaprak ve sürgünlerin/dalların (sapların) besin içerikleri farklılık göstermektedir (Dökülgen ve Temel, 2020). Benzer sonuçlar farklı bir araştırmada da ortaya konmuş olup, yapılan çalışma sonucunda; ham yağ, organik madde, ham selüloz, ham protein, ham kül, hemiselüloz, NDF, ADL ve ADF içeriklerinin zeytin yaprağında sırasıyla %8.3, %93.2, %25.2, %12.4, %6.8, %13.9, %49.2, %20.3 ve %34.3, zeytin yaprağı + dallarında ise sırasıyla %6.6, %94.5, %33.5, %9.11, %5.5, %17.4, %58.9, %27.8 ve %45.3 olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak delice bitkisinin vejetasyondaki otsu türlerin

sararıp kuruduğu ve besin kalitesinin azaldığı özellikle kış, sonbahar ve yaz aylarında otlanan ruminantların beslenmesinde önemli bir yere sahip olduğu ve çiftlik hayvanları için alternatif yem kaynağı olabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Aganga, A. A., Tshwenyane, S. O., 2003. Feeding values and anti-nutritive factors of forage tree legumes. *Pakistan J. Nutrition*, 2(3): 170-177.
- Alatürk, F., Hanoğlu Oral, H., Gökkuş, A., Ali, B., 2023. Annual changes in biomass amount and feeding potential of shrubby rangelands in maquis formation. *PeerJ* 11: e15204 <http://doi.org/10.7717/peerj.15204>
- Anonim, 2025. <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Oleaceae/> (Erişim Tarihi: 19.09.2025).
- Atalay, İ., 2002. Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri - Ecoregions of Turkey, Orman Bakanlığı Yayınları, No:167, Ankara.
- Atalay, İ., Mortan, K., 2006. Türkiye Bölgesel Coğrafyası (3.baskı). İnkilâp Yayınevi, İzmir.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L., 2000. Sheep and goat preferences for Mediterranean fodder shrubs. In: Ledin, I., Morand-Fehr, P. (eds.), *Sheep and Goat Nutrition: Intake, Digestion, Quality of Products and Rangelands. Cahiers Options Méditerranéennes*. 52: 155-159.
- Canbolat, Ö., Karabulut, A., Gürbüzol, F., 2003. Zeytin ağacı dal ve yaprakları ile zeytin küspesinin yem değerinin in vivo ve in vitro yöntemlerle saptanması. III (pp. 332–342). Ulusal Zootekni Bilim Kongresi.
- Collins, M., Fritz, J. O., 2003. Forage Quality. *Forages* (Ed. Barnes RF; Nelson, CJ; Collins, M and Moore, KJ), 6th Edition Vol. I Chapter 16, A Blackwell Publishing Company, p. 363-390.
- Di Castri, F., Goodall, D. W., Specht, R., 1981. Mediterranean-type shrublands. *Ecosystems of the World* 11. Elsevier Pub. Comp. Amsterdam, Oxford, New York, 643 p.
- Dökülgen, H., Temel, S., 2015. Yaprğını döken karaçalı (*Palirus spina-christi* Mill.) türünde yaprak ve yaprak+sürgünlerinin mevsimsel besin içeriği değişimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3): 57-65.
- Dökülgen, H., Temel, S., 2019. Menengiç ve tespih çalışının mevsimlere ve otlanan bitki kısımlarına göre yem kalitesinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Derg.* 23(2): 178-188.
- Dökülgen, H., Temel, S., 2020. Kermes meşesi, akçakesme ve delice maki türleri ve bitki kısımlarının mevsimsel besin madde içeriklerinin

- belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (4): 986-993. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.688648.
- Efe, R., Soykan, A., Sönmez, S., Cürebal, İ., 2009. Sıcaklık şartlarının Türkiye'de Zeytinin (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) yetiştirmesine, fenolojik ve pomolojik özelliklerine etkisi. Ekoloji 18, 70, 17-26.
- Garcia-Gonzalez, D. L., Morales, M. T., Aparicio, R., 2010). Olive and olive oil. In Y. H. Hui, F.Chen, & L. M. L. Nollet (Eds.), Handbook of fruit and vegetable flavors (pp. 822–823). Wiley.
- Guillen, R., Fernandez-Bolanos, J., Heredia, A., 1993. Component changes in olive (Hojiblanca) during ripening. Grasas y Aceites, 44(3), 201-203
- Gemaş V. J. V., Almadanim, M. C., Tenreiro, R., Martins, A., Fevreiro, P., 2004. Genetic diversity in the Olive tree (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) cultivated in Portugal revealed by RAPD and ISSR markers. Genetic Resources and Crop Evolution 51, 501-511.
- Gemici, Y., 1992. Bolkar Dağlarının (Orta Toroslar) Flora ve Vegetasyonu. Ege Üniv. Araştırma Fonu, Proje No: 1988/011, Bornova, İzmir.
- Gökkuş, A. 2016. The importance of bush areas and bringing them to pasture. In: Production status of meadows, pasture and forage crops in Turkey, problems and solutions workshop, Muş, Turkey.
- Gökkuş, A., Koç, A., Çomaklı, B., 1995. Çayır-Mera Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Yay. No: 142, 157.
- Karabulut, A., Canbolat, O., Özkan, C. O., Kamalak, A., 2006. Potential nutritive value of some Mediterranean shrub and tree leaves as emergency food for sheep in winter. Livestock Research for Rural Development, 18(6).
- Kökten K., Gürsoy O, Tükel T, Hatipoğlu R, 2010. Yield and Nutritive Value of Anti – Taurus Mountain Rangeland Shrubs in Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances 9 (4): 716-720.
- Kökten, K., Kaplan, M., Hatipoğlu, R., Saruhan, V., Çınar, S., 2012. Nutritive values of the leaves of Mediterranean shrubs. Journal of Animal and Plant Sciences, 22 (1): 188-194.
- Kronberg, S. L., Malechek, J. C., 1997. Relationships between nutrition and foraging behavior of free-ranging sheep and goats. Journal Anim. Sci., 75: 1756-1763.

- Kurt, F., 2000. Mersin-Tarsus-Çamlıyayla Arasında Marnlı Anakaya Üzerindeki Maki Vejetasyonun Bitki Ekolojisi ve Bitki Sosyolojisi Yönünden Araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Le Houerou, H. N., 1980. The role of browse in the management of natural grazing lands. In: Le Houerou (Ed), Browse in Africa, the current State of Knowledge. International Symposium on Browse in Africa, pp. 329-338, Addis Ababa.
- Martín-García, A. I., Moumen, A., Yáñez-Ruiz, D. R., Molina Alcaide, E., 2003. Chemical composition and nutrients availability for goats and sheep of two stage olive cake and olive leaves. Animal Feed Science and Technology, 107(1-4), 61-74.
- Matson, K. D., Milliam, J. R., Klasing, K. C., 2004. Cockatiels (*Nymphicus hollandicus*) reject very low levels of plant secondary compounds. Applied Animal Behaviour Science, 85: 141-156.
- Molina Alcaide, E., Ruiz, D. R. Y., Moumen, A., García, A. I. M., 2003. Ruminal degradability and in vitro intestinal digestibility of sunflower meal and in vitro digestibility of olive by-products supplemented with urea or sunflower meal. Animal Feed Science and Technology, 110(1-4), 3-15.
- Molina-Alcaide, E., Yáñez-Ruiz, D. R., 2008. Potential use of olive byproducts in ruminant feeding: A review. Animal Feed Science and Technology, 147(1-3), 247-264.
- Nastis, A., 1996. Feeding behaviour of goats and utilization of pasture on rangelands. In: International Conference on Goats, International Academic Publishers, Beijing, China, 2: 487-494.
- NRC., 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Research Council of the National Academies, Washington DC, 362 p.
- Papachristou, T.G., 1994. Foraging behaviour and nutrition of goats grazing on shrublands of Greece. In: I.J. Gordon and R. Rubino (Ed), Grazing Behaviour of Sheep and Goats. Proceedings of the ECC-CAMAR 8001-CT90-0021 Research Project Meeting held at Bella, Italy, Nov. 11-13, 1991. Cahiers Options Mediterraneennes, 5: 83-90.

- Papanastasis, V.P., Yiakoulaki, M.D., Decandia, M., Dini-Papanastasi, O., 2006. Potential of fodder trees and shrubs as animal feeds in the Mediterranean areas of Europe. Grassland Science in Europe, 11:428-438.
- Parissi, Z. M., Nastis, A., 2000. Effect of clipping intensity on forage production and quality of *Amorpha fruticosa* (L.) Proce. of the 2st Panhellenic Range Sience Congress. Greek Range Science Society, Ioannina, 4-6 October 2000, Greece: 257- 262.
- Rivera, D., Parish, J., 2010. Interpreting Forage and Feed Analysis Report. 2620, Mississippi State University.
- Sağlıker, H. A., Darıcı, C., 2005. Doğu Akdeniz Bölgesinde iki farklı ana materyalde yetişen *Olea europaea* L., *Pinus brutiaten.* ve *Pistacia terebinthus* L. topraklarında karbon mineralizasyonu. Ekoloji 14, 54, 20-24.
- Seçmeler, Ö., Üstündağ Güçlü, Ö., 2016. Zeytinyağı sektörü atık ve yan ürünlerindeki biyoaktif maddelerin değerlendirilmesi. Dünya Gıda Dergisi, May 2015.
- Sılanikove, N., 1997. Why goats raised on harsh environment perform better than other domesticated animals. Options Me'diterrane'ennes, 34: 185-194.
- Temel, S., 2007. Erdemli (Mersin) Yöresi Makiliklerinde Çalı Türlerinin Tespiti ve Yem Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 154 s.
- Temel, S., Kır, A. E., 2015. Bazı çalı ve ağaç türlerinin mevsimsel dönem ve hayvan gruplarına göre otlanmada tercih durumlarının belirlenmesi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD), 1(1): 31-39.
- Temel, S., Tan, M., 2009a. Erdemli (Mersin) yöresi makiliklerindeki çalı türlerinin tespiti ve yoğunlukları üzerine bir araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 40 (1), 81-89.
- Temel, S., Tan, M., 2009b. Farklı rakım ve yöneyde bulunan makiliklerde çalı türlerinin otlanmada tercih durumları üzerine bir araştırma. Türkiye 6. Zootekni Bilim Kongresi, 24-26 Haziran 2009. Erzurum, Cilt: II, s: 474-481.

- Temel, S., Tan, M., 2011a. Fodder values of shrub species in maquis in different altitudes and slope aspects. The Journal of Animal and Plant Sciences, 21 (3): 508-512.
- Temel, S., Tan, M., 2011b. Determination of the leaf yields and leaf ratios per plant depending on altitude and slope aspects of shrub species in Mediterranean Region maquis. Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg. 17(2): 257-262.
- Temel, S., Tan, M., 2013. Akdeniz bölgesindeki makiliklerde bulunan çalı türlerin gelişme seyirleri. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 3(2): 77-86.
- Tolera, A., Khazaal, K., Ørskov, E. R., 1997. Nutritive evaluation of some browses species. Animal Feed Science and Technology, 67: 181-195.
- Tunalıoğlu, R., 2009. Quality and food safety of Turkey's Olive Oil Exports by the Role of Institutional structure. 12-16 Mayıs 2009- Expoliva XIV Scentific-Technical Symposium. Jaen-İspanya
- Victor, S., 1981. Livestock management in the arid zone. Inkata Press, Sydney, Melbourne. 271 p.
- Yavuz, F., 2005. Türkiye'de Tarım. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.

BÖLÜM 4

TÜRKİYE’DE TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLER ÜRETİMİ, TİCARETİ VE PROJEKSİYONU

Doç. Dr. Levent YAZICI¹, Arş. Gör. Oğuz EROL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224283>

1 Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Yozgat, ORCID ID: 0000-0002-6839-5366

2 Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü, Yozgat ORCID ID: 0000-0001-8329-1488

GİRİŞ

Tarih öncesi dönemlerden günümüze kadar insanlar, beslenme, barınma ve hastalıkların tedavisinde bitkilerden yararlanmışlardır. Hastalıkların tedavisinde ve yaraların iyileştirilmesinde kullanılan bitki türleri tıbbi bitkiler olarak adlandırılmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkiler; kök, rizom, soğan, yumru, gövde, sap, kabuk, yaprak, çiçek ve tohum gibi organlarının birinde, birkaçında ya da tamamında farmakolojik aktiviteye sahip alkaloid, terpen veya fenolik bileşikler gibi biyoaktif maddeler içeren ve bu nedenle ilaç, parfüm, kozmetik, baharat, boya veya gıda amaçlı kullanılan bitkileri kapsamaktadır. Tedavi edici özelliğe sahip maddeler taşıyan türler tıbbi bitkiler, uçucu yağ bakımından zengin olan türler ise aromatik bitkiler olarak tanımlanmaktadır (Baydar, 2022; Yazıcı ve ark., 2017).

Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkiler; gıda, tekstil, boya, kozmetik, ilaç, baharat ve tarımsal üretim gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Göktaş ve Gıdık, 2019). Türkiye, birçok bitkinin gen ve orijin merkezi olup bitki genetik çeşitliliği ve endemizm bakımından oldukça zengindir. Ülkemizde 4.080'i endemik olmak üzere toplam 12.476 bitki taksonu (tür, alttür ve varyete) bulunmaktadır (Karagöz ve ark., 2010). Bu bitki türlerinin yaklaşık 1.000'i tıbbi ve aromatik amaçlı olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2015). Endemik türler bakımından en zengin bölgelerimiz Akdeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'dur (Acıbuca ve Budak, 2018; Yazıcı ve Yılmaz, 2017; Arslan ve ark., 2015).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin tıpta kullanım geçmişine bakıldığında, 20. yüzyılın başlarında yaşanan teknolojik gelişmeler ve sosyo-politik olaylar bitkisel ilaçların kullanımında azalmaya yol açmıştır. 1940'lı yıllarda sentetik ilaç üretiminde görülen büyük artış, bitkisel ilaçların önemini daha da azaltmıştır. Ancak 1980'li yıllardan itibaren insanların sağlık bilincinin artması ve kimyasal ilaçların yan etkilerine karşı duyulan endişeler nedeniyle doğal ve organik ürünlere talep yükselmiş, bu da tıbbi ve aromatik bitkilerin yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır (Bayram ve ark., 2010, Doğrusöz ve ark., 2024).

Bitkilerin tedavi amaçlı kullanım oranları ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılık göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde nüfusun yaklaşık %80'i bitkisel ürünlerden faydalanırken, Orta Doğu, Asya ve Afrika gibi bölgelerde bu oran %95'e kadar çıkabilmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise

oran daha düşüktür. Örneğin Almanya’da %40–50, ABD’de %42, Fransa’da %49 ve Avustralya’da %48 oranında insanlar tıbbi bitkileri kullanmaktadır (Titz, 2004). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) de bitkisel ilaçların özellikle gelişmekte olan ülkelerde temel sağlık hizmetlerinde önemli bir rol oynadığını ve küresel sağlık sistemlerinde kullanımının giderek arttığını rapor etmektedir (WHO, 2013).

Tıbbi ve aromatik bitkiler, kültürü yapılanlar ve doğadan toplananlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğadan toplanan bitkiler, dağlar, ormanlar ve meralar gibi alanlarda kendi kendine yetişen bitkilerin belirli kısımları (yaprak, çiçek, meyve, sap vb.) veya tarımsal arazilerde bulunan yabancı otlar olabilir. Dünya genelinde ticareti yapılan tıbbi ve aromatik bitkilerin önemli bir kısmı doğadan toplanmaktadır. Türkiye’de doğadan toplanan başlıca tıbbi aromatik bitkiler arasında kekik ve defne yaprağı yer almakta, son yıllarda keçiboynuzu toplama faaliyetleri de yaygınlaşmaktadır (Acıbuca ve Budak, 2018).

Dünya genelinde tıbbi ve aromatik bitkilerin pazar hacminin yaklaşık 100 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Acıbuca ve Budak, 2018). Bu büyük pazarda etkin bir rol oynayabilmek için üretimin ve ticaretin düzenli bir şekilde kontrol edilmesi ve yeni planlamaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin üretim, dış ticaret ve projeksiyon verilerini ortaya koyarak sektörün mevcut durumunu ve geleceğe yönelik eğilimlerini değerlendirmektir. Bu kapsamda, 2014–2024 yılları arasındaki üretim miktarları, doğadan toplayıcılık faaliyetleri, ihracat ve ithalat verileri incelenmiş; 2025–2035 dönemi için üretim ve ticaret projeksiyonları yapılmıştır. Araştırma, Türkiye’nin zengin biyolojik çeşitliliği ve ekolojik avantajları doğrultusunda tıbbi ve aromatik bitkilerin ekonomik, tarımsal ve kültürel önemini vurgulamakta; sektörün sürdürülebilirliği, ihracat potansiyeli ve dışa bağımlılık boyutlarını analiz ederek politika yapıcılar ve üreticiler için yol gösterici bilgiler sunmayı hedeflemektedir.

Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretim Miktarı

Türkiye’de tarla bitkileri sınıfında üretimi yapılan tıbbi aromatik bitkilerin 2014-2024 yılları arasındaki üretim miktarları Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde 2014 yılında toplam tıbbi aromatik bitki üretim miktarı 147.695 ton olarak göze çarpmakta, 2024 yılında ise %35,89

oranında bir artış göstererek bu değer 200.713 tona çıkmıştır. Yıllar içindeki dağılım göz önüne alındığında 2014 yılında en fazla üretimi yapılan tıbbi aromatik bitki tütün olurken, ikinci sırada haşhaş gelmektedir. Tütün üretimi 2014 yılında 74.696 ton iken yıllar içerisinde dalgalanmakla beraber 2024 yılında 108.000 ton ile ciddi bir artış meydana gelmiştir. Tütün üretiminde son on yılda ortalama üretim miktarı 81.232 ton olarak belirlenmiştir. Haşhaş üretimi 2014 yılında 16.223 ton olmuş, 2024 yılında ise ciddi bir azalma meydana gelerek 6.412 ton olmuştur. Ortalama haşhaş üretim miktarı 18.161 ton olarak belirlenmiştir. Haşhaş üretiminde yıllar içerisinde ciddi dalgalanmalar meydana gelerek, son yıllarda üretim miktarı çarpıcı derecede azalma göstermiştir. Türkiye’de üretimi yapılan önemli tıbbi aromatik bitkilerden kekik, kimyon ve nane üretim miktarı sırasıyla 2014 yılında 11.752 ton, 15.570 ton ve 14.700 ton üretimleri yapılmıştır. 2024 yılında üretim miktarları sırasıyla 18.213 ton, 11.480 ton ve 26.322 ton olmuştur. Yıllar arasında dalgalanmalar olmakla birlikte özellikle kekik üretimi 44.358 tona kadar yükselmiştir. Son 10 yıllık ortalama üretim miktarı göz önüne alındığında en fazla üretimi yapılan bitki tütün olurken, tütün üretimini sırasıyla kekik, nane, haşhaş ve kimyon takip etmiştir. Üretimi yapılan tıbbi aromatik bitkiler arasında son yıllarda lavanta üretimi dikkat çekici ölçüde artış göstermiştir. 2014 yılında 297 ton üretimi yapılırken üretim miktarı 9.509 tona kadar çıkmış ve 2024 yılında 9.070 ton üretimi yapılmıştır. Yıllar içerisindeki dalgalanmalar mevcut yıldaki iklim dalgalanmaları ile meydana gelmiş olduğu düşünülmektedir. Özellikle son yıllardaki kekik ve lavanta üretiminin artması aromatik bitki veya uçucu yağ ürünlerine artan talep özellikle de kozmetik, parfümeri ve aromaterapi gibi uygulamaların yaygınlaşması ve doğal ürünlere geri dönüş doğrultusunda artmış olacağı varsayılmaktadır. Aynı zamanda kekik ve lavanta gibi ürünler daha az su ve bakım ihtiyacının olması dolayısıyla üreticiler için cazip birer ürün haline gelmektedir. Nitekim Giray (2018), Türkiye’de lavanta plantasyonlarının artmaya başladığını bunun da esansiyel yağ ve tarım turizmine duyulan ilginin artmasından kaynakladığını ifade etmiştir. Haşhaş üretiminin son yıllardaki düşüşü, artan ekonomik maliyetler, döviz kurunda meydana gelen dengesizlikler ve üretim maliyetlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, haşhaşın yasal olarak kontrol altında tutulan ve izinli yetiştiriciliği yapılan bir bitki olması nedeniyle üreticilerin karlılığı daha

yüksek olan farklı alternatif bitkilere yönelmiş olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği nedeniyle kış aylarında görülen don ve soğuk zararları da haşhaş üretimini olumsuz etkilemektedir. Benzer şekilde pazara yakınlık, pazar talepleri ve iklim, toprak, sulama imkânı gibi çevresel faktörler doğrultusunda bölgenin ekim deseninde değişiklik meydana gelebilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretim Miktarı (Ton)

Bitki	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Ortalama
Tütün	74696	67990	74238	93666	75276	68224	79081	71497	82250	98632	108000	81232
Haşhaş (Kapsül)	16223	30730	16550	13836	26991	27288	20542	21037	12240	7922	6412	18161
Acı Bakla	411	409	411	402	356	191	207	128	114	105	104	258
Şerbetçi otu	1832	1869	1846	1785	1785	1800	1908	1861	1051	758	759	1569
Oğul otu (Melisa)	238	242	108	106	84	93	150	266	324	253	234	191
Ada çayı	19	80	411	557	428	1233	1271	1848	2356	3133	2329	1242
Lavanta	297	400	747	845	1040	1462	3499	6108	7722	9509	9070	3700
Nane	14700	14945	15550	14213	14511	16011	23471	26438	26911	26198	26322	19934
Anason	9309	9050	9491	8418	8664	17589	10716	6936	5878	4521	5102	8698
Kimyon	15570	16897	18586	19175	24195	20245	13926	8386	8130	11480	17018	15783
Kekik	11752	12992	14724	14477	15895	17965	23866	21174	44358	30129	18213	20504
Çörekotu	140	425	2527	3094	3322	3603	3412	6435	10089	5386	4572	3910
Çemen	218	491	914	1521	745	645	713	816	1044	1313	1352	888
Rezene	2289	1461	2464	2022	3067	4655	4365	2503	2323	1108	1125	2489
Kışniş	1	11	42	29	29	12	188	253	204	222	101	99
Toplam	147695	157992	158609	174146	176388	181016	187315	175686	204994	200669	200713	

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de üretimi yapılan tıbbi aromatik bitkilerin 2014-2024 yılları arasındaki değişim oranları ve projeksiyon katsayıları Çizelge 2 de verilmiştir. Çizelge 2 irdelendiğinde tütün, haşhaş, oğulotu, adaçayı, lavanta, nane, kimyon, kekik, çörekotu, çemen, rezene ve kışniş üretim miktarlarında pozitif projeksiyon katsayısı belirlenirken, acı bakla ve şerbetçiotu üretim miktarlarında negatif projeksiyon katsayısı belirlenmiştir. Elde edilen projeksiyon katsayılarından negatif değerler azalmayı ifade ederken pozitif

değerler artışı ifade etmektedir (Yaman ve ark., 2018; Yaman ve Yıldız, 2023; İncetekin ve Özaktan, 2024a; İncetekin ve Özaktan, 2024b). En yüksek projeksiyon katsayısının kişnişte meydana geldiği ve kişnişi adaçayının takip ettiği göze çarparken, beklenen en düşük artış haşhaş ve rezenede meydana gelmiştir.

Çizelge 2. Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretim Miktarı 2014-2024 yılları arasındaki değişim miktarı ve projeksiyon katsayıları (%)

Bitki	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Projeksiyon Katsayısı
Tütün	-0.09	0.09	0.26	-0.20	-0.09	0.16	-0.10	0.15	0.20	0.10	0.05
Haşhaş (Kapsül)	0.89	-0.46	-0.16	0.95	0.01	-0.25	0.02	-0.42	-0.35	-0.19	0.01
Acı Bakla	-0.01	0.01	-0.02	-0.11	-0.46	0.08	-0.38	-0.11	-0.08	-0.01	-0.11
Şerbetçi otu	0.02	-0.01	-0.03	0.00	0.01	0.06	-0.03	-0.44	-0.28	0.00	-0.07
Oğul otu (Melisa)	0.02	-0.55	-0.02	-0.21	0.11	0.61	0.77	0.22	-0.22	-0.08	0.07
Ada çayı	3.21	4.14	0.36	-0.23	1.88	0.03	0.45	0.28	0.33	-0.26	1.02
Lavanta	0.35	0.87	0.13	0.23	0.41	1.39	0.75	0.26	0.23	-0.05	0.46
Nane	0.02	0.04	-0.09	0.02	0.10	0.47	0.13	0.02	-0.03	0.01	0.07
Anason	-0.03	0.05	-0.11	0.03	1.03	-0.39	-0.35	-0.15	-0.23	0.13	0.00
Kimyon	0.09	0.10	0.03	0.26	-0.16	-0.31	-0.40	-0.03	0.41	0.48	0.05
Kekik	0.11	0.13	-0.02	0.10	0.13	0.33	-0.11	1.10	-0.32	-0.40	0.10
Çörekotu	2.04	4.95	0.22	0.07	0.09	-0.05	0.89	0.57	-0.47	-0.15	0.82
Çemen	1.25	0.86	0.66	-0.51	-0.13	0.11	0.14	0.28	0.26	0.03	0.30
Rezene	-0.36	0.69	-0.18	0.52	0.52	-0.06	-0.43	-0.07	-0.52	0.02	0.01
Kişniş	10.00	2.82	-0.31	0.00	-0.59	14.67	0.35	-0.19	0.09	-0.55	2.63

Türkiye’de yetiştirilen tıbbi aromatik bitkilerin belirlenen projeksiyon katsayılarına göre 2025-2035 yılları arasında beklenen üretim miktarları Çizelge 3’de sunulmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde 2035 yılına kadar tütün üretimi lider konumunu koruyacağı öngörülmektedir. 2025 yılında 108.052 ton olan tütün üretimi 2035 yılında 108.572 ton olacağı tahmin edilmektedir. Haşhaş üretimi devlet kontrolünde yapılmasından dolayı yüksek bir artış veya azalma beklenmemektedir. Nitekim Çizelge’de bu beklentiye kanıtlar niteliktedir. 2025 yılında 6.412 ton olması beklenen haşhaş üretiminin 2035 yılında 6.415 ton olacağı tahmin edilmektedir. Son yıllarda üretim

miktarında ciddi sıçrayış yaşayan lavanta üretiminin 2025 yılında 9.111 ton olacağı tahmin edilirken, 2035 yılında beklenen üretim miktarı 9.536 ton olmuştur. Genel olarak Çizelge incelendiğinde Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitki üretiminde kontrollü ama artış eğilimli bir stratejinin izlendiğini göstermektedir. Özellikle lavanta, ada çayı, kekik ve çörek otu gibi bitkilerde küresel talebin artmasıyla birlikte ihracat potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. Türkiye’de yetiştirilen Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin 2025-2035 yılları arası üretim miktarına ilişkin projeksiyonu (Ton)

Bitki	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Tütün	108052	108104	108156	108208	108260	108312	108364	108416	108468	108520	108572
Haşhaş (Kapsül)	6412	6412	6413	6413	6413	6414	6414	6414	6415	6415	6415
Acı Bakla	104	104	104	104	104	103	103	103	103	103	103
Şerbetçi otu	758	757	757	756	756	755	755	754	754	753	753
Oğul otu (melisa)	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	236
Ada çayı	2353	2377	2401	2426	2450	2475	2501	2526	2552	2578	2604
Lavanta	9111	9153	9194	9236	9279	9321	9364	9406	9449	9493	9536
Nane	26340	26358	26376	26394	26412	26430	26448	26466	26484	26502	26520
Anason	5102	5102	5102	5102	5101	5101	5101	5101	5101	5101	5100
Kimyon	17026	17034	17042	17050	17058	17066	17074	17082	17090	17098	17106
Kekik	18232	18251	18270	18289	18308	18327	18346	18365	18384	18403	18423
Çörekotu	4609	4647	4684	4723	4761	4800	4839	4878	4918	4958	4999
Çemen	1356	1360	1364	1368	1372	1376	1380	1384	1388	1392	1397
Rezene	1125	1125	1125	1125	1125	1126	1126	1126	1126	1126	1126
Kişniş	104	107	110	112	115	118	122	125	128	131	135

Türkiye’de tıbbi aromatik bitkilerin sadece üretimi yapılmayıp aynı zamanda doğada doğal olarak yetişen bitkiler de toplanıp pazarlanmaktadır. Çizelge 4’de Türkiye’de doğadan toplanan tıbbi aromatik bitki türleri ve toplama miktarı sunulmuştur. Çizelge 4 incelendiğinde doğadan kekik, biberiye ve adaçayı toplayıcılığı yapıldığı görülmektedir. 2023 yılında doğadan toplayıcılık faaliyetleri kapsamında 921 ton kekik, 206 ton biberiye ve 119 ton adaçayı toplayıcılığı yapmıştır.

Türkiye'nin 2015-2024 yılları arası tıbbi aromatik bitkileri ihracat değerleri Çizelge 7 de verilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde en yüksek ihracat kalemini Türkiye' de üretimi olmayan kakao çekirdekleri oluşturmaktadır. Birim maaliyetinin yüksek olması bu değerın yüksek olmasında etkili bir faktör olduğu düşünölmektedir. Kakao çekirdekleri 2015 yılında 263 milyon dolar seviyelerinden 2024 yılında 497 milyon dolar seviyelerine çıkarak güçlü bir artış göstermiştir. Bu çizelgedeki en hızlı artış yaşayan grup kakao çekirdekleri olmuştur. Kakao çekirdeklerinden sonra en fazla ihracatı yapılan ürün olarak tütün ön plana çıkmaktadır. Kakao ihracatındaki artış, Türkiye'nin çikolata ve şekerleme sanayisinin gücü, transit ticaret rolü, lojistik avantajı ve küresel kakao fiyatlarındaki yükseliş ile açıklanabilir. Türkiye üretici değil ama işleyici ve ihracat merkezi konumundadır. Tütün 2015 yılında 386 milyon dolar işlem hacmi ile en yüksek seviyelerdeyken ilerleyen yıllarda azalama eğilimi göstermiş ve 2024 yılında 341 milyon dolar seviyelerine gerilemiştir. Ancak hala ekonomik önemini koruyan bir bitki türü olarak ön plana çıkmaktadır. Türkiye'nin işlenmemiş tütün ihracatındaki azalma, küresel tüketim düşüşü, üretim alanlarının azalması, alternatif ürönlere yönelim ve ihracat pazarındaki değişimler ile ilişkilidir. Hızlı artış gösteren ürünlerden bir diğeri ise kahvedir. Kahve Türkiye'nin üretmediğı ithal edip işleyip ihraç ettiğı bir üründür. 2015 yılında 7 milyon dolarlık bir hacmi bulunan kahvenin son yıllardaki hacmi 82 milyon dolar seviyelerine kadar gelmiştir. Türkiye'de kahve üretimi yok denecek kadar az olsa da işleme sanayisi, Türk kahvesinin kültürel değeri, transit ticaret rolü ve küresel fiyat artışları sayesinde kahve ihracatı son yıllarda güçlü bir yükseliş göstermiştir. Özellikle de zincir kahve restoranlarının yaygınlaşması bu yükselişin nedenleri arasındadır. Çay ihracatına bakıldığında 2015 yılında 23,6 milyon dolarlık bir hacmi bulunurken, 2024 yılında bu hacim nispeten durağan bir seyir göstermekte ve 2024 yılında 27 milyon dolar seviyelerine ilerlemiştir. Biber ihracatı 2015 yılında 7 milyon dolardan 2024 yılında 34 milyon dolar seviyelerine çıkarak 5 kat artış göstermiştir. Zencefil, safran, kekik vb. ürünler 2015 yılında 106 milyon dolarlık ihracat hacmine sahipken 2024 yılında 179 milyon dolara yükselmiş olup istikrarlı bir artış sergilemektedir. Görece düşük ticaret hacmine sahip ürünlerden karanfil ve türevleri 2015'te 110 bin dolar seviyelerinden, 2024'te 2,2 milyon dolara çıkmıştır. Hindistan cevizi, muskat, kakule 2015'te 119 bin dolar seviyelerinden, 2024'te 9,5 milyon dolara

ulaşmıştır. Vanilya Dalgalı seyir göstermiştir; 2015'te 257 bin dolar, 2024'te 1 milyon dolar civarında kalmıştır. Tarçın ve tarçın çiçekleri: 2015'te 164 bin dolar seviyelerinden, 2024'te 2,8 milyon dolara çıkmıştır. Şerbetçiotu ihracatı 2020 yılından itibaren başlamış, yıllar arasında önemli dalgalanmalar mevcuttur. Nitekim 2022 yılında 1 milyon dolar seviyelerini gören şerbetçiotu, 2023 yılında altı bin dolara gerilemiş, 2024 yılı itibariyle 153 bin dolarlık bir ihracat hacmine sahip olmuştur. Çizelge hakkında genel bir değerlendirme yapılacak olursa kakao çekirdekleri, kahve ve zencefil–safran–kekik–defne grubu en hızlı büyüyen kalemler olarak göze çarpmış, tütün geleneksel olarak en büyük ihracat kalemi olsa da uzun vadede gerileme eğilimi göstermiş, küçük ölçekli ürünler (karanfil, hindistan cevizi, tarçın, vanilya) ihracatta ciddi oranlarda artış göstermektedir, bu da ürün çeşitliliğinin arttığını gösterir. Türkiye'nin katma değeri yüksek tıbbi–aromatik bitkilerde pazar payını artırdığı, özellikle kahve ve kakao gibi ürünlerde dışa bağımlılığın yanında ihracat kanalını da geliştirdiği söylenebilir.

Çizelge 7. Türkiye’de 2015- 2024 yılları arasındaki Tıbbi Aromatik Bitkilerin ihracat değerleri (Bin dolar)

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	7311	7887	9097	8896	14125	17782	21091	22725	26295	34225
Kahve	7162	9225	10704	12082	19877	30342	35122	65147	60131	82176
Vanilya	257	315	213	396	1264	1404	1166	1070	1525	1085
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	164	203	189	265	733	1552	2441	2961	2243	2818
Anason, Rezene, Kişniş, Kimyon vb.	23031	35813	22987	31994	39357	47791	46709	38162	58435	39272
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	106714	113885	109656	113700	118415	136087	139949	126774	133302	179233
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	110	151	172	104	535	665	1050	939	1472	2215
Hindistan cevizi, muskat	119	91	109	144	1395	3517	2111	3223	7917	9583

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ve kakule										
Çay	23614	28585	24966	13090	16110	17835	21723	24751	27404	27055
Salep	9	15	9	7	12	10	50	57	49	49
Şerbetçiotu							244	299	1035	6
Kakao çekirdekleri	263600	281924	290959	217209	247920	341020	340007	209451	315098	497060
Tütün (işlenmemiş)	386138	358123	349636	382934	262472	267542	260938	261113	255791	341462

Kaynak: TÜİK

Türkiye'nin 2015-2024 yılları arasındaki ihracat değerlerine ilişkin değişim oranları ve projeksiyon katsayıları Çizelge 8'de sunulmuştur. Çizelge 8 göz önüne alındığında tütün haricindeki tüm ihracat kalemlerinde pozitif projeksiyon katsayıları belirlenmiştir. Bu durumda tütün haricindeki tüm ürünlerin ihracat değerlerinin artmasının beklendiğini ifade etmektedir. En yüksek projeksiyon katsayısı şerbetçiotundan elde edilmiştir. En düşük artış beklenen bitki çay olarak ortaya çıkmıştır. Tütün'de negatif projeksiyon katsayısı elde edilmiştir. Negatif projeksiyon katsayısı ihracat hacminin küçüleceğini ifade etse de projeksiyon değerinin küçük olması tütün ihracatında değişimin olmayacağını ifade etmektedir.

Çizelge 8. Türkiye'de 2015-2024 yılları arası Tıbbi Aromatik Bitkiler ihracat değerlerine ilişkin değişim oranları ve projeksiyon katsayıları (%)

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Projeksiyon Katsayısı
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	0.08	0.15	-0.02	0.59	0.26	0.19	0.08	0.16	0.30	0.20
Kahve	0.29	0.16	0.13	0.65	0.53	0.16	0.86	-0.08	0.37	0.34
Vanilya	0.23	-0.32	0.86	2.19	0.11	-0.17	-0.08	0.43	-0.29	0.33
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	0.24	-0.07	0.40	1.77	1.12	0.57	0.21	-0.24	0.26	0.47
Anason, Rezene, Kişniş, Kimyon vb.	0.56	-0.36	0.39	0.23	0.21	-0.02	-0.18	0.53	-0.33	0.11
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	0.07	-0.04	0.04	0.04	0.15	0.03	-0.09	0.05	0.35	0.07
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	0.37	0.14	-0.40	4.14	0.24	0.58	-0.11	0.57	0.51	0.67
Hindistan cevizi, muskat ve kakule	-0.24	0.20	0.32	8.69	1.52	-0.40	0.53	1.46	0.21	1.37

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Projeksiyon Katsayısı
Çay	0.21	-0.13	-0.48	0.23	0.11	0.22	0.14	0.11	-0.01	0.04
Salep	0.67	-0.40	-0.22	0.71	-0.17	4.00	0.14	-0.14	0.00	0.51
Şerbetçiotu							0.20	2.50	-1.00	24.50
Kakao çekirdekleri	0.07	0.03	-0.25	0.14	0.38	-0.00	-0.38	0.50	0.58	0.12
Tütün (işlenmemiş)	-0.07	-0.02	0.10	-0.32	0.02	-0.03	0.00	-0.02	0.34	-0.00

Türkiye'nin 2025-2034 yılları arasındaki ihracat projeksiyonları Çizelge 9'da sunulmuştur. Çizelge 9 incelendiğinde tütün haricindeki tüm ürünlerde büyük sıçramalardan ziyade istikrarlı ve kademeli bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Önümüzdeki yıllarda ihracat pazarında bugünkü duruma benzer bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Pazarın hakim konumundaki ürünleri kakao çekirdekleri, tütün ve zencefil, safran kekik defne vb. ürünler olması beklenmektedir. İhracat pazarındaki en küçük pay sahibi bitki salep olması beklenmektedir.

Çizelge 9. Türkiye’de ihracatı yapılan bitkilerin 2025-2034 yılları arası projeksiyonu (Bin dolar)

Bitkiler	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	34293	34361	34429	34497	34565	34634	34702	34771	34840	34909
Kahve	82455	82734	83015	83296	83578	83862	84146	84431	84717	85005
Vanilya	1089	1092	1096	1099	1103	1107	1110	1114	1117	1121
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	2831	2845	2858	2872	2885	2899	2913	2926	2940	2954
Anason, Rezene, Kişniş, Kimyon vb.	39317	39362	39406	39451	39496	39541	39586	39632	39677	39722
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	179350	179466	179583	179699	179816	179933	180050	180167	180284	180401
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	2230	2245	2260	2275	2290	2306	2321	2337	2353	2368
Hindistan cevizi, muskat ve kakule	9714	9846	9981	10117	10255	10395	10537	10681	10827	10974
Çay	27067	27079	27091	27103	27115	27127	27138	27150	27162	27174
Salep	49	50	50	50	50	51	51	51	51	52
Şerbetçiotu	163	174	185	197	210	224	239	254	271	289
Kakao çekirdekleri	497647	498234	498822	499410	500000	500590	501180	501772	502364	502957
Tütün (işlenmemiş)	341459	341455	341452	341448	341445	341442	341438	341435	341431	341428

Türkiye'nin 2015-2024 yılları arası tıbbi aromatik bitkiler ithalat değerleri Çizelge 10'da verilmiştir. Çizelge 10 irdelendiğinde Türkiye'nin en yüksek ithalat kalemi tütün olmuştur. Türkiye tütünde hem ihracat hem de ithalat yapan bir ülkedir. Bu durumun sebebi, Türkiye, geleneksel olarak "oryantal" tütün üretiminde öne çıkmaktadır. Ancak, sigara üreticilerinin talep ettiği bazı tütün çeşitleri, Türkiye'de yeterince üretilmemektedir. Bu nedenle, sigara üreticileri, kalite ve aroma açısından farklı türleri ithal etmektedir. Özellikle Virginia ve Burley gibi türler, Türkiye'de sınırlı miktarda üretilmektedir. Bu durum, Türkiye'nin tütün ithalatını artırmaktadır (Sönmez, 2014). Kakao çekirdeklerinin ve kahvenin Türkiye'de üretiminin olmaması bu kalemlerde ciddi ithalatların yapıldığını ortaya koymaktadır. Kahve ve kakao ithalat pazarının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Tütün, kahve ve kakaoya 2024 yılında toplam payı (1.522.401 bin dolar) 1,5 milyar doların üzerindedir. Çizelge genel olarak değerlendirildiğinde Çoğu ürünün ithalat değeri 2015–2024 arasında artış eğiliminde olduğu ve şerbetçiotu dışında neredeyse tüm ürünlerde artış görülmektedir. Yıllar içerisindeki dalgalanmalar genellikle arz-talep, üretim koşulları ve global fiyat değişimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği düşünülmektedir. 2020 sonrası bazı ürünlerde (kahve, kakao, zencefil vb.) hızlı artışlar, pandemi ve küresel fiyat değişimlerinden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 10. Türkiye' de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin 2015-2024 yılları arası ithalat değerleri (Bin dolar)

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	10698	12710	32676	12009	29612	21649	23829	22578	34534	39236
Kahve	146799	130503	191808	186584	206686	202873	232670	413033	465477	497092
Vanilya	318	181	180	60	267	342	256	318	489	794
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	1265	2083	3396	1901	3741	4956	5019	5083	4224	4863
Anason, Rezene, Kişniş, Kimyon vb.	7430	10632	11596	10155	27760	38800	40904	33425	36851	23900
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	14348	14494	16112	13719	18513	22018	22487	21831	23504	41058
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	594	353	726	483	1186	1842	1189	1135	2379	3855
Hindistan cevizi,	588	774	1109	929	2132	4237	3335	7096	12649	12120

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
muskat ve kakule										
Çay	17015	41089	59929	38911	40851	44316	41531	23816	36377	35473
Salep	2	26	20	25	24	23	42	30	25	29
Şerbetçiotu	2141	2104	1599	2219	2353	1664	1491	2247	2023	1291
Kakao çekirdekleri	263600	281924	290959	217209	247920	341020	340007	209451	315098	497060
Tütün (işlenmemiş)	391657	428532	392897	443686	422194	431668	342041	381959	449903	528249

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de ithalatı yapılan tıbbi ve aromatik bitkilere ilişkin değişim oranı ve projeksiyon katsayısı Çizelge 11’de sunulmuştur. Çizelge 11 incelendiğinde şerbetçiotu haricindeki diğer tüm bitkilerde pozitif projeksiyon katsayısı belirlenmiştir. Pozitif projeksiyon katsayısı ithalat miktarlarının artış göreceğini ifade etmektedir. En yüksek projeksiyon katsayısı salep bitkisinde belirlenirken, en düşük artış tütünde belirlenmiştir. Şerbetçiotu ise negatif projeksiyon katsayısı göstermiştir. Bu durumda ithalat değerlerinde bir azalış meydana geleceği tahmin edilmekte ancak katsayının küçük olması sebebi ile çok küçük miktarlarda azalmanın meydana geleceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 11. Türkiye’de 2015-2024 yılları arası Tıbbi Aromatik Bitkiler ithalat değerlerine ilişkin değişim oranları ve projeksiyon katsayıları (%)

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Projeksiyon Katsayısı
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	0.19	1.57	-0.63	1.47	-0.27	-0.27	-0.05	0.53	0.14	0.30
Kahve	-0.11	0.47	-0.03	0.11	-0.02	-0.02	0.78	0.13	0.07	0.15
Vanilya	-0.43	-0.01	-0.67	3.45	0.28	0.28	0.24	0.54	0.62	0.48
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	0.65	0.63	-0.44	0.97	0.33	0.33	0.01	-0.17	0.15	0.27
Anason, Rezene, Kışniş, Kimyon vb.	0.43	0.09	-0.12	1.73	0.40	0.40	-0.18	0.10	-0.35	0.28
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	0.01	0.11	-0.15	0.35	0.19	0.19	-0.03	0.08	0.75	0.17
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	-0.41	1.06	-0.34	1.46	0.55	0.55	-0.05	1.10	0.62	0.51
Hindistan cevizi, muskat ve kakule	0.32	0.43	-0.16	1.30	0.99	0.99	1.13	0.78	-0.04	0.64
Çay	1.42	0.46	-0.35	0.05	0.09	0.09	-0.43	0.53	-0.03	0.20
Salep	12.00	-0.23	0.25	-0.04	-0.04	-0.04	-0.29	-0.17	0.16	1.29

Bitkiler	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Projeksiyon Katsayısı
Şerbetçiotu	-0.02	-0.24	0.39	0.06	-0.29	-0.29	0.51	-0.10	-0.36	-0.04
Kakao çekirdekleri	0.07	0.03	-0.25	0.14	0.38	0.38	-0.38	0.50	0.58	0.16
Tütün (işlenmemiş)	0.09	-0.08	0.13	-0.05	0.02	0.02	0.12	0.18	0.17	0.07

Türkiye'nin 2025-2034 yılları arasında projeksiyon katsayılarına göre hesaplanmış ithalat değerleri Çizelge 12'de sunulmuştur. Çizelge 12'ye göre ürün grupları arasında genel olarak sınırlı fakat istikrarlı bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Kahve 2025 yılında 497.853 bin dolar olan ithalat değeri 2034 yılında 504.750 bin dolara ulaşacağı öngörülmektedir. Kakao çekirdekleri ithalatı 2025 yılında 497.853 bin dolardan başlayıp 2034 yılında 505.070 bin dolara ulaşırken, işlenmemiş tütün ithalatı ise 528.605 bin dolardan 531.790 bin dolara çıkmaktadır. Buna karşın şerbetçiotu ithalatında farklı bir eğilim gözlenmekte, 2025 yılında 1.290 bin dolar olan ithalat değeri 2034 yılına gelindiğinde 1.286 bin dolara gerileyerek durağan bir seyir izlemektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, 2025–2034 yılları arasında Türkiye'nin tıbbi ve aromatik bitkiler ithalatında düzenli bir artış eğilimi söz konusudur. Özellikle kahve, kakao ve tütün gibi ürünlerde ithalatın yüksek düzeylerde seyretmesi, Türkiye'nin bu ürünlerde dışa bağımlılığının devam edeceğini göstermektedir.

Çizelge 12. Türkiye'de ithalatı yapılan Tıbbi Aromatik Bitkilerin 2025-2034 yılları arası projeksiyonu (Bin dolar)

Bitkiler	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Piper, capsicum ve pimenta cinsi biberler	39353	39469	39587	39704	39822	39940	40059	40178	40297
Kahve	497853	498614	499377	500141	500906	501673	502440	503209	503979
Vanilya	798	802	805	809	813	817	821	825	829
Tarçın ve tarçın ağacının çiçekleri	4876	4889	4903	4916	4929	4943	4956	4970	4983
Anason, Rezene, Kişniş, Kimyon vb.	23966	24033	24099	24166	24233	24300	24367	24435	24502
Zencefil, safran, kekik, defne vb.	41126	41194	41263	41331	41400	41469	41537	41606	41675
Karanfil, bütün meyve, karanfil ve saplar	3874	3894	3914	3933	3953	3973	3993	4014	4034
Hindistan cevizi, muskat ve	12197	12275	12353	12431	12510	12590	12670	12751	12832

Bitkiler	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
kakule									
Çay	35545	35616	35688	35760	35833	35905	35978	36050	36123
Salep	29	30	30	31	31	31	32	32	33
Şerbetçiotu	1290	1290	1289	1289	1288	1288	1287	1287	1286
Kakao çekirdekleri	497855	498652	499450	500249	501049	501851	502654	503458	504264
Tütün (işlenmemiş)	528603	528957	529311	529666	530021	530376	530731	531087	531443

SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, hem ekonomik hem de kültürel açıdan stratejik bir değer taşımaktadır. Gıda, kozmetik, ilaç ve aromaterapi gibi geniş kullanım alanlarına sahip olmaları, bu bitkilerin yalnızca tarımsal üretim açısından değil, aynı zamanda ihracat ve kırsal kalkınma açısından da önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye, zengin biyolojik çeşitliliği, uygun ekolojik koşulları ve köklü üretim gelenekleriyle bu alanda güçlü bir konuma sahiptir.

Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi, ihracatı ve ithalatı üzerine yapılan değerlendirmeler, son on yılda hem üretim deseninde hem de dış ticaret yapısında önemli değişimler yaşandığını ortaya koymaktadır. 2014–2024 döneminde toplam üretim miktarı %35,89 oranında artış göstermiştir. Özellikle lavanta, kekik, nane ve adaçayı gibi ürünlerde dikkate değer artışlar kaydedilirken; haşhaş ve anason gibi bazı ürünlerde azalmalar gözlenmiştir.

Projeksiyon verilerine göre, 2025–2035 yılları arasında tütün’ün üretimde liderliğini koruyacağı, lavanta ve kekik gibi yüksek katma değerli ürünlerde artış eğiliminin süreceği öngörülmektedir. Dış ticaret verileri incelendiğinde, Türkiye’nin en büyük ihracat kalemleri arasında kakao çekirdekleri, tütün ve zencefil–safran–kekik–defne grubu öne çıkmaktadır. Ayrıca Türkiye, kakao ve kahve gibi üretimini yapmadığı ancak işleyerek ihracatını artırdığı ürünlerde küresel pazarda rekabet avantajı elde etmektedir. Buna karşın tütün ihracatında uzun vadeli bir azalma eğilimi dikkati çekmektedir.

İthalatta ise tütün, kahve ve kakao en yüksek payı oluşturmakta olup, bu ürünlerde dışa bağımlılığın devam edeceği anlaşılmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi kontrollü fakat artış eğilimli bir seyir izlemektedir. Üretimde çeşitliliğin artması ve

lavanta, kekik gibi ihracat potansiyeli yüksek türlerin öne çıkması, sektörün geleceği açısından olumlu bir gelişmedir.

Ancak küresel talep, iklim değişikliği, üretim maliyetleri ve dışa bağımlılık faktörleri dikkate alındığında, Türkiye'nin hem üretim hem de ticarete sürdürülebilir stratejiler geliştirmesi gerekmektedir. Özellikle yerli üretimin desteklenmesi, katma değeri yüksek ürünlere yönelim ve doğadan toplayıcılığın kontrollü yönetimi, sektörün uzun vadede rekabet gücünü artıracaktır. Ayrıca, AR-GE yatırımlarının ve modern tarım tekniklerinin artırılması, Türkiye'nin tıbbi ve aromatik bitkiler alanında uluslararası rekabet avantajını güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

- Acıbuca, V., & Bostan Budak, D. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yeri ve Önemi. Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 33(1), 37-44.
- Anonim. (2015). Tıbbi ve aromatik bitkiler sektör raporu, Orta Anadolu Kalkınma Ajansı.
http://oran.org.tr/images/dosyalar/20180803161223_0.pdf
- Arslan, N., Baydar, H., Kızıl, S., Karık, Ü., Şekeroğlu, N., & Gümüşçü, A. (2015). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretiminde Değişimler ve Yeni Arayışlar. VII. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, s. 483-507.
- Baydar, H. (2022). Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bayram, E., Kırıcı, S., Tansı, S., Yılmaz, G., Arabacı, O., Kızıl, S., & Telci, İ. (2010). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretiminde Arttırılması Olanakları. Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi.
- Doğrusöz, M. Ç., Mut, H., Başaran, U., & Gülümser, E., (2024). Enhancing drought resistance in grass pea: The positive regulatory role of plant-smoke solution. South African Journal of Botany , vol.166, 483-491.
- Giray, F. H. (2018). An Analysis of World Lavender Oil Markets and Lessons for Turkey. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21(6), 1612–1623.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1574612>
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 145-151.
- İncetekin, M., & Özaktan, H. (2024a). Türkiye’de Yetiştirilen Organik Statüdeki Serin İklim Tahıllarının Üretim Projeksiyonu. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 7(2), 47-53.
<https://doi.org/10.55257/ethabd.1537884>
- İncetekin, M., & Özaktan, H. (2024b). Production Projection of Edible Grain Legumes with Organic Status Grown in Türkiye. Journal of Erciyes Agriculture and Animal Science, 7(2), 94-100.
- Karagöz, A., Zencirci, N., Tan, A., Taşkın, T., Köksel, H., Sürek, M., Toker, C., & Özbek, K. (2010). Bitki genetik kaynaklarının korunması ve

- kullanımı. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara.
- Orman Genel Müdürlüğü. (2005). Odun dışı ürünler. Tarım ve Orman Bakanlığı. Erişim adresi: <https://odundisiurunler.ogm.gov.tr/>
- Sönmez, A. (2014). An Analysis of the World Market for Tobacco Production and International Trade and Its Importance for Turkey. No 0702173, Proceedings of International Academic Conferences, International Institute of Social and Economic Sciences.
- Türkan, Ş., Malyer, H., Aydın, S.Ö., Tümen. G., (2006). Ordu İli ve Çevresinde Yetişen Bazı Bitkilerin Etnobotanik Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 162-166.
- Titz, A. (2004). Policy, Research & Development and Commercialisation Strategies, Scope for Diversified and Sustainable Extraction. 22-26 July 2004. Bangalore, India, 72-80.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2025). Bitkisel üretim istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr>
- World Health Organization. (2013). World Health Report 2013: Research for Universal Health Coverage. Geneva: World Health Organization. ISBN 9789240690837.
- Yaman, M., Uzun, A., Çetin, N., & Say, A. (2018). Türkiye’de Yetiştiriciliği Yapılan Bazı Üzümsü Meyvelerin Üretim Projeksiyonu. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 1(1), 19-24.
- Yaman, M., & Yıldız, E. (2023). Türkiye’de Ekonomik Öneme Sahip Yumuşak Çekirdekli Meyvelerin Üretim Projeksiyonu. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 6(1), 31-34.
- Yazıcı, L., & Yılmaz, G. (2017). Determination of alkaloids and oil rates of some poppy (*papaver somniferum* L.) varieties cultivated as winter and summer. International Journal of Secondary Metabolite, 4(3, Special Issue 2), 359-362. <https://doi.org/10.21448/ijsm.373906>
- Yazıcı, L., Yılmaz, G., & Gokalp, S. (2017). Determination of Alkaloids and Oil Rates of Some Poppy (*Papaver somniferum* L.) Varieties and Genotypes. Research Article, Kahramanmaraş Sutcu Imam University. Journal of Natural Sciences, 20, 313-317.
- Yazıcı, L. (2018). Bazı Haşhaş (*Papaver Somniferum* L.) Diallel Melezlerinde Verim ve Kalite Özellikleri ile Heterosis Etkisinin İncelenmesi.

Doktora Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı.

BÖLÜM 5

TÜRKİYE’DE LİF BİTKİLERİ ÜRETİMİ MEVCUT DURUMU VE PROJEKSİYONU

Doç. Dr. Levent YAZICI¹, Arş. Gör. Oğuz EROL²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Yozgat, ORCID ID: 0000-0002-6839-5366

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü, Yozgat ORCID ID: 0000-0001-8329-1488

GİRİŞ

Tarih öncesi dönemlerden beri insanların beslenmeden sonraki en önemli ihtiyacı giyinme olmuştur. Bu nedenle tekstil sektöründe kullanılan lif bitkilerinin geçmişi M.Ö. 10000 yıllarına kadar dayanmaktadır. Bu dönemde Mezopotamya’da keten hasadı, İndus nehri bölgesinde pamuk yetiştiriciliği ve Batı Asya’da yün üretildiğine dair kanıtlar mevcuttur. Örneğin, keten liflerinden üretilen giysilerin tarihi kazılar sonucunda M.Ö. 3000 yılına kadar uzandığı belirlenmiştir. M.Ö. 650 yılında Babiller keten liflerini cenaze törenlerinde kullanmışlardır (Mwaikambo, 2006).

Ancak tekstil sanayisinin gelişmesi, moda taleplerinin karşılanamaması ve maliyet gibi etkenlerden dolayı bitkisel liflerin yerini alabilecek alternatif lifler arayışına başlanmış, 20. yüzyılda sentetik lifler keşfedilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Sayar ve Üzümcü, 2024). Son yıllarda ise doğal liflerin çevreci, sürdürülebilir, hafif ve yüksek mukavemet özellikleri sayesinde tekrar popüler hale gelmiştir. Ayrıca doğal liflerin düşük maliyetli, yüksek yalıtım özellikli ve kolay temin edilebilir olması, sadece tekstil sektöründe değil, kompozit malzemeler, yalıtım ve yapı malzemeleri ile filtrasyon sistemleri gibi teknik uygulamalarda da kullanılabilmesini sağlamış ve bitkisel liflere olan talebi artırmıştır (Yazici, 2024; Girijappa ve ark., 2019).

Günümüzde lif üretimi amacıyla birçok bitki türü kullanılmaktadır. Türkiye’de lif bitkileri arasında en çok pamuk öne çıkarken, ardından keten ve kenevir gelmektedir. Dünya genelinde ise ekonomik öneme sahip başlıca lif bitkileri pamuk, jüt, rami, kenevir, keten, kenaf, sisal, kapok ve Hindistan cevizi olarak sıralanabilir (Yazici, 2024).

Tekstil sektörünün ana lif kaynağı pamuk lifidir. Yaklaşık 5000 yıllık bir geçmişe sahip olan pamuk, dünyada önemini hâlâ korumaktadır. Pamuk, katma değeri yüksek olan tekstil sektörüne hammadde sağlayarak istihdam alanı yaratmakta ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir. Türkiye, iklim ve çevre koşulları nedeniyle pamuk tarımına elverişli ülkelerden biridir (Cevheri ve Şahin, 2020). Pamuk bitkisi, yumuşak, hava alabilen, dayanıklı ve yüksek nem emme kapasitesine sahip olması nedeniyle ev tekstili ve giyim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Yazici, 2024).

Keten, tarihi çok eski zamanlara dayanan bir kültür bitkisidir. Buğday ve arpa ile birlikte ilk kültüre alınan bitkiler arasındadır. Keten, tohumları ve lifleri için yetiştirilen bir bitkidir; lifleri dokuma ürünlerinde, tohumları ise yağ

sanayisinde kullanılmaktadır. Binlerce yıl temel lif kaynağı olarak kullanıldıktan sonra, pamuk ve jüt ile ardından sentetik liflerle rekabet edememesi nedeniyle önemini kısmen yitirmiştir. Keten lifi yapısal olarak kenevire çok benzemektedir; ıslandığında şişerek daha sıkı bir yapı kazanır. Bu nedenle denizcilik sektöründe uzun yıllar tercih edilmiştir. Keten lifi, kenevir lifine kıyasla daha ince ve yumuşak dokulu olması nedeniyle giyim sektöründe daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Şahin, 2020).

Kenevir ise son yıllarda önem kazanan bir bitkidir. Güçlü ve dayanıklı lif yapısına sahip olup, lifleri yüksek mukavemet ve uzun ömürleri sayesinde dayanıklı ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Kenevir lifleri, hava geçirgenliği, nem alma-verme işlevi ve bazı gazları absorbe etme özellikleri açısından sentetik liflere göre üstünlük göstermektedir (Yılmaz ve Yazıcı, 2022). Kenevir liflerinin kullanım alanları arasında tekstil, çeşitli dokuma ürünleri, ev tekstili, inşaat, enerji, ilaç, gıda, selüloz, kompozit malzemeler ve kozmetik ürünler yer almaktadır (Yazıcı, 2024).

Türkiye’de lif bitkileri üretimi, hem tekstil sektörünün hammaddesini sağlaması hem de artan çevreci ve sürdürülebilir ürün talepleri nedeniyle stratejik öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de pamuk, keten ve kenevir bitkilerinin 2013–2024 yılları arasındaki ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerlerindeki değişimleri ortaya koymak ve 2025–2030 yılları için projeksiyonlarını belirlemektir.

Türkiye’de Lif Bitkileri Ekim Alanı

Türkiye’nin 2013-2024 yılları arasında lif bitkileri ekim alanı Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde 2013- 2024 yılları arasında pamuk, keten ve kenevir ekim alanlarında önemli dalgalanmalar bulunmaktadır. Pamuk incelenen tüm yıllarda en fazla ekimi yapılan lif bitkisi olarak belirlenmiş ve yıllar içerisindeki ortalama ekim alanı 4.647.031 da olarak belirlenmiştir. En yüksek ekim alanı 5.731.613 da ile 2022 yılında olmuş, en düşük ekim alanı 2020 yılında 3.592.200 da alanda ekimi gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında meydana gelen düşüş COVID-19 salgını sürecinde küresel tekstil ve hazır giyim sektöründe ciddi bir daralma yaşandı. 2020 yılında pamuk üretimindeki keskin düşüşün ardında birden fazla etken olmakla birlikte, COVID-19 pandemisinin getirdiği talep daralması, işgücü kısıtları ve ekonomik belirsizlik temel nedenlerden biri olarak değerlendirilebilir. Normalleşme süreci ile

birlikte sonraki yıllarda pamuk üretimi normal seviyelerine ulaşmış ve ülke ekonomisi için önemli bir bitki olduğunu ve ülke ekonomisindeki yerini koruduğunu göstermiştir. Keten bitkisinin ekim alanı göz önüne alındığında 2013-2017 yılları arasında oldukça düşük alanlarda ekimi gerçekleştirilmiştir. 2018 yılından itibaren ekim alanında bir artış meydana gelmeye başlamıştır. En düşük ekim alanı 15 da alanda 2013 yılında olmuş en yüksek ekim alanı 823 da alanda 2022 yılında meydana gelmiştir. Ancak bu artış istikrarlı olmamış ve 2023 yılından itibaren yeniden azalmaya başlamıştır. Yıllara göre ortalama keten ekim alanı 121 da ile sınırlı kalmıştır. Bu durum Türkiye’de keten tarımının henüz istikrarlı bir üretim desenine sahip olmadığına bir göstergesidir. Kenevir ekim alanında ise farklı bir durum meydana gelmiş, 2013-2015 yılları arasında 10-12 da alanda üretimi gerçekleştirilirken, kenevir yetiştiriciliği hakkında yapılan yasal düzenlemeler ile 2016 yılından sonra ekim alanı artmaya başlamıştır. 2019 yılında 160 da, 2021’de 324 da ve 2022’de 365 da seviyelerine ulaşılmıştır. Özellikle son iki yılda dikkat çekici bir artış gözlenmiştir. 2023 yılında 2.117 da, 2024 yılında ise 8.845 da ile kayda değer bir sıçrama yaşanmıştır. Ortalama değer 95 ton olmakla birlikte, bu artış eğilimi kenevirin yeniden tarımsal üretim desenine girdiğini göstermektedir. Son yıllarda yapılan yasal düzenlemeler, endüstriyel ve tıbbi kenevire olan ilginin artması bu yükselişi destekleyen en önemli faktörler olarak değerlendirilmektedir (Yılmaz ve Yazıcı, 2022).

Yıllık ortalama lif bitkisi ekim alanı göz önüne alındığında en düşük lif ekim alanı 2020 yılında olurken, en yüksek ekim alanı 1.910.934 da alan ile 2022 yılı ön plana çıkmıştır. Genel ortalama değerler dikkate alındığında, pamuk üretiminin istikrarlı bir şekilde sektörü domine ettiği, keten üretiminin düzensiz ve düşük seviyelerde kaldığı, kenevirin ise son yıllarda hızla artış göstererek gelecek dönemler için önemli bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, Türkiye’de lif bitkileri üretiminde pamuk dışındaki alternatif ürünlerin geliştirilmesi ve desteklenmesi gerektiğini, özellikle kenevirin yeniden önem kazandığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 1. Türkiye'nin 2013-2024 yılları arası lif bitkileri ekim alanı (da)

Yıllar	Pamuk	Keten	Kenevir	Ortalama
2013	4.508.900	15	12	1.502.976
2014	4.681.429	25	10	1.560.488
2015	4.340.134	50	10	1.446.731
2016	4.160.098	50	45	1.386.731
2017	5.018.534	25	46	1.672.868
2018	5.186.342	113	55	1.728.837
2019	4.778.681	76	160	1.592.972
2020	3.592.200	90	101	1.197.464
2021	4.322.790	139	324	1.441.084
2022	5.731.613	823	365	1.910.934
2023	4.774.384	15	2.117	1.591.467
2024	4.669.272	25	8.845	1.556.435
Ortalama	4.647.031	121	95	

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de yetiştirilen lif bitkileri ekim alanlarının 2013- 2024 yılları arasındaki değişim miktarı ve projeksiyon (%) katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde pamuk, keten ve kenevir için belirlenen ortalama projeksiyon katsayılarının tamamı pozitif değerler almıştır. Pamuk için belirlenen ortalama projeksiyon katsayısı %0,02 olurken, keten için bu değer %0,88 ve kenevir için %1,44 olarak belirlenmiştir. Elde edilen projeksiyon katsayılarının pozitif olması gelecek yıllarda ekim alanının artacağını ifade etmektedir. Nitekim bazı araştırmacılar projeksiyon katsayılarından negatif değerler azalmayı ifade ederken, pozitif değerler artışı ifade ettiğini bildirmişlerdir (Yaman ve ark., 2018; Yaman ve Yıldız, 2023; İncetekin ve Özaktan, 2024a; İncetekin ve Özaktan, 2024b).

Çizelge 2. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkileri ekim alanlarının 2013-2024 yılları arasındaki değişim miktarı ve projeksiyon katsayıları (%)

Yıllar	Pamuk	Keten	Kenevir
2013-2014	0,04	0,67	-0,17
2014-2015	-0,07	1,00	0,00
2015-2016	-0,04	0,00	3,50
2016-2017	0,21	-0,50	0,02
2017-2018	0,03	3,52	0,20
2018-2019	-0,08	-0,33	1,91
2019-2020	-0,25	0,18	-0,37
2020-2021	0,20	0,54	2,21
2021-2022	0,33	4,92	0,13
2022-2023	-0,17	-0,98	4,80
2023-2024	-0,02	0,67	3,18
Projeksiyon Katsayısı	0,02	0,88	1,40

Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2025-2030 yılları arasında belirlenen projeksiyon katsayısına göre hesaplanan ekim alanları Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3 irdelendiğinde beklenen en yüksek artış, en yüksek projeksiyon katsayısının elde edildiği kenevir ekim alanında olmuştur. En düşük artış miktarı en düşük projeksiyon katsayısının elde edildiği pamuk ekim alanında meydana gelmiştir. Türkiye’de keten ekim alanı 2030 yılına kadar artış göstermesi beklense bile bu artış sınırlı olmuştur. Hesaplanan projeksiyon katsayısı ile birlikte 2030 yılında beklenen ekim alanları sırasıyla pamuk için 5.363.526 da, keten için 2.070 da ve kenevir için 4.056.734 da olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2025-2030 yılları arası ekim alanları projeksiyonu (da)

Yıllar	Pamuk	Keten	Kenevir
2025	4.762.657	47	21.228
2026	4.857.911	88	50.947
2027	4.955.069	166	122.273
2027	5.054.170	312	293.456
2028	5.155.254	587	704.294
2029	5.258.359	1.104	1.690.306
2030	5.363.526	2.075	4.056.734

Türkiye’de Lif Bitkileri Üretim Miktarı

Türkiye’nin 2013–2024 yılları arasındaki lif bitkileri üretim miktarları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, pamuk (kütlü ve lif) üretiminin toplam üretimde en yüksek paya sahip olduğu görülmüştür. İncelenen dönemde pamuk (kütlü) üretimi yıllara göre 1.773.646 ton ile 2.750.000 ton arasında değişmiş, ortalama kütlü pamuk üretimi 2.257.221 ton olarak gerçekleşmiştir. Pamuk lifi üretimi ise 656.251 ton (2020) ile 1.017.500 ton (2022) arasında değişiklik göstermiş ve ortalama 833.605 ton ile toplam lif bitkileri üretimine en fazla katkı sağlayan bitki olmuştur. Özellikle 2018 (976.600 ton) ve 2022 (1.017.500 ton) yıllarında lif pamuk üretimi en yüksek seviyelere ulaşmıştır. En düşük üretim miktarı 2020 yılında olmuş, bu durumun en önemli nedenleri arasında COVID-19 pandemi sürecinde tarımsal üretim zincirindeki aksaklıklar, iş gücü kısıtlılıkları ve ihracat pazarlarındaki daralma yer almaktadır. Keten üretimi bu dönemde yok denecek kadar az seviyelerde kalmıştır. 2013–2015 yıllarında üretim yapılmazken, sonraki yıllarda 1–6 ton aralığında düşük üretimler gerçekleşmiştir. Sadece 2024 yılında 62 tonluk bir üretim dikkat çekmiştir. Ortalama keten üretimi 8 ton olarak hesaplanmıştır. Keten üretimine Türkiye’de önem verilmediği göze çarpmaktadır. Bunun sebepleri olarak da sentetik liflerle ve pamukla maaliyet yönünden rekabet zorluğu, keten liflerinin işlenmesi için altyapının eksikliği, tarımı esnasında ekim, bakım, hasat- harman sırasında mekanizasyonun eksikliği, üreticinin getirisi yüksek alternatif bitkilere yönelmesi ve yeterli sayıda tescilli keten çeşitlerinin olmaması keten üretiminde üretim miktarının istikrarsızlığının ve azlığının en temel sebepleridir (Şahin ve Yıldız, 2022; Hazneci ve Arslanoğlu, 2021). Kenevir üretimi ise yıllar içerisinde belirgin bir artış göstermiştir. 2013–2017 döneminde 1–7 ton arasında değişen düşük miktarlar kaydedilmiş, 2019 yılında 19 tona yükselmiştir. 2020 yılındaki 9 tonluk üretimin ardından, 2021’de 21 ton, 2022’de 31 ton olarak artış trendini sürdürmüştür. Özellikle 2023 yılında 359 ton ve 2024 yılında 1.216 tonluk üretim miktarlarıyla kenevirde hızlı bir yükseliş gözlenmiştir. İncelenen dönemin ortalaması 140 ton olarak belirlenmiştir. Kenevir üretiminde son yıllarda meydana gelen artış, 29 Eylül 2016 tarihinde yayımlanan “gazetede yayımlanan kenevir yetiştiriciliği ve kontrolü hakkında yönetmelik” ile endüstriyel kenevirin kontrollü ve izinli olarak 20 ilde yetiştirilmesine izin verilmiştir. Bu yönetmeliğin ardından ekim alanlarında ve üretim miktarında artış meydana gelmiştir (Yılmaz ve Yazıcı,

2022). Toplam ortalama değerlere bakıldığında, yıllar itibarıyla lif bitkileri üretiminde 486.000 ton (2020) ile 753.000 ton (2022) arasında değişim olduğu, genel ortalamanın ise 615.242 ton düzeyinde gerçekleştiği saptanmıştır. Bu sonuçlar, Türkiye’de lif bitkileri üretiminde pamuğun belirleyici ürün olduğunu, ketenin ihmal edilecek düzeyde kaldığını, kenevirin ise son yıllarda yükseliş eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. Türkiye’nin 2013-2024 yılları arası lif bitkileri üretim miktarı (Ton)

Yıllar	Pamuk (Kütlü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir	Ortalama
2013	2.250.000	877.500	0	1	625.903
2014	2.350.000	846.000	0	1	639.603
2015	2.050.000	738.000	1	1	558.003
2016	2.100.000	756.000	1	7	571.605
2017	2.450.000	882.000	2	7	666.805
2018	2.570.000	976.600	3	7	709.726
2019	2.200.000	814.000	2	19	603.208
2020	1.773.646	656.251	4	9	486.386
2021	2.250.000	832.500	6	21	616.910
2022	2.750.000	1.017.500	6	31	753.912
2023	2.100.000	777.000	11	359	575.879
2024	2.243.000	829.910	62	1.216	615.242
Ortalama	2.257.221	833.605	8	140	

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de yetiştirilen lif bitkileri miktarlarının 2013-2024 yılları arasındaki değişim miktarı ve projeksiyon (%) katsayıları Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5 göz önüne alındığında üretilen tüm lif bitkilerinde projeksiyon katsayıları pozitif belirlenmiş, bu da gelecek yıllarda üretim miktarlarında artış eğiliminde olduğunu ifade etmektedir. Yetiştirilen lif bitkilerinden pamuk (kütlü ve lif) bitkisinde belirlenen projeksiyon katsayısı %0,01 olmuş, keten için %0,83 ve kenevir için %2 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkileri miktarlarının 2013-2024 yılları arasındaki değişim miktarı ve projeksiyon katsayıları (%)

Yıllar	Pamuk (Kütlü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir
2013-2014	0,04	-0,04	0,00	0,00
2014-2015	-0,13	-0,13	1,00	0,00
2015-2016	0,02	0,02	0,00	6,00
2016-2017	0,17	0,17	1,00	0,00
2017-2018	0,05	0,11	0,50	0,00
2018-2019	-0,14	-0,17	-0,33	1,71
2019-2020	-0,19	-0,19	1,00	-0,53
2020-2021	0,27	0,27	0,50	1,33
2021-2022	0,22	0,22	0,00	0,48
2022-2023	-0,24	-0,24	0,83	10,58
2023-2024	0,07	0,07	4,64	2,39
Projeksiyon Katsayısı	0,01	0,01	0,83	2,00

Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin üretim miktarlarına ilişkin gelecek projeksiyonları Çizelge 6’da sunulmuştur. Çizelge 6 göz önüne alındığında üretilen tüm lif bitkilerinin üretim miktarlarında bir artış göze çarpmakla beraber şu anki mevcut durumla benzer bir Çizelge ortaya çıkmaktadır. Pamuk üretiminde sürekli ve istikrarlı bir şekilde artış öngörülmektedir. 2025 yılında 2.265.430 ton olan pamuk (kütlü) üretimi, 2030 yılında 2.380.990 tona yükselmesi beklenmekte, benzer şekilde, pamuk (lif) üretimi 2025 yılında 838.209 ton iken, 2030 yılında 880.966 tona ulaşması beklenmektedir. Bu artış, pamukta üretim istikrarının korunduğunu ve verimliliğin düzenli biçimde arttığını ortaya koymaktadır. Önümüzdeki yıllarda pamuk Türkiye için lif bitkileri üretiminde lider konumunu sürdürecektir. Nitekim pamuk hem Türkiye hem de dünya genelinde en yaygın olarak üretilen lif bitkisidir (Yazıcı, 2024). Keten üretimi için yapılan projeksiyonlar, yıllar içerisinde belirgin bir artış eğilimini ortaya koymaktadır. 2025 yılında yalnızca 113 ton düzeyinde olan üretimin, 2030 yılında 2.329 tona ulaşabileceği hesaplanmıştır. Bu öngörü, ketene yönelik üretim alanlarının ve endüstriyel kullanım talebinin ilerleyen yıllarda artış gösterebileceğini düşündürmektedir. Kenevir üretimi ise projeksiyonlara göre en dikkat çekici büyüme potansiyeline sahiptir. 2025 yılında 3.648 ton olarak tahmin edilen üretim miktarının, 2030 yılında 886.464

tona ulaşabileceği hesaplanmaktadır. Bu durum mevcut yıllardaki hızlı artışın bir sonucu olarak ortaya çıkan yüksek projeksiyon katsayısından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2025-2030 yılları arası üretim miktarı projeksiyonu (Ton)

Yıllar	Pamuk (Kütlü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir
2025	2.265.430	838.209	113	3.648
2026	2.288.084	846.591	208	10.944
2027	2.310.965	855.057	380	32.832
2028	2.334.075	863.608	695	98.496
2029	2.357.416	872.244	1.272	295.488
2030	2.380.990	880.966	2.329	886.464

Türkiye’de Lif Bitkileri Verim Miktarı

Türkiye’nin 2013-2024 yılları arası lif bitkileri verimi Çizelge 7’de sunulmuştur. Çizelge 7 irdelendiğinde pamuk kütlü verimi yıllara göre değişmekle birlikte 440 kg/da ile 520 kg/da arasında değişmiştir. En yüksek kütlü verimi 2021 yılında elde edilirken, en düşük verim 2023 yılında elde edilmiştir. Türkiye’nin ortalama kütlü verimi 486,5 kg/da olarak belirlenmiştir. Pamuk lif verimleri yıllara göre değişmekle birlikte 163 kg/da ile 195 kg/da arasında değişim göstermiştir en yüksek lif verimi 2013 yılından elde edilirken, en düşük lif verimi 2023 yılından elde edilmiştir. Pamuk lif verimi ortalaması 179,8 kg/da olarak belirlenmiştir. Türkiye’nin yıllara göre keten verim değerleri 40 kg/da ile 80 kg/da arasında değişim göstermiş, en yüksek verim 2019 yılında elde edilmiş ve en düşük verim 2015, 2017 ve 2017 yıllarından elde edilmiştir, 2013 ve 2014 yılları verim değerlerine erişilememiştir. Yıllar içinde keten veriminin düşük seviyelerde seyrettiği ve pamuk ile kenevirin oldukça gerisinde kaldığı dikkat çekmektedir. Türkiye’nin ortalama keten verimi 61 kg/da olarak belirlenmiştir. Türkiye’de üretimi yapılan kenevir bitkisinin yıllara göre verim değerleri 65 kg/da ile 170 kg/da arasında değerler almış, en yüksek verim 2023 yılında elde edilirken, en düşük verim ise 2021 yılından elde edilmiştir. Bu durum, kenevirde yıllara bağlı olarak çevresel koşullar ve yetiştirme tekniklerinin verim üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu ortaya

koymaktadır. Özellikle 2016 yılında 156 kg/da 2017’de 152 kg/da gibi yüksek değerler, kenevirin uygun koşullarda pamuk lif verimine yakın potansiyel gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, pamuk incelenen dönemde en yüksek verimi gösteren lif bitkisi olurken, keten oldukça düşük düzeyde kalmıştır. Kenevir ise dalgalanmalı bir seyir izlemekle birlikte, ortalama verimiyle ketene göre daha yüksek, pamuğa göre ise daha düşük bir seviyede yer almıştır. Pamuk Türkiye’de lif bitkileri içerisinde hâlen en yüksek verime sahip türdür. Ancak kenevir, son yıllarda artan üretim potansiyeli ve farklı endüstriyel kullanım alanlarıyla gelecekte lif üretiminde stratejik bir alternatif olarak öne çıkabilir. Keten ise düşük verim potansiyeli ve sınırlı ekonomik cazibesi nedeniyle daha geri planda kalmaktadır. Bu bağlamda, lif bitkilerinde sürdürülebilir üretim için çeşit geliştirme, modern yetiştirme teknikleri ve destekleme politikalarının etkin şekilde uygulanması büyük önem taşımaktadır. Verimde yıllara göre meydana gelen dalgalanmalar iklim şartlarından meydana geldiği düşünülmektedir. Nitekim Ray ve ark. (2015) tarımda meydana gelen küresel verim değişikliklerinin yaklaşık üçte biri iklim değişikliklerinden meydana geldiğini ifade etmektedirler.

Çizelge 7. Türkiye’nin 2013-2024 yılları arası lif bitkileri verimi (kg/da)

Yıllar	Pamuk (Kütlü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir
2013	499	195	-	83
2014	503	181	-	100
2015	472	170	40	100
2016	505	182	40	156
2017	489	176	40	152
2018	496	188	60	127
2019	460	170	80	126
2020	494	183	48	94
2021	520	193	79	65
2022	480	178	69	117
2023	440	163	79	170
2024	480	178	75	140
Ortalama	486,5	179,8	61,0	119,2

Kaynak: TÜİK

Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin verim değerlerine ilişkin projeksiyon katsayıları Çizelge 8’de sunulmuştur. Çizelge 8 incelendiğinde pamuk (kütü ve lif) verimlerinin projeksiyon katsayısı %0,00 olarak belirlenmiştir. Keten ve kenevirde ise sırasıyla %0,19 ve %0,08 olarak belirlenmiştir. Projeksiyon katsayısının pozitif olmasından dolayı keten ve kenevir için gelecek yıllarda verimin artacağı düşünülmektedir. Sümbül ve Yıldız, (2022) projeksiyon katsayısının pozitif olmasının gelecek beklentisinin artış yönünde olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 8. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2013-2024 yılları arası verim değerlerine ilişkin değişim miktarı ve projeksiyon (%) katsayıları

Yıllar	Pamuk (Kütü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir
2013-2014	0,01	-0,07	-	0,20
2014-2015	-0,06	-0,06	-	0,00
2015-2016	0,07	0,07	0,00	0,56
2016-2017	-0,03	-0,03	0,00	-0,03
2017-2018	0,01	0,07	0,50	-0,16
2018-2019	-0,06	-0,03	1,00	-0,17
2019-2020	0,07	0,08	-0,40	-0,25
2020-2021	0,05	0,05	0,65	-0,31
2021-2022	-0,08	-0,08	-0,13	0,80
2022-2023	-0,08	-0,08	0,14	0,45
2023-2024	0,09	0,09	-0,05	-0,18
Projeksiyon Katsayısı	0,00	0,00	0,19	0,08

Hesaplanan projeksiyon katsayısı doğrultusunda Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2025-2030 yılları arası beklenen verim değerleri Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelge 9 incelendiğinde pamuk (kütü ve lif) veri değerleri değişmeden kalmıştır bunun sebebi hesaplanan projeksiyon katsayısının 0,00 olmasıdır. Beklenen en yüksek artış ketende olmuştur. Ancak ketende meydana gelen artışın önceki yıllarda meydana gelen dalgalı verim değerinden dolayı hesaplanan projeksiyon katsayısının yükselmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Kenevir verimi 2025 yılında 151 kg beklenirken 2030 yılında 190 kg/da olması beklenmektedir. Özellikle kenevir özelinde yapılan yasal reformlar sayesinde kenevir kullanım alanının artmasına paralel olarak yeni

çeşit geliştirme çabaları hız kazanacak ve verimin daha fazla artacağı düşünülmektedir. Ancak hesaplanan bu projeksiyon sonuçları geçmiş yıllardaki verilere göre hesaplanmasından dolayı küresel iklim değişkenlikleri bu verilerin güvenilirliğini düşürmektedir.

Çizelge 9. Türkiye’de yetiştirilen lif bitkilerinin 2025-2030 yılları arası verim projeksiyonu (kg/da)

Yıllar	Pamuk (kütü)	Pamuk (Lif)	Keten	Kenevir
2025	480	178	89	151
2026	480	178	106	163
2027	480	178	126	176
2028	480	178	150	163
2029	480	178	179	176
2030	480	178	213	190

SONUÇ

Türkiye’de lif bitkileri üretiminin genel görünümü incelendiğinde pamuk, ekim alanı, üretim miktarı ve verimde açık ara önde yer almakta ve tekstil ile sanayi sektöründe stratejik önemini sürdürmektedir. 2013–2024 döneminde yaşanan dalgalanmalara rağmen pamuk, üretim istikrarını büyük ölçüde korumuş, yalnızca COVID-19 pandemisi sürecinde küresel talep daralması ve iş gücü kısıtları nedeniyle belirgin bir düşüş yaşamış, sonraki yıllarda ise yeniden toparlanarak lider konumunu pekiştirmiştir. Buna karşın keten, düşük ekim alanı, sınırlı üretim miktarı, çeşit yetersizliği, mekanizasyon eksiklikleri ve rekabet zorlukları nedeniyle Türkiye’de tarımsal desen içinde zayıf bir konumda kalmıştır. Son yıllarda yasal düzenlemelerle ekim alanı hızla artan kenevir ise yeniden üretim desenine girmiş, endüstriyel ve tıbbi kullanım alanlarındaki çeşitlilik sayesinde gelecekte stratejik bir ürün olma potansiyeli kazanmıştır. Projeksiyon katsayılarının pamuk, keten ve kenevir için pozitif değerler alması, önümüzdeki yıllarda ekim alanı, üretim miktarı ve verimde artış eğiliminin devam edeceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte iklim değişiklikleri, küresel pazar dalgalanmaları, girdi maliyetleri ve üretim zincirindeki kırılganlıklar bu artışların sürdürülebilirliği açısından belirleyici olacaktır. Dolayısıyla lif bitkileri üretiminde çeşit geliştirme çalışmalarının desteklenmesi, modern yetiştirme tekniklerinin yaygınlaştırılması,

mekanizasyonun artırılması ve üreticilere yönelik teşvik politikalarının etkinleştirilmesi gerekmektedir. Genel olarak bakıldığında pamuk mevcut liderliğini sürdürmeye devam edecek, kenevir hızla yükselen üretim potansiyeli ile öne çıkacak, keten ise sınırlı ölçüde katkı sağlayarak daha geri planda kalacaktır.

KAYNAKLAR

- Hazneci, E., & Arslanoğlu, F. (2021). Orta Karadeniz Bölgesinde Kırsal Alanlar İçin Keten Bir Şans Mı? Kârlılık Analizi ve Yapılabilirliği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(3), 586-598. <https://doi.org/10.33462/jotaf.938556>
- İncetekin, M., ve Özaktan, H., 2024a. Türkiye’de yetiştirilen organik statüdeki serin iklim tahıllarının üretim projeksiyonu. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 7(2): 47-53. <https://doi.org/10.55257/ethabd.1537884>
- İncetekin, M., ve Özaktan, H., 2024b. Production projection of edible grain legumes with organic status grown in Türkiye. *Journal of Erciyes Agriculture and Animal Science* 7(2): 94-100
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6(1), 5989. <https://doi.org/10.1038/ncomms6989>
- Şahin, G., & Yıldız, B. (2022). Türkiye’de Keten Üretimi ve Karakteristik Keten Dokumaların Durumu. *Erciyes Akademi*, 36(1), 169-185. <https://doi.org/10.48070/erciyesakademi.1055957>
- Sümbül, A., ve Yıldız, E., 2022. Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan sofralık, kurutmalık ve şaraplık üzümün üretim projeksiyonu. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 5(1): 17-22. <https://doi.org/10.55257/ethabd.1095080>
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2025. Bitkisel üretim istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr>
- Yaman, M., Uzun, A., Çetin, N., ve Say, A., 2018. Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan bazı üzümü meyvelerin üretim projeksiyonu. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 1(1): 19-24
- Yaman, M., ve Yıldız, E., 2023. Türkiye’de ekonomik öneme sahip yumuşak çekirdekli meyvelerin üretim projeksiyonu. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 6(1): 31-34
- Yazıcı, L. (2024). Lif bitkileri: Dünya ve ülkemizde mevcut durumun değerlendirilmesi. In K. Yazıcı & H. Doğan (Eds.), *Tarım bilimleri alanında multidisipliner güncel çalışmalar IV* (Bölüm 5, ss. 105-128). Iksad Publishing House. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13285932>
- Yılmaz, G., ve Yazıcı, L., 2022. Dünya’da yükselen değer; endüstriyel kenevir

- (Cannabis sativa L.). Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 1(1): 54-61
- Mwaikambo, L. Y. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. African Journal of Science and Technology (AJST), Science and Engineering Series, 7(2), 120–133.
- Sayar, A., & Üzümcü, M. B. (2024). Düzeltme Makalesi: Doğal Lifler ile Boyarmaddelerin Buluştuğu Organik İfadeler: Bir Lif Sanatı Örneği. ART7 Sanat ve İletişim Dergisi, 1(2), 50-52.
- Thyavihalli Girijappa, Y. G., Mavinkere Rangappa, S., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S. (2019). Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. *Frontiers in Materials*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00226>
- Cevheri, C. İ., & Şahin, M. (2020). Dünya’da ve Türkiye’de Pamuk Üretiminin Tekstil Sektörü Açısından Önemi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5(2), 71-81. <https://doi.org/10.46578/humder.736777>
- Şahin, G. (2020). Çok Boyutlu Bir Tarım Ürünü: Keten (Linum usitatissimum L.). Uluslararası Sosyal Bilimler Akademik Araştırmalar Dergisi, 4(1), 119-147.

BÖLÜM 6

TÜRKİYE’DE BAĞCILIĞIN YERİ VE ÖNEMİ: SULTANİ ÇEKİRDEKSİZ ÜZÜM YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MANİSA GÖZLEMİ

Dr. Meral DOĞAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224328>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.
meraldogan9393@gmail.com, orcid id: <https://orcid.org/0000-0001-6227-2579>

1. GİRİŞ

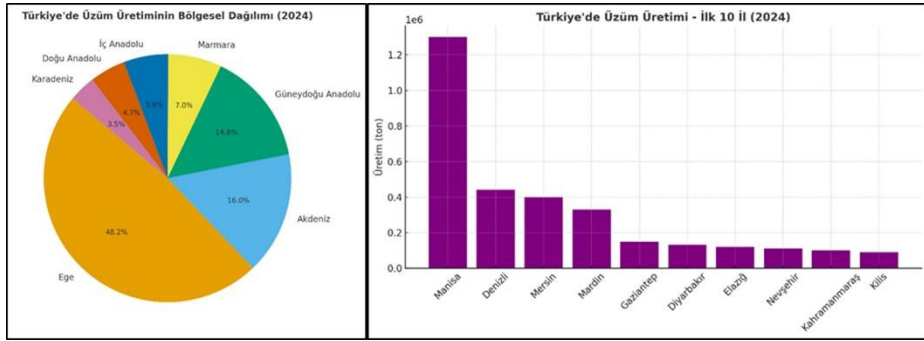
Türkiye'nin bitkisel üretiminde bağcılık sektörü, tarihsel kökleri, çeşit zenginliği ve ekonomik katkılarıyla önemli bir konuma sahiptir. Anadolu toprakları, bağcılığın doğduğu ve geliştiği merkezlerden biri olarak kabul edilmektedir. Uygun ekolojik koşullar ve zengin çeşit potansiyeli sayesinde Türkiye'de bağcılık, yalnızca tarımsal bir üretim kolu değil, aynı zamanda kültürel bir miras olarak da değerlendirilmektedir (Semerci vd., 2015; (Kurt ve Koçtürk, 2025). Üzümün, iklim ve toprak yönünden fazla seçici olmaması, geniş adaptasyon kabiliyeti ve çok yönlü kullanım alanları sayesinde hem dünyada hem de Türkiye'de en yaygın yetiştirilen kültür bitkilerinden biri olmasını sağlamaktadır. Ayrıca diğer meyve türleriyle kıyaslandığında asma en fazla çeşide sahip türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde dünyada 10.000'in üzerinde üzüm çeşidi olduğu tahmin edilmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 7,5 milyon hektarlık alanda üzüm yetiştiriciliği yapılmakta ve yıllık üretim miktarı iklim koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte 65 milyon ton civarındadır. Üzüm üretimi, tüketici taleplerine göre farklı şekillerde değerlendirilmektedir: Üretilen üzümlerin yaklaşık %64,3'ü şaraplık, %20,9'u sofralık, %7,6'sı kurutmalık olarak değerlendirilmektedir (Nazlı, 2007; TÜİK 2024; FAO, 2024).

Türkiye'de bağcılık sektörü teknik yönleriyle ilgili olarak çok sayıda bilimsel araştırmaya konu olmuştur; buna karşın, bağcılığın ekonomik boyutuna odaklanan çalışmalar ise nispeten sınırlı düzeyde kalmıştır. Oysa üzümün dış ticaretteki önemi, kırsal kalkınmaya katkısı ve üretici gelirlerindeki rolü dikkate alındığında, bağcılığın yalnızca tarımsal değil, ekonomik ve sosyo-kültürel bir sektör olarak değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır (Bashimov, 2017). Bu çalışmanın amacı, bağcılığın Türkiye tarımındaki tarihsel, ekonomik ve kültürel önemini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymak ve özelde Manisa'daki Sultani Çekirdeksiz üzüm yetiştiriciliğini saha gözlemleri üzerinden değerlendirmektir. Bu doğrultuda önce Türkiye bağcılığının genel özellikleri, üretim alanları ve çeşitleri incelenecek; ardından Manisa ilinde bir çiftçinin bağına yapılan ziyaret ve bu bağda elde edilen gözlemler aktarılacaktır. Böylece hem makro ölçekte Türkiye bağcılığının durumu hem de mikro ölçekte üretici deneyimleri bir arada ele alınarak bağcılığın günümüzdeki konumu ve geleceğine dair ipuçları sunulacaktır.

2. TÜRKİYE’DE BAĞ ALANLARI VE ÜZÜM ÜRETİMİ

Kültür asmasının gen merkezi ve yayılış sahasının merkezinde bulunan Türkiye, sahip olduğu geniş asma genetik kaynakları, köklü bağcılık geleneği ve uygun ekolojik koşulları sayesinde dünya bağcılığında önde gelen ülkelerden biridir. Türkiye dünya sıralamasında bağ alanı bakımından 5. üretim miktarı açısından ise 6. sıradaki konumunu korumuştur. Ülkemizde tarımsal üretim alanlarının %1,6’sını bağlar oluştururken, bağ-bahçe tarımına ayrılan alanın %8,6’sı da bağcılığa tahsis edilmiştir. Toplam üzüm üretiminin yaklaşık %52,9’u sofralık, %38,4’ü kurutmalık, %8,7’si ise şaraplık ya da şıralık olarak değerlendirilmektedir. Türkiye, dünya kuru üzüm üretimi ve ihracatında ABD ile birlikte en büyük iki üreticiden biri olup, küresel üretimin yaklaşık yarısını karşılamaktadır. Sofralık üzüm üretiminde ise Çin ve Hindistan’ın ardından üçüncü sırada yer almaktadır. Küresel ölçekte bağcılık yaklaşık 50,5 milyar dolarlık dış ticaret hacmine sahiptir; Türkiye bu pazardan 681,8 milyon dolarlık ihracat geliriyle yaklaşık %1,4’lük pay alabilmektedir. Özellikle çekirdeksiz kuru üzüm ihracatında ülkemizin %33,2’lik payı dikkat çekicidir. Ortalama değerlere göre üretilen sofralık üzümlerin yaklaşık %10’u ihraç edilmekte, bu ihracatta çekirdeksiz kuru üzümün en büyük alıcısı İngiltere, sofralık üzümün ise Rusya olmaktadır (Çelik, 2012; Söylemezoğlu vd., 2025). Türkiye bağcılığının temelini oluşturan fidan üretiminde ise 2019–2023 döneminde gerileme yaşanmıştır. Bu süreçte toplam fidan üretimi %40, aşılı fidan üretimi ise %37,5 oranında azalarak 1.570.600 adede düşmüştür. Üretimin %97,8’i açık köklü, %2,2’si ise tüplü fidanlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde organik bağcılık ve iyi tarım uygulamaları gelişmeye devam etmektedir. Organik üzüm üretiminin büyük bir kısmı özellikle çekirdeksiz kuru üzüm şeklinde ihraç edilmekte ve toplam organik ürün ihracat gelirlerinin yaklaşık %12,9’unu organik üzüm oluşturmaktadır (Geyikçi, 2013).

Üzüm, yetiştirme şartlarının nispeten kolay olması ve neredeyse ülkenin her bölgesinde yetiştirilebilmesi sayesinde, çok sayıda ailenin geçim kaynağını oluşturmaktadır. Türkiye’de bağcılık işletmeleri genellikle aile işletmeleri niteliğinde olup, ölçek ekonomisinden uzak bir yapıya sahiptir. Bu durum, üretim ve pazarlama süreçlerinde verimlilik sorunlarına yol açabilmektedir.



Şekil 1: Türkiye’ de üzüm üretiminin bölge ve illere göre dağılım grafikleri (TÜİK, 2024)

Türkiye’nin sahip olduğu zengin genetik kaynaklar kullanılarak yürütülen ıslah programları da önemli başarılar ortaya koymuştur. Bugüne kadar yürütülen klon seleksiyonu çalışmalarıyla 42 çeşit ve 8 anaçta toplam 156 klon belirlenmiş; melezleme ıslahı yoluyla ise çoğunluğu sofralık özellikte olan 58 yeni çeşit geliştirilmiştir. Türkiye bağcılığının sürdürülebilir biçimde ilerlemesi için üretim süreçlerinin kayıt altına alınması, sertifikalı fidan üretim altyapısının güçlendirilmesi ve hem iç hem de dış pazarlarda rekabet avantajı sağlayacak planlamaların yapılması kritik önem taşımaktadır. Özellikle Ege Bölgesi dışında, geleneksel bağcılık ve ürün değerlendirme kültürünün hızla zayıfladığı bölgelerde bağcılık faaliyetlerine ürün bazlı desteklerin verilmesi, sektörün geleceği açısından stratejik bir zorunluluk olarak değerlendirilmektedir (Boz vd., 2012).

Ege Bölgesinde de ülke genelinde olduğu gibi bağ alanlarında bir gerileme yaşanmasına rağmen, bölgenin üretimi toplam üzüm üretimimizin %44,8’ini oluşturmaktadır. 2020–2023 döneminde Ege Bölgesi’nin üretiminde %26,5 gibi dikkat çekici bir azalma söz konusudur. Üretimde ikinci sırada yer alan Akdeniz Bölgesi’nde ise son dört yılda bağ alanlarında %13,3, üretimde ise %12,3 oranında gerileme kaydedilmiştir. Önemli bağcılık merkezlerinden biri olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde de alan bakımından %7,2, üretim yönünden ise %14,9 oranında küçülme görülmüştür. Buna karşın, Ankara, Konya ve Karaman illerini kapsayan Batı Anadolu Bölgesi’nde bağ alanlarında daralma yaşanmasına rağmen üretimde dikkat çekici bir artış gözlenmiş ve bölgenin potansiyel olarak öne çıkmaya başladığı anlaşılmıştır (Söylemezoğlu vd., 2025; Çelik, 2025).

2.1. Sofralık Üzüm

Türkiye’de toplam bağ alanlarının %51,4’ünde sofralık üzüm üretimi yapılmaktadır. (TÜİK, 2024). Bu durum, ülkemizde üretilen üzümün yarısından fazlasının sofralık tüketim için değerlendirildiğini ortaya koymakta ve Türkiye’nin sofralık üzüm üretiminde dünya ölçeğinde önemli bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye’nin tüm bağ bölgelerinde sofralık tüketime yönelik üretim yapılmakta olup, bu alanda ilk üç sırayı Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri almaktadır (Sümbül vd., 2022)

Ege Bölgesi, sofralık üzüm üretiminde olduğu kadar ihracatında da belirleyici bir konuma sahiptir. Özellikle Manisa, Denizli ve İzmir illerinde yoğun olarak yetiştirilen Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidi, esasen kurutmalık olarak değerlendirilmesine rağmen, bitki gelişim düzenleyiciler (BGD) ve uygun kültürel uygulamalar sayesinde sofralık tüketim ve dışsatımda önemli bir pay kazanmıştır. Bunun yanı sıra, Alphonse Lavallée, Superior Seedless, Red Globe, Horoz Karası, Crimson Seedless, Trakya İlkeren ve Michelle Palieri gibi uluslararası pazarda bilinen çeşitlerin de son yıllarda Ege Bölgesi’nde üretim potansiyeli artmıştır. Ayrıca bölgenin yerel ve geleneksel çeşitleri arasında sayılan Mevlâna, Kozak Siyahı, Kozak Beyazı, Pembe Gemre, İpek ve Osmanca da sofralık üretimde öne çıkan önemli çeşitler arasında yer almaktadır (Ergönül vd., 2018).

Akdeniz Bölgesi’nin sahil kuşağı, özellikle erkenci sofralık üzüm çeşitlerinin yetiştiriciliği için son derece elverişli ekolojik koşullara sahiptir. Bu bölgede Yalova İncisi ve Trakya İlkeren gibi çeşitler üretim potansiyelini kısmen de olsa korumaktadır. Mersin ve Tarsus yöresinde uzun yıllar yetiştirilen yerel çeşitlerden Tarsus Beyazı, tanelenme sorunları nedeniyle giderek yerini Yalova İncisi, Cardinal, Trakya İlkeren, Prima ve Ergin Çekirdeksizi gibi erkenci sofralık çeşitlere bırakmaktadır. Bölgenin yüksek yayla kesimleri ise orta ve geç dönemde olgunlaşan sofralık üzüm çeşitlerinin üretimi için uygun bir yetiştirme ortamı sunmaktadır. Bu kesimlerde Tilki Kuyruğu ve Burdur Dimriti öne çıkan çeşitlerdir.

Tokat’ta Narince; Elazığ ve Malatya’da Köhnü ve Ağın Beyazı; Tunceli’de Şilfoni; Diyarbakır ve Mardin’de Mazrani; Kahramanmaraş’ta Kabarcık, Tahannebi ve Mahrabaşı; Gaziantep ve Kilis’te Hönüsü, Horozkarası ve Hatun Parmağı; Şanlıurfa’da Kızlartahtası. Bu çeşitlerin önemli bir kısmı geleneksel yöntemlerle yetiştirilse de, bölgede modern telli terbiye

sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin farklı tarım bölgelerinde yöreye özgü, çoğunlukla yerel pazarlarda değerlendirilen çeşitler de önemini korumaktadır. Karabük'te Çavuş ve Çiftlik, Nevşehir'de Parmak, Doğu Karadeniz'de Isabella ve Erzincan'da Karaerik çeşitleri buna örnek olarak gösterilebilir. Bu çeşitler, üretici aileler için hâlen önemli bir geçim kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir (Söylemezoğlu vd., 2025).

2.2. Kurutmalık Üzüm

Türkiye, Çin ve İran birlikte dünya kuru üzüm üretiminin yaklaşık %52'sini sağlamaktadır (TÜİK 2024;FAO,2024). Bu veriler, Türkiye'nin çekirdeksiz kuru üzüm üretiminde hâlen lider konumda olduğunu göstermektedir. Türkiye'de çekirdeksiz kuru üzüm üretiminde Ege Bölgesi, özellikle Manisa ili ve bu ile bağlı Alaşehir, Salihli, Saruhanlı gibi üretim merkezleri ile ön plana çıkmaktadır. Manisa başta olmak üzere Denizli ve İzmir'de yaygın olarak yetiştirilen Sultani Çekirdeksiz üzümü, dünya çapında "Sultani", "Sultanina" veya "Sultana" adlarıyla tanınmakta ve en değerli çekirdeksiz kurutmalık üzüm çeşidi olarak kabul edilmektedir. Bu çeşit, Türkiye'nin çekirdeksiz kuru üzüm ihracatında da doğal olarak ilk sırada yer almaktadır (Sümbül vd., 2022).

Türkiye'de kuru üzüm denildiğinde genellikle çekirdeksiz kuru üzüm akla gelse de, toplam üretimin yaklaşık %25'ini çekirdekli kuru üzümler oluşturmaktadır. Çekirdekli kuru üzüm üretiminde Doğu Akdeniz (Gaziantep ve Kilis) ile Güneydoğu Anadolu (Adıyaman, Mardin ve Diyarbakır) önde gelen bölgeler arasında yer almaktadır. Bu bölgelerde üretilen başlıca çekirdekli kurutmalık çeşitler arasında Besni, Rumi, Dımışkı, Kerküş (Beyaz), Sergi Karası, Banazı Karası (Banazkara) ve Horoz Karası (Siyah) bulunmaktadır. Çekirdekli kuru üzüm üretiminde bir diğer önemli merkez ise Orta Güney Tarım Bölgesi olup, Nevşehir, Konya ve Karaman illeri ön plana çıkmaktadır. Nevşehir'de Karadimrit, Konya ve Karaman'da ise Ekşi Kara ve Göğ Üzüm çeşitleri yetiştirilmektedir. Malatya yöresine has Banazı Karası ise salkımıyla birlikte kurutulularak değerlendirilen önemli bir çeşittir ve yörede ekonomik önemini sürdürmektedir (Karabat ve Ateş, 2010).

2.3. Şaraplık–Şıralık Üzüm

Türkiye, sahip olduğu stratejik coğrafi konumu ile farklı ekolojik bölgeleri bir araya getirmesi, uygun iklimsel koşulları ve toprak çeşitliliği sayesinde şaraplık üzüm yetiştiriciliği için en elverişli ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir. TÜİK'in 2023 yılı verilerine göre, ülkemizde üretilen toplam yaş üzümün yaklaşık %8,7'sini şaraplık-şıralık üzümler oluşturmaktadır. Bu değer, yaklaşık 296.606 tonluk bir üretime karşılık gelmektedir (Candar vd., 2019; Sümbül vd., 2022).

Türkiye'de şarap yapımında değerlendirilen başlıca yerli üzüm çeşitleri arasında Boğazkere, Kalecik Karası, Bornova Misketi, Emir, Narince, Öküzgözü, Adakarası, Karalahana, Karasakız, Papazkarası, Çalkarası, Hasandede ve Sultani Çekirdeksiz öne çıkmaktadır. Bunların yanı sıra ülkede yaygın olarak yetiştirilen yabancı kökenli çeşitler arasında Merlot, Cabernet Sauvignon, Syrah, Chardonnay, Pinot Noir, Semillon, Cabernet Franc, Alicante Bouschet, Sauvignon Blanc ve Sangiovese bulunmaktadır. Son dönemde ise özellikle Trakya ve Kuzey Ege bağlarında, dünya çapında bilinirliği yüksek olan Montepulciano, Tempranillo, Petit Verdot, Chenin Blanc, Viognier ve Nero d'Avola gibi çeşitlerin de yetiştiriciliğine başlanmıştır (Uysal, 2024; Söylemezoğlu vd., 2025).

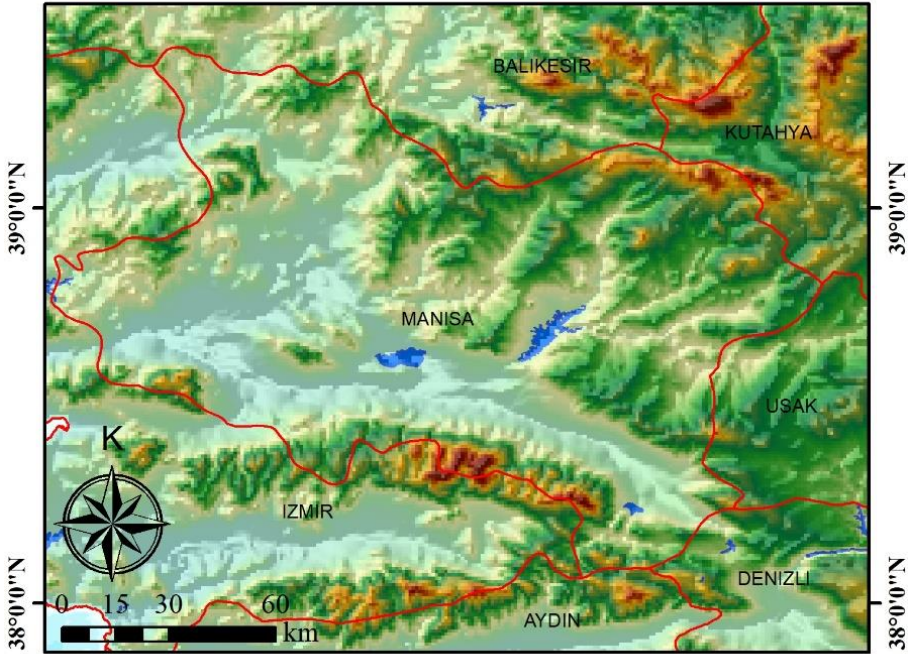
Uluslararası Asma ve Şarap Örgütü (OIV) verilerine göre, Türkiye'nin toplam şarap üretimi 2022 yılı itibarıyla 683.000 hektolitreye olarak kaydedilmiş ve bu miktar dünya şarap üretiminin yaklaşık %0,3'ünü oluşturmuştur (Gülcü, 2010).

3. SULTANİ ÇEKİRDEKSİZ ÜZÜM; MANİSA GÖZLEMİ

Manisa ili, Türkiye'nin üzüm üretiminde tartışmasız bir lider konumundadır. Bu üstünlük, hem geniş bağ alanlarından hem de Sultani Çekirdeksiz üzüm çeşidinin bölgedeki yaygınlığından kaynaklanmaktadır. Manisa, özellikle kurutmalık üzüm üretiminde yalnızca Türkiye için değil, dünya ölçeğinde de önemli bir merkez olarak kabul edilmektedir. Manisa'nın bağcılıkta öne çıkmasının temel nedenlerinden biri, bölgenin ekolojik koşullarıdır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılıman geçen iklim; üzümün fenolojik gelişim evreleri için son derece elverişlidir. Ayrıca Gediz Ovası'nın alüvyal toprakları, üzüm yetiştiriciliği açısından yüksek verim potansiyeli

sunmaktadır. Bu özellikler, bölgede daha az girdi ile yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Manisa Merkez’de yer alan bağlarda 2025 yılı Ağustos–Eylül aylarında, hasat mevsiminde gözlemler gerçekleştirilmiştir. Özellikle Sultani Çekirdeksiz üzümün yoğun olarak yetiştirildiği bölgede, yaklaşık 10 dönüm büyüklüğündeki Halil Tekeş’e ait bağ incelenmiştir. Bu bağda hasat süreci adım adım izlenmiş, çiftçilerin uyguladıkları yöntemler gözlemlenmiş ve üreticilerle yapılan görüşmeler aracılığıyla bağın yetiştiricilik özellikleri hakkında bilgiler toplanmıştır.



Şekil 2: Gözlem yapılan Manisa iline ait bir lokasyon haritası (Orijinal)

İncelenen bağ 10–12 yaşında olup omcalar aşılı fidan olarak dikilmiştir ve ikinci yıldan itibaren verime yatmıştır. Halil Tekeş’in ifadelerine göre bağda yıllık bakım işlemleri düzenli olarak yapılmaktadır. Budama işlemleri aralık ayında gerçekleştirilmiş ve verim ile kaliteyi koruyabilmek amacıyla yedek gözler bırakılmıştır. Ayrıca, bağın toprak işleme, gübreleme ve sulama programlarının bölgenin iklim koşullarına uygun şekilde planlandığı belirtilmiştir.

Sultani Çekirdeksiz üzümün Manisa yöresindeki önemi, yalnızca ekonomik getirisiyle sınırlı olmayıp, aynı zamanda bölgenin tarımsal kimliğini de yansıtmaktadır. Hasat döneminde işgücü yoğunluğu artmakta ve bağcılık, bölge halkı için temel bir geçim kaynağı olmaya devam etmektedir. Bu bağ özelinde yapılan gözlemler, yöredeki bağcılık pratiklerinin geleneksel bilgi ile modern uygulamaların bir araya gelmesiyle sürdürüldüğünü göstermektedir (Savas ve Işın, 2024).

Hasat döneminde bağlardan toplanan Sultani Çekirdeksiz üzüm salkımları, öncelikle kurutma sürecini hızlandırmak amacıyla özel çözeltilere (genellikle potasyum karbonat ve zeytinyağı karışımı) batırılmaktadır. Bu işlem, üzüm tanelerinin kabuğunda ince bir tabaka oluşturarak su kaybını kolaylaştırır ve homojen bir kuruma sağlar. Ardından salkımlar, bölgenin iklim koşullarına göre tel sergilere asılmakta veya yere serilen sergilerin üzerine serilmektedir.

Kurutma süresi; mevsimsel sıcaklık, nem oranı ve rüzgâr durumuna bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 7–10 gün içerisinde tamamlanmaktadır. Tamamen kuruyan üzümler daha sonra toplanarak işleme aşamasına alınır. İşleme sürecinde öncelikle salkım çöpleri ayıklanır, ardından ürün kalite sınıflandırmasına tabi tutulur ve pazarlamaya hazır hâle getirilir.

Manisa'nın bağcılıkta sahip olduğu liderlik konumu güçlü olmakla birlikte, bölgedeki üreticiler zaman zaman iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması, hastalık ve zararlılar gibi çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle 2025 yılında yaşanan şiddetli don olayı, üreticiler üzerinde ciddi etkiler bırakmıştır. Çiftçiler, normal koşullarda dekara (dönüme) 500–600 kg ürün elde edebilirken, bu yıl verimin 85–100 kg seviyelerine kadar düştüğünü ifade etmişlerdir. Hasat edilen salkımların büyük ölçüde, don zararından sonra gelişen yedek gözlerden çıkan sürgünlere ait olduğu; ancak bu yan gözlerden oluşan salkımların, ana gözlerden elde edilenlere kıyasla hem miktar hem de kalite bakımından daha düşük verim sağladığı belirtilmiştir.



Şekil 3: Sultani Çekirdeksiz Üzüm Yetiştirilen Bağda Hasat Zamanı (Orijinal)

Bununla birlikte, küresel pazarda rekabet edebilmek için kalite standardizasyonu, markalaşma ve lojistik altyapının güçlendirilmesine yönelik yatırımların artırılması gerekmektedir. Tüm bu sorunlara rağmen Manisa'nın sahip olduğu ekolojik üstünlükler, modern bağcılık tekniklerinin giderek yaygınlaşması ve güçlü ihracat kapasitesi, ilin önümüzdeki yıllarda da Türkiye bağcılığında lider konumunu koruyacağını göstermektedir

İklim değişikliğinin getirdiği ani sıcaklık dalgalanmaları, asma fenolojisi açısından büyük risk oluşturmaktadır. Özellikle kışın ılık geçmesi sonucu gözlerin erken uyanması, ardından yaşanan geç donlarla birleşince, bağlarda ciddi ürün kayıplarına yol açmaktadır. Bu tür olaylar, üreticilerin sadece verimini değil, bağların uzun vadeli fizyolojik dengesini de olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4: Sultani Çekirdeksiz Üzüm Serme İşlemleri (Orijinal)

Manisa'nın ekolojik üstünlükleri, modern bağcılık tekniklerinin kullanımı ve güçlü ihracat kapasitesi, ilin önümüzdeki yıllarda da bağcılıkta liderliğini sürdüreceğini göstermektedir. Ancak iklim değişikliğinin etkilerini azaltabilmek için don riskine karşı erken uyarı sistemleri, uygun anaç ve çeşit seçimi, bağ içi hava akışını düzenleyici budama ve terbiye yöntemleri gibi stratejilerin daha etkin şekilde uygulanması gerekmektedir (Bahar vd., 2006).



Şekil 5: Sultani Çekirdeksiz Üzüm Telde Kurutma İşlemleri (Orijinal)



Şekil 6: Kuruyan Sultani Çekirdeksiz Üzümlerin Toplanması (Orijinal)

4. SONUÇ

Türkiye, sahip olduğu ekolojik çeşitlilik ve binlerce yıllık tarımsal birikimiyle, üzüm yetiştiriciliğinde dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. Sofralık, kurutmalık, şıralık ve şaraplık olarak değerlendirilen üzüm çeşitleri yalnızca tarımsal üretim açısından değil; aynı zamanda ihracat, istihdam ve kırsal kalkınma boyutlarıyla da ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte üzüm, kültürel ve toplumsal hafızada derin bir yere sahip olup, Anadolu'dan günümüze uzanan bağcılık geleneğinin en güçlü sembollerinden biri olmayı sürdürmektedir.

Bu bağlamda Manisa ili, özellikle Sultani Çekirdeksiz çeşidiyle, Türkiye bağcılığının kalbi konumundadır. Bölgedeki üretim süreçleri, bağ tesisinden hasada, kurutmadan pazarlamaya kadar bütünsel bir sistem oluşturmakta ve ülkenin kuru üzüm ihracatında belirleyici rol oynamaktadır. Çiftçi gözlemleri ve saha deneyimleri, modern tekniklerle geleneksel bilgi birikiminin bir arada var olduğunu göstermektedir. Bağcılık, yöredeki ailelerin temel geçim kaynaklarından biridir ve hasat dönemleri bölgesel festivallerle bütünleşmiştir. Bu durum, bağcılığın Manisa'daki toplumsal hafızanın da önemli bir parçası olduğunu ortaya koymaktadır.

Ancak iklim değişikliği, don olayları, su kıtlığı ve küresel rekabet gibi faktörler bağcılığın geleceğini tehdit eden başlıca unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle bağcılığın korunması, ıslah programlarının güçlendirilmesi ve biyoteknolojik yöntemlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Üzüm yetiştiriciliği yalnızca belirli bölgeler için değil, ülkenin hemen her köşesi için stratejik bir değere sahiptir. Dolayısıyla sürdürülebilirlik, kalite standardizasyonu, markalaşma ve iklim değişikliğine uyumun yanında, yeni çeşitlerin geliştirilmesi, dayanıklı anaçların seçilmesi ve modern üretim tekniklerinin uygulanması, ülke bağcılığının geleceğini güvence altına alacaktır.

Bu çalışmada gözlemlerini ve tecrübelerini bizlerle paylaşan üretici Halil Tekeş ve değerli ailesine, bağcılığa olan katkıları ve özverili çalışmaları için teşekkür ederim. Onların emeği ve bilgi birikimi, Manisa bağcılığının gücünü ve sürdürülebilirliğini simgeleyen en önemli unsurlardan biridir.

KAYNAKÇA

- Bahar, E., Korkutal, İ., & Kök, D. (2006). Türkiye Bağcılığının Son Yıllardaki Gelişiminde Görülen Başlıca Sorunlar Ve Çözüm Önerileri. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 65-69.
- Bashimov, G. (2017). Türkiye’de üzüm üretimi ve ihracat performansı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(2), 57-68.
- Boz, Y., Uysal, T., Yaşasın, A. S., Gündüz, A., Avcı, G. G., Sağlam, M., Kıran, T., & Öztürk, L. (2012). Türkiye Asma Genetik Kaynakları Kataloğu, 411 s. Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü.
- Candar, S., Alço, T., Uysal, T., Ekiz, M., & Yayla, F. (2019). Karamenüş ve Yayla (*Vitis vinifera* L.) Şaraplık Üzüm Çeşitlerinde Biyoklimatik İsteklerin ve Olgunluk Göstergelerinin Belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5(2): 231 – 239.
- Çelik, H. 2012. Türkiye Bağcılığı ve Asma Fidanı Üretimi-Dış Ticareti İle İlgili Stratejik Bir Değerlendirme. Türkiye Tohumcular Birliği (TÜRKTÖB) Dergisi, Sayı 4:10-16, Ankara
- Çelik, H., Şendağ, S., Büyükdemirci, H. ve Kacar, E. 2025. Meyve ve Asma Fidanı Üretiminde Mevcut Durum ve Gelecek. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi, 13-17 Ocak 2025, Ankara.
- Ergönül O., Özer C., Orhan Özalp Z., (2018). Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Tarafından Geliştirilen Yeni Sofralık Üzüm Çeşitleri. Bahçe 47 (Özel Sayı 1: Türkiye 9. Bağcılık ve Teknolojileri Sempozyumu): 423-428. ISSN 1300 8943.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2024). *FAOSTAT Crops and Livestock Products Database: Grapes*. Roma: FAO. Erişim: <https://www.fao.org/faostat>
- Geyikçi, U. B. (2013). Manisa İlinin Üzüm Üretimindeki Durumunun Tespitine Yönelik Alan Araştırması Ve Gzft Analizi. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(03), 468-487.
- Gülcü, M., Taşeri L., Boz Y., Dağlıoğlu F., Yayla F., Akman B., 2010. Bazı Üzüm Çeşitlerinin Üzüm Suyuna Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi. Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Proje Sonuç Raporu, 58 s., Genel Yayın No: 195.

- Karabat, S., & Ateş, F. (2010). Organik Sultani Çekirdeksiz Üzüm Üretiminde Farklı Uygulamalara Ait Tesis ve Üretim. “Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu, 28 Haziran - 1 Temmuz 2010, Erzurum.
- Kurt, A., & Koçtürk, O. M. (2025). Manisa İli Sultani Üzüm Asma Yapağı İhracatı Üzerine Bir Araştırma. *Sosyoekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 1-17.
- Nazlı C, 2007. Üzüm. GTHB, TEAE – Bakış, Sayı:9, Nüsha:11. S.1. Ankara. http://www.tgdf.org.tr/turkce/tgdfrapor_lari/11uzum.pdf (Erişim tarihi: 24.10.214).
- Savas, Y., & Işın, F. (2024). Çekirdeksiz Kuru Üzüm Üretiminde Teknik Etkinliğin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(6), 1469-1474.
- Semerci, A., Kızıltuğ, T., Çelik, A., & Kiracı, M. (2015). Türkiye bağcılığının genel durumu. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2).
- Söylemezoğlu, G., Çelik, H., Kunter, B., Kiracı, M. A., Ünal, A., Akkurt, M., . & Karaman, S. G. (2025). Bağcılıkta Mevcut Durum, Gelecek Ve Sürdürülebilirlik. *Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1*, 618.
- Sümbül, A., & Yıldız, E. (2022). Türkiye’de Yetiştiriciliği Yapılan Sofralık, Kurutmalık Ve Şaraplık Üzümlerin Mevcut Durumu Ve Üretim Projeksiyonu. *Erciyes Tarım Ve Hayvan Bilimleri Dergisi*.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2024). *Bitkisel Üretim İstatistikleri, 1. Tahmin 2024*. Ankara: TÜİK.
- Uysal T, Ergönül O, Yaşasın A, Polat A, Candar S, Eryılmaz İ., (2024). Tekirdağ Asma Arazi Gen Bankasındaki Bazı Üzüm Genotiplerinin Karakterizasyonu. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*

BÖLÜM 7

SULAMA SUYU OLARAK ATIK SU KULLANIMININ OLUŞTURDUĞU SAĞLIK RİSKLERİ

İsmail TAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224356>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Çanakkale, Türkiye. tas_ismail@yahoo.com, orcid id: 0000-0003-0872-2529

1. GİRİŞ

Dünyada su ile ilgili olarak, gerek bilimsel temelli gerekse komplo teorileri açısından çok sayıda ve farklı senaryolar üretilmektedir. Özellikle son yıllarda sıklıkla dile getirilen senaryoların başında, gelecekte çıkması muhtemel dünya savaşının ya da savaşlarının ana sebebinin su kaynakları olacağı yönündedir. Geçmişten günümüze kadar yaşanan olaylar dikkatlice incelenir ve analiz edilirse, benzer durum çağlar boyunca birçok kez tekrarlanmıştır. Su kaynaklarının giderek yetersizleşmesi ve kalite açısından bozulması, tahmin edilen söz konusu savaşların, öngörülen zamanlardan daha önce çıkmasına neden olabilir. Anılan senaryoların engellenmesi/geciktirilmesi ancak su kaynaklarının verimli kullanılmasının yanında alternatif sulama suyu kaynağının oluşturulmasına bağlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, birim hacimdeki sudan en fazla yararın sağlanabilmesi ve tekrar kullanımı konusuna odaklanmış durumdadır. Yetersiz ve düşük kaliteli sulama sularının üretimde kullanıldığı koşullarda, üretim hem nicelik hem de nitelik açısından bozulmaktadır. Artan dünya nüfusu ve ihtiyaçları dikkate alındığında birim sudan yararlanma oranının artırılmasının yanında birim alandan elde edilen verim/üretim değerlerinin de artırılması gerekmektedir (Tas, 2020; Tas, 2024).

Kullanım sonucu kirlenmiş sular söz konusu olduğunda genel olarak insanların bakış açısı son derece olumsuz olabilmektedir. Ancak su kaynaklarının çok yetersiz olduğu bölgelerde bu görüş tam tersi bir duruma da dönüşebilmektedir. Unutulmamalıdır ki atıksu olarak nitelendirilen su, kullanılmış su olup herkesin her gün bir şekilde kirlettiği su ya da diğer bir ifadeyle ürettiği sudur. Üretim hacmine yani kirlatilen miktar açısından bakıldığında oldukça çok miktarda üretiliyor olmasına rağmen çoğunlukla görmezden gelinen bir su kaynağıdır. Böylesi önemli kaynağı göz ardı etmenin, sınırlı su kaynaklarına olan bağımlılığımızı zayıflatan büyük bir hata olduğu unutulmamalıdır. Kötü kokulu ve tehlikeli bir kirlilik kaynağı olan bu kirlenmiş sular, yanlış yönetildiğinde çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahiptir. Buna rağmen arıtıldığında temiz su kaynağı olarak büyük bir potansiyeli olan atıksuları iyi yöneterek değerli bir kaynağa dönüştürmenin zamanı çoktan gelmiş olup çoğu bölgelerde geç bile kalınmıştır. Başta enerji, bitki besin maddeleri ve diğer materyalleri içeren bu kaynak, büyük çoğunluğu su kıtlığından kaynaklanan; gıda güvenliği, ekosistem bozulmaları, kötüleşen çevre ve toplumsal krizlere yönelik sürdürülebilir çözümler sağlanması

noktasında önemli bir çözüm aracı olarak ortaya çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler raporları 2023 yılı rakamlarına göre üretilen evsel ve endüstriyel atıksuyun tahminen yalnızca %11'i yeniden kullanılmaktadır.

Dünya genelinde giderek kötüleşen su kalitesi, gıda ve enerji güvenliği krizleri göz önüne alındığında, bir damla bile israf edilmemelidir. Atık suyun yeniden kullanımı için BM rakamlarına göre öngörülen kullanılmayan potansiyeli yıllık yaklaşık 320 milyar m³ olup, mevcut küresel tuzdan arındırma kapasitesinin 10 katından fazlasını oluşturmaktadır. Atık suyun kullanılabilirlik potansiyeli, içerisinde çözünmüş olan değerli ürünlerin güvenli bir şekilde geri alınması ile mümkün olabilir. Bunun içinde iyi bir toplama ve arıtma süreçlerine gereksinim bulunmaktadır. Ancak atık su kaynaklarının geri kazanımı ve yeniden kullanımıyla ilgili olarak çevresel ve sağlık risklerine ilişkin olumsuz kamuoyu algıları ve endişeleri, dünya ölçeğinde henüz giderilememiş durumdadır. Mevcut atık su algısını atık sorunu olmaktan çıkararak gelişen kullanışlı bir kaynağa dönüştürme zorunluluğu her geçen gün artmaktadır. Suyun toplanma, arıtılma ve değerlendirilme şeklini değiştirmek için kapsayıcı ve eşitlikçi politikalara ve aynı zamanda somut eylemlere ihtiyaç vardır. Ayrıca dünyanın birçok yerinde atık suyun hiç arıtılmadığı gerçeği de dikkate alınmalıdır. BM'ye göre dünyadaki atık suyun %80'i arıtılmadan doğaya geri dönmektedir. Hatta Avrupa'da bile atık suyun ilkel yöntemlerle arıtıldığı bölgeler bulunmaktadır. Atık suyun verimli bir şekilde işlenmesi küresel kalkınmada önemli bir sorudur. Kentleşme ve nüfus artışı nedeniyle küresel ölçekte giderek artan sayıda insan akan suya ve sanitasyona erişebilecektir. Atık su miktarı artacak ve mikroplastiklerin ve diğer kirleticilerin çevreye sızmasını önleme ihtiyacı artacaktır (Talvitie vd., 2015).

Hali hazırda dünyanın büyük bölümünde özellikle kurak yarı kurak bölgelerde sıklıkla su kıtlığı problemi yaşanmaktadır. Ayrıca, artan nüfus ve sanayinin temiz su kaynaklarına olan talebi de artmaktadır. Su kıtlığı konusunda var olan problem, yakın gelecekte daha da büyüyecektir. Artan talebin karşılanabilmesi ancak sektörel bazda en fazla su kullanan alan olan tarım sektörünün kullandığı temiz su miktarının azaltılmasıyla mümkün görünmektedir. Tarımsal üretimin ihtiyacı olan sulama suyunda yapılacak bir kısıntı, hem verim de hem de kalite de düşüşe neden olabilir. Bu durumda, var olan gıda açığı daha da artacaktır. Mevcut bilgiler dikkate alındığında, tarımsal üretimin artırılarak açlığın azaltılması ancak tarımsal üretimde verim ve

kalitenin artırılmasıyla mümkündür. Tarımsal üretimde verim artışında ve ürün çeşitliliğinde en önemli girdi sulama suyudur. Tüm üretim faaliyetlerinden çıkan atık suların kirlilik derecelerine göre bir takım arıtma işlemlerinden sonra tarımsal üretimde kullanılması daha öncede dile getirildiği gibi mümkündür. Dünyanın hemen hemen her yerinde kirlenmiş sular, sulama suyu olarak kullanılmaktadır ve gelecekte de daha çok kullanılmak zorunda kalınacaktır. Scott vd., (2004) bildirdiğine göre, 2000'li yılların başına kadar, dünyada 50 ülkede yaklaşık 20 milyon ha'dan fazla alanda ham ya da kısmen arıtılmış kirlenmiş sular kullanılarak bitkisel üretim yapılmaktadır.

Atık suyun tarımsal sulamada kullanımı, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığıyla mücadelede hayati bir strateji olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu yöntem, tarımsal amaçlar için su bulunabilirliğini artırarak geleneksel su kaynaklarına sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Atık su, azot ve fosfor da dahil olmak üzere bitki büyümesi için faydalı temel besinleri içerir ve bu da sentetik gübre ihtiyacını azaltabilir (Tas, 2020; Haj vd., 2023; Tas, 2024).

Akdeniz ve Çin'in bazı bölgeleri gibi su kıtlığı yaşayan bölgelerde, atık suyun yeniden kullanımı su yönetimi uygulamalarının bir parçası haline gelmiş ve azalan tatlı su kaynaklarıyla başa çıkmaya yardımcı olmuştur (Salem vd., 2020; Wang vd., 2017). Ayrıca, arıtılmış atık suyun sulamada kullanılması, besin maddelerinin doğal biyojeokimyasal döngülere geri kazandırılmasına yardımcı olarak ekolojik sürdürülebilirliği destekleyebilir (Santos vd., 2023). Ekonomik açıdan, geri kazanılmış atık suyun sulamada kullanılması, arıtma maliyetlerine rağmen uygulanmasını haklı çıkarabilecek önemli piyasa dışı faydalar göstermiştir. Örneğin, tarımsal kullanım için geri kazanılan atık suya atfedilen toplumsal değerin, ilgili maliyetlerden daha ağır bastığı ve bu nedenle uygulanabilir bir ekonomik seçenek olduğu bulunmuştur (Alcon vd., 1970). Ancak, özellikle toprak ve ürün sağlığı açısından sulamada atık su kullanımının potansiyel olumsuz etkileri konusunda endişeler bulunmaktadır. Arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık sularda ağır metaller ve patojenler gibi kirleticilerin varlığı hem çevre hem de insan sağlığı için risk oluşturmaktadır. Dahası, topraktaki tuzluluk ve sodyum seviyelerinin birikmesi, uygun şekilde yönetilmediği takdirde toprak özelliklerini ve ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir (Mañas vd., 2009; Hashem ve Qi, 2021). Bu riskleri azaltmak için, atık suyun uygun şekilde arıtılması ve dezenfeksiyonu, kontrollü uygulama

prosedürleri ve toprak ve su kalitesinin sürekli izlenmesi gibi dikkatli yönetim uygulamaları esastır. Bu stratejilerin uygulanmasıyla, tarımda atık su yeniden kullanımının faydaları en üst düzeye çıkarılırken zararlı etkiler önemli ölçüde azaltılabilir (Tran vd., 2016; Castro vd., 2011).

Tarımsal sulamada atık su kullanımı, insan sağlığı üzerinde karmaşık etkileri olan önemli bir konudur. Tarım için su kaynaklarını artırmak gibi temel faydalar sağlayabilmesinin yanı sıra, ele alınması gereken kritik halk sağlığı sorunlarını da ortaya çıkarmaktadır. Önemli endişelerden biri, çevrede antibiyotik direnci potansiyelidir. Genellikle doğrudan bertaraf veya yüzey akışı yoluyla atık su alan su ekosistemleri, antimikrobiyal direncin yayılması için rezervuar ve yol görevi görür. İnsan ve hayvan atıkları ve ilaç endüstrisi uygulamaları gibi çeşitli faaliyetlerden kaynaklanan atık sulardaki antibiyotik kalıntılarının varlığı, bakteri direncinin gelişimini hızlandırabilir. Bu durum, çeşitli patojenlere karşı tedavilerin etkinliğini tehlikeye atarak halk sağlığını tehdit eder ve acil müdahale gerektiren sorunlar oluşturur (Berisha vd., 2024). Ayrıca, sulama için arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık su kullanımı da dahil olmak üzere uygunsuz atık bertarafı veya yönetimi, kolera ve hepatit B gibi bulaşıcı hastalıkların yayılmasına ve su kirliliği gibi çevresel bozulmalara yol açabilir. Bu koşullar halk sağlığını olumsuz etkileyerek hastalık görülme sıklığının ve sağlık harcamalarının artmasına yol açmaktadır (Husaini vd., 2023).

Atık suyun insan sağlığına zarar vermeden tarımda etkin bir şekilde kullanılması için kapsamlı atık yönetimi stratejilerinin uygulanması hayati önem taşımaktadır. Bu stratejiler, sulamada kullanılmadan önce zararlı patojenleri ortadan kaldırmak ve kirletici seviyelerini azaltmak için atık suyun uygun şekilde arıtılmasını kapsamalıdır. Ayrıca, atık suyun yeniden kullanımıyla ilişkili riskleri azaltmak için gözetim ve stratejik halk sağlığı konularına dikkat edilmelidir. Arıtılmış atık suyun güvenli kullanımı ve faydaları konusunda toplulukları eğiten kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları bu çalışmaları destekleyebilir. Yaşamın can damarı olan su kaynaklarımızı korumak ve geleceğe taşımak için kritik bir dönüm noktasındayız. Tarım, çevre ve halk sağlığı uzmanlarının güçlerini birleştirmesiyle ortaya çıkacak devrim niteliğindeki sürdürülebilir atık su yönetimi, hem toprağımızın bereketini artıracak hem de toplum sağlığımızı güvence altına alacak altın bir anahtar niteliğindedir. Bu yaşamsal iş birliği, sadece tarlalarımızdan fışkıran bereketin

habercisi olmakla kalmayacak, aynı zamanda gelecek nesillere daha sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya bırakmanın da teminatı olacaktır.

2. ATIKSULARIN ÖZELLİKLERİ

2.1. Fiziksel Özellikleri

2.1.1. Sıcaklık

Atık suyun sıcaklığı, tarımsal sulamada kullanılırken önemli bir faktördür. Çünkü hem ürün büyümesini hem de toprak sağlığını önemli ölçüde etkileyebilir. Sulamada kullanılan atık suyun sıcaklığı, bitkilerin ve toprak mikroorganizmalarının maruz kalabileceği sıcaklık şoklarını önlemek için ideal olarak ortam sıcaklığıyla uyumlu olmalıdır. Aşırı sıcaklıklar, bitkilerin fizyolojik süreçlerini olumsuz etkileyerek büyüme ve verimi kısıtlayabilir. Öte yandan, sulama suyundaki yüksek sıcaklıklar, topraktaki biyolojik aktiviteyi artırarak besin maddelerinin daha iyi bulunmasını ve bitki tarafından daha iyi emilmesini sağlayabilir. Ancak, aynı zamanda buharlaşma oranlarının artmasına da yol açabilir ve bu da toprak nem seviyelerini korumak için daha sık sulama gerektirebilir (Badr vd., 2023). Tersine, daha soğuk atık su bitki büyümesini yavaşlatabilir ve topraktaki mikrobiyal aktiviteyi etkileyerek toprak kimyasını ve besin döngüsünü değiştirebilir (Pratap vd., 2021). Ayrıca atıksuyun sıcaklığı, suyun fiziksel özelliklerini ve içindeki kimyasal reaksiyonları etkileyen önemli bir parametredir. Örneğin, sıcaklık artışı çözülmüş oksijen miktarını azaltabilir ve biyolojik süreçleri hızlandırabilir. Popa vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, atıksu sıcaklığının genellikle 20°C ile 30°C arasında değiştiği ve bu sıcaklık aralığının mikroorganizmaların aktivitesini etkilediği belirtilmiştir. Atık su sıcaklığının genel su kalitesi değerlendirmesinin bir parçası olarak izlenmesi, pH, bulanıklık ve çözülmüş oksijen gibi diğer fiziko-kimyasal parametrelerle etkileşime girdiği için hayati önem taşır; bunların tümü tarımsal ortamlarda dengeli bir ekosistemin sürdürülmesi için önemlidir (Jeong vd., 2016). Arıtılmış atık sudaki bu parametrelerin uygun şekilde yönetilmesi, ürün kalitesi ve toprak koşulları üzerindeki olası olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olarak sürdürülebilir tarımsal uygulamaların sağlanmasına olanak tanır.

2.1.2. Bulanıklık ve Renk

Atıksuyun tarımsal sulamada kullanımında atıksu rengi ve bulanıklığının önemi çok yönlüdür ve hem çevresel hem de tarımsal sonuçları etkiler. Bulanıklık, atıksuda bulunan asılı katı maddelerin miktarını ifade eder. Yüksek bulanıklık değerleri, atıksuyun optik özelliklerini ve suyun ışık geçirgenliğini azaltır. Ayrıca, atıksular genellikle koyu renkli olabilir ve bu durum organik maddelerin yüksek konsantrasyonuna işaret eder (Kesalkar vd., 2012). Bulanıklık ve renk, su kalitesinin temel göstergeleridir ve askıda katı maddeler ile organik maddelerin varlığını yansıtır; bu da atıksuyun yeniden kullanımının verimliliğini ve güvenliğini etkileyebilir.

Yüksek bulanıklık ve renge sahip atık sular, uygun şekilde artılmazsa çevresel bozulma riskini artırabilir. Yüksek bulanıklıkla gösterilen kalıcı organik maddeler ve askıda katı maddeler, çevrede potansiyel olarak zararlı maddelerin birikmesine yol açarak su ekosistemlerini ve canlı organizmaları etkileyebilir. Ayrıca, bu faktörler, bu tür suyla sulanan mahsulleri işleyen veya tüketenler için sağlık riskleri oluşturabilir. Etkili arıtma teknolojileri, renk ve bulanıklığı önemli ölçüde azaltabilir. Örneğin, ultrafiltrasyon ve koagülasyon tekniklerinin, askıda katı maddeler ve renk için yüksek giderim verimlilikleri sağladığı ve tarımda güvenli yeniden kullanım için çevre standartlarını karşıladığı bildirilmiştir (Ghonimy vd., 2025). Bu teknolojiler, arıtılmış atık su kullanımının çevresel etkisinin en aza indirilmesini ve tarımsal faydanın en üst düzeye çıkarılmasını sağlar. Renk ve bulanıklık gibi parametreler de dahil olmak üzere atık su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, sürdürülebilir yeniden kullanım için hayati önem taşır. Bu, atık suyun güvenlik yönergelerine uygun olmasını sağlar ve hem ürünler hem de daha geniş çevre üzerinde olumsuz etkilerin önlenmesine yardımcı olur (Jeong vd., 2016). Doğru değerlendirme ve düzenleme, dengenin korunmasına ve tarımda atık suyun sorumlu bir şekilde kullanılmasının teşvik edilmesine yardımcı olarak gıda güvenliğini ve sürdürülebilir uygulamaları destekler.

Yüksek bulanıklık, bitki büyümesi ve toprak sağlığı için zararlı patojenler veya ağır metaller barındırabilen yüksek düzeyde partikül maddeye işaret edebilir. Arıtma süreçleriyle bulanıklığın azaltılması, su kalitesini önemli ölçüde artırarak sulama için daha uygun hale getirebilir (Ghonimy vd., 2025). Öte yandan, yüksek renk giderimi, arıtma süreçlerinin etkinliğini ve sağlıklı toprak yapısı ile bitki kalitesinin korunması için gerekli olan organik

kirleticilerin daha düşük varlığını gösterir (Elmahdi, 2024). Yüksek bulanıklıktaki atık sular, toprak infiktrasyon özelliklerini etkiler, bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri etken bir şekilde alma yeteneğine tesir ederler.

2.1.3. Katı Madde İçeriği

Atıksularda bulunan toplam katı madde, çözünmüş ve çözünmemiş maddelerin bir birleşimidir. Bu maddeler, suyun buharlaştırılması sonrasında kalan kalıntılar olarak ölçülür. Örneğin, bir çalışmada, atıksuların toplam katı madde içeriğinin genellikle 500-1500 mg/L arasında değiştiği belirtilmiştir (Muttamara, 1996). Çözünmüş katı maddeler, su içinde iyonlar ve moleküller halinde bulunan maddeleri kapsar. Askıda katı maddeler ise fiziksel olarak sudan ayrılabilen partikülleri içerir. Özellikle kâğıt endüstrisi atıksularında, çözünmüş katı madde konsantrasyonunun 1043-1293 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Kesalkar vd., 2012). Katı maddeler ayrıca uçucu (organik) ve sabit (inorganik) olarak sınıflandırılır. Uçucu katı maddeler, organik madde içeriğini temsil ederken, sabit katı maddeler mineral ve inorganik bileşenlerden oluşur. Yapılan bir çalışmada, uçucu katı maddelerin yüksek oranlarda bulunmasının biyolojik arıtma süreçlerini etkilediği belirtilmiştir (Forster, 2002).

Atık su ile sulama, tüketiciler için doğrudan sağlık risklerinin yanı sıra, çevreyi olumsuz etkileyebilir, toprağın fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilir ve verimliliğini ve üretkenliğini azaltabilir (Pratap vd., 2021; Cui ve Liang, 2019). Bu da tarımsal üretimi ve buna bağlı geçim kaynaklarını etkiler. Dahası, aşırı besin maddelerinin toprağa verilmesi, bazı açılardan faydalı olsa bile toprakta besin dengesizliklerine yol açabilir ve bu da daha sonra akış halinde su kütlelerinin ötrofikasyonu gibi negatif yönlü etkilere yol açabilir (Yerli vd., 2022). Bu riskleri en aza indirmek için atık suyun katı madde içeriğini azaltmak üzere farklı araştırmaların yapılması gerekmektedir. Ultrafiltrasyon gibi gelişmiş arıtma yöntemlerinin kullanılması, atık sudaki toplam askıda katı madde miktarını önemli ölçüde azaltabilir ve böylece sulama amaçlı daha güvenli su elde edilebilir (Ghonimy vd., 2025). Tarımsal sulamada kullanılan atık sudaki katı madde içeriği, hem toprağın hem de ürünün güvenliğini ve kalitesini doğrudan etkilediği için insan sağlığı açısından kritik bir parametredir. Arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık su sulamada kullanıldığında, zararlı mikroorganizmalar, ağır metaller ve diğer toksik

kirleticiler barındıran askıda katı maddeler içerebilir (Pratap vd., 2021; Yerli vd., 2022). Bu kirleticiler, kirlenmiş topraktan bitkilere aktarılabilir ve tüketildiğinde insan sağlığı için önemli bir risk oluşturabilir (Cui ve Liang, 2019). Ayrıca, genellikle askıda katı maddelere bağlı olan ağır metaller toprakta birikerek bitkiler tarafından alınabilecek konsantrasyonların artmasına neden olabilir. Zamanla bu durum, insanlarda biyolojik birikime yol açarak toksik etkilere neden olabilir (Siebe ve Cifuentes, 1995; Ghonimy vd., 2025). Tarımsal amaçlar için yalnızca uygun kalitede suyun kullanılmasını sağlayacak düzenleme yapılmalı ve bu düzenlemelere uyulması için çaba gösterilmelidir. Bu sayede hem insan sağlığı hem de çevre korunacaktır (Khalid vd., 2018; El-Feky vd., 2024). Sonuç olarak, tarımsal sulamada atık suyun katı madde içeriğinin yönetilmesi, zararlı kirleticilerin gıda kaynaklarına taşınmasını önleyerek insan sağlığını korumak, toprak kalitesini korumak ve sürdürülebilir tarımsal uygulamaları güvence altına almak açısından hayati önem taşımaktadır.

2.1.4. Koku

Atıksular genellikle belirgin bir kokuya sahiptir. Bu koku, sudaki organik maddelerin mikrobiyal ayrışmasından kaynaklanır. Özellikle anaerobik koşullarda oluşan sülfür bileşikler, yoğun bir kokuya neden olabilir. Bu durum, hem çevresel hem de sağlık açısından olumsuz etkiler yaratabilir. Tarımsal sulamada kullanılan atık suyun kokusu, insan sağlığı açısından çeşitli nedenlerle endişe vericidir. Kokular genellikle kendi başlarına doğrudan zararlı olmasa da, zararlı kirleticilerin varlığını gösterebilir ve bir dizi dolaylı sağlık sorununa yol açabilir. İlk olarak, atık su kokusuyla ilgili en sık bildirilen sağlık şikayetleri arasında göz, burun ve boğaz tahrişi; baş ağrısı, mide bulantısı ve solunum sorunları yer alır. Bu semptomlar, koku maddelerine maruz kalma nedeniyle ortaya çıkar ve genellikle koku karışımlarının bir parçası olan endotoksinler gibi yardımcı kirleticilerin varlığıyla daha da kötüleşebilir (Schiffman vd., 2000). Yüksek yoğunluklu kokulara uzun süreli maruz kalma, özellikle solunum hassasiyeti bulunan astımlı bireylerde mevcut sağlık sorunlarının daha da kötüleşmesine neden olabilir (Schiffman ve Williams, 2005; Lebrero vd., 2011). Ek olarak, atık su kokuları bir tür atmosfer kirliliği olarak kabul edilir ve önemli bir halk şikâyeti kaynağıdır. Bu kokuların varlığı, her zaman görünür olmayan veya başka yollarla kolayca tespit edilemeyen

zararlı kirleticilere maruz kalma olasılığını ifade eder. Bu nedenle, kokular kirliliğin bir göstergesi olarak hizmet edebilir ve güvenli çevre ve sağlık standartlarının korunmasını sağlamak için soruşturmaların hızlandırılmasını sağlayabilir (Senatore vd., 2021). Ayrıca, koku algısı strese neden olabilir ve ruh halini ve refahı olumsuz etkileyebilir. Bu psikolojik etki, genel yaşam kalitesini ve toplum memnuniyetini bozabileceği için dikkate alınması önemlidir (Schiffman vd., 2000). Bu durum, özellikle sulama için arıtılmış atık su kullanan atık su arıtma tesislerinin yakınındaki yerleşim alanları için geçerlidir. Bu nedenle, atık su kokularının yönetimi ve azaltılması, potansiyel sağlık risklerinin kontrol altına alınmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda sosyal endişeleri de ele alır ve atık su arıtma tesislerine ve arıtılmış atık su kullanan tarım alanlarına yakın toplulukların yaşam koşullarını iyileştirir (Carrera-Chapela vd., 2014; Schiffman vd., 2000).

2.2. Kimyasal Özellikleri

2.2.1. pH ve Alkalinite

Atıksuların pH seviyesi, suyun asidik veya bazik olma durumunu belirler. Tipik olarak, evsel atıksuların pH seviyesi 6.5-8.5 arasında değişir. Alkalinite ise suyun asiditeye karşı tamponlama kapasitesini ifade eder ve genellikle karbonat ve bikarbonat iyonlarının varlığına bağlıdır.

Tarımsal sulamada kullanılan atık suyun pH ve alkalinitesi, insan sağlığı, toprak kimyası ve ürün verimliliği ile ilgili birçok nedenden dolayı çok önemlidir. Atık suyun pH seviyesi, toprak kimyasını ve bitki gelişimini önemli ölçüde etkileyebilir. Örneğin, çok asidik veya çok alkali atık suyla sulama, toprağın tuzlanmasına veya bozulmasına yol açabilir. Bu durum, toprağın fiziksel yapısını etkileyerek bitki kök gelişimini ve infiltrasyonu engelleyebilir. Sulama suyunda dengeli bir pH değerinin korunması, sağlıklı bitki büyümesini destekleyen ve besin bulunabilirliğini en üst düzeye çıkaran optimum toprak koşullarının sürdürülmesine yardımcı olur. Ayrıca, Atık suyun alkalinitesi, topraktaki besin bulunabilirliğini etkilediği için bir diğer kritik faktördür. Yüksek alkalinite, bazı temel besin maddelerinin bitkiler için daha az bulunabilir hale gelmesine neden olabilirken, çok düşük alkalinite toksisitelere yol açabilir. Sonuç olarak, ayarlanmış alkalinite seviyeleri, bitki sağlığı ve verimliliği için gerekli olan uygun besin dengesinin korunmasına yardımcı olur (Ali vd., 2018).

Uygun olmayan pH ve alkalinite seviyelerine sahip atık su kullanımı, özellikle yeraltı suyuna taşınım ve bitkilerle bulaşma yoluyla halk sağlığı riskleri oluşturabilir. Örneğin, asidik veya alkali koşullar ağır metallerin hareketliliğini artırarak, bitkiler tarafından potansiyel olarak toksik elementlerin alınmasına ve bu elementlerin besin zincirine girmesine neden olabilir (El-Feky vd., 2024; Almuktar vd., 2018). Bu durum, tarımsal ortamlarda atık suyun pH ve alkalinitesinin izlenmesi ve yönetilmesinin insan sağlığını korumada neden önemli adımlar olduğunu göstermektedir. Uygun pH ve alkalinite seviyelerine sahip atık su kullanımı, ekolojik bozulmayı azaltarak ve etkili su geri dönüşüm uygulamalarını teşvik ederek çevresel sürdürülebilirliği güçlendirir. Yapay sulak alanlar gibi atık su arıtma teknolojileri, izin verilen pH ve alkalinite seviyelerinin korunmasına yardımcı olarak, arıtılmış atık suyun tarımda temiz su kaynaklarına alternatif oluşturmasını destekler (Almuktar vd., 2018). Tarımda atık su pH ve alkalinitesinin sıkı bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi, toprak bütünlüğünü, bitki sağlığını ve gıda güvenliğini sağlayarak insan sağlığını korur ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına önemli oranda katkı sağlar.

2.2.2. Organik Madde İçeriği

Atıksulardaki organik madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri ile değerlendirilir. Bu maddeler, mikroorganizmalar tarafından parçalanabilir ve suyun oksijen seviyesini düşürebilir. Örneğin, kağıt endüstrisi atıksularında KOİ değerlerinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Kesalkar vd., 2012).

En büyük sağlık sorunlarından biri, atık sudaki organik maddede kirleticilerin bulunmasıdır. İlaçlar, kişisel bakım ürünleri ve endokrin bozucu bileşikler de dahil olmak üzere çeşitli kimyasalların bir karışımından oluşan atık organik madde, toprakta biriktiğinde ve bitkiler tarafından alındığında risk oluşturabilir (Shon vd., 2006; Michael-Kordatou vd., 2015). Bu kirleticiler besin zincirine girerek insan sağlığını etkileyebilir. Ayrıca, organik katkı maddelerinde sıklıkla bulunan ağır metaller, patojenler ve antibiyotiklere dirençli bakteriler gibi kirleticiler, ürün tüketimi yoluyla insanlara bulaştığında önemli sağlık riskleri oluşturur (Khalid vd., 2018; Urre vd., 2019). Ekolojik etkiler açısından, atık su yoluyla mikroplastiklerin ortama salınması uzun vadeli çevresel sorunlara yol açabilir. Mikroplastik kontaminasyonu, tarım

topraklarında çoğalma riski oluşturarak yalnızca bitki sağlığını değil, aynı zamanda insan sağlığı üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere daha geniş ekosistemi tehdit ederler (Hechmi vd., 2024). Dahası, arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık su, toprak ve bitki sağlığını önemli ölçüde etkileyerek ürün miktarının azalmasına ve toprak ortamında potansiyel ekotoksiste sorunlarına yol açabilir. Fotosentezin engellenmesi ve bitki besin maddelerinin bulunabilirliğinin değişmesi sonucu baskı altında yetişen ürünlerin insanlar tarafından tüketilmesi açısından ek riskler oluşabilir (Belhaj vd., 2015).

Tarımsal sulamada kullanılan atık suyun organik madde içeriği, faydalı etkilerini potansiyel risklerle dengeleyen çeşitli nedenlerle insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Öncelikle, atık sudaki organik madde, toprak verimliliğini ve ürün verimliliğini artırabilen zengin bir besin kaynağıdır. Bu, kimyasal gübrelere sınırlı erişimin olduğu bölgelerde hayati önem taşır. Organik bileşenler, sürdürülebilir tarıma elverişli toprak sağlığını iyileştirmeye yardımcı olan temel makro ve mikro besinleri sağlar (Usman vd., 2012). Ancak, özellikle arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık suların kullanımıyla ilişkili risklerin farkında olmak önemlidir.

2.2.3. Ağır Metaller ve Toksik Maddeler

Atıksular, kurşun, cıva ve kadmiyum gibi ağır metaller içerebilir. Bu metaller, çevre ve insan sağlığı için ciddi tehditler oluşturur. Özellikle endüstriyel atıksularda, ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir (Dobbs vd., 1989). Tarımsal sulamada kullanılan atık suyun ağır metal ve toksik madde içeriği, insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle önemli bir endişe kaynağıdır. Ağır metaller içeren atık su, bitkileri sulamak için kullanıldığında, bu metaller besin zincirine karışarak insanlar için sağlık riskleri oluşturabilir. Kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller toprakta birikebilir ve bitkiler tarafından emilebilir. Bu metaller kolayca sızmaz ve toprakta uzun süre kalarak yeni bitki gelişimini sürekli olarak etkileyebilir. Çalışmalar, atık su ile yetiştirilen ıspanak, buğday ve patlıcan gibi bitkilerin, sağlık kuruluşları tarafından belirlenen güvenli sınırların üzerinde yüksek Cr, Ni, Mn ve Pb seviyelerine sahip olduğunu göstermiştir (Atta vd., 2023). Bu birikim sorunludur çünkü bu sebzeleri tüketen insanlar, kanser, böbrek hasarı ve nörolojik bozukluklar gibi sağlık sorunlarına yol açabilen ağır metal maruziyeti riski altındadır (Manwani vd., 2022).

Atık su ile sulama sadece bitkileri etkilemekle kalmaz, aynı zamanda hayvansal ürünleri de etkiler. Örneğin, Pakistan'da atık su kullanılarak yetiştirilen yemlerle beslenen mandaların sütlerinde önemli miktarda ağır metal bulunmuştur ve bu durum tüketiciler için kanserojen sağlık riskleri oluşturmaktadır (Iqbal vd., 2020). Öte yandan arıtılmamış atık su kullanımı, ağır metallerin ekosistemlere girmesine ve besin zincirinde birikmesine neden olur. Bu kirlenme ekolojik riskler de oluşturur ve zihinsel gerilik, bağışıklık sisteminin baskılanması ve hatta kanser gibi hastalıklara sebebiyet vererek insan sağlığını doğrudan etkiler (Butt vd., 2005; Hu vd., 2019).

Artan su kıtlığıyla birlikte, atık suyun tarımsal sulamada yeniden kullanılması faydalı görünebilir; ancak bununla ilişkili sağlık riskleri sıkı düzenlemeler gerektirmektedir. Tarımda kullanılmadan önce atık suyun ağır metal içeriğini en aza indirmek için arıtılması şarttır. Uygun arıtma süreçleri ve düzenleyici çerçeveler, su kaynaklarını korurken insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltabilir (Ungureanu vd., 2020; Afzaal vd., 2022). Özetle, tarımsal sulamada kullanılan atık sudaki ağır metal ve toksik madde içeriğinin dikkate alınması, insan sağlığının korunması açısından hayati önem taşımaktadır. Uygun arıtma ve düzenlemeler yapılmadığı takdirde, kirlenmiş bitki ve hayvansal ürünlerin oluşturduğu sağlık riskleri ve ekolojik bozulmalar önemli problemlere neden olabilir.

2.3. Biyolojik Özellikleri

2.3.1. Mikrobiyal Yük ve Çeşitlilik

Atık sulardaki mikrobiyal yük ve çeşitlilik, farklı çevresel koşullar ve kirlilik seviyeleri altında önemli ölçüde farklılık gösterir. Bu mikroorganizmalar arasında büyük oranda bakteriler, virüsler, protozoalar ve mantarlar yer alır. Atık su içerisindeki mikrobiyal varlık, sadece suyun fiziksel-kimyasal parametrelerinin değil aynı zamanda sürekli değişen çevresel koşulların da bir sonucu olarak büyük bir çeşitlilik gösterir. Örneğin, atık su arıtma tesislerinde yer alan mikrobiyal topluluklar, dünya çapında büyük bir çeşitlilik içerir ve yaklaşık 1 milyar bakteriyel filotype sahip olabilir (Wu et al., 2019). Bu çeşitlilik, özellikle azot ve fosforun uzaklaştırılması gibi biyolojik atık su arıtma sistemlerinde kritik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen süreçleri vurgular (Ferrera and Sánchez, 2016). Mikrobiyal çeşitlilik, aynı zamanda atık suyun içinde bulunan zararlı maddelere karşı

toleransı ve dayanıklılığı da etkileyebilir. Örneğin, atık su içinde bulunan mikroorganizmaların, alıcı su kütlelerinde mikroorganizma kaynaklı kirleticilere karşı toleransı artırdığı gözlemlenmiştir (Carles et al., 2022). Dolayısıyla, atık sulardaki mikrobiyal yük ve çeşitlilik, sudaki organik ve zararlı maddelerin biyolojik dönüşümü ve su kalitesinin korunması için kritik bir öneme sahiptir (Yasir, 2020).

Öte yandan atık sudaki mikrobiyal yük ve çeşitlilik, özellikle atık suyun yeniden kullanımı sırasında insan sağlığını önemli ölçüde etkiler. Bu durum, çeşitli düzeylerde sağlık riskleri oluşturan çok sayıda patojen ve mikrobiyal topluluğu içerir. Atık suda patojenik virüsler yaygındır ve bunlara maruz kalmak önemli bir hastalık yüküne yol açabilir. Mevcut izleme yöntemleri, genellikle patojenleri yeterince tespit edememektedir; bu da gelişmiş mikrobiyal su kalitesi araçlarına olan ihtiyacın arttığını göstermektedir (Bibby vd., 2019). Benzer şekilde, bir bitki patojeni olan biber hafif benek virüsünün varlığı, atık su kirliliğiyle ilişkilendirilmiştir ve bunun da potansiyel bir sağlık riskleri olduğu söylenebilir (Symonds vd., 2019).

Atık suyun yeniden kullanımının kapsamlı bir değerlendirmesi, arıtılmış atık suda kalıcı antibiyotik dirençli bakteriler ve direnç genleri olduğunu ortaya koyarken, arıtma veriminde düşüşler belirlenmiştir. Bu durum, bu kirleticileri içeren atık suların genellikle doğal su kütlelerine ulaşması ve halk sağlığı risklerini potansiyel olarak artırması nedeniyle özellikle endişe vericidir (Varela ve Manaia, 2013). Dahası, sulamada kullanılan arıtılmamış veya kısmen arıtılmış atık su, özellikle tarım işçileri için ishale bağlı hastalıklar ve helmint enfeksiyonları gibi insan enfeksiyonlarının kaynağı olabilir (Adegoke vd., 2018). Mikrobiyal kaynak izleme yöntemleri, atık sudaki patojenler ile insan sağlığı sonuçları arasındaki bağlantıyı anlamak için hayati önem taşıyan dışkı kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olur. Bu yöntemler, sağlık risklerini azaltmak için kanalizasyon kirliliğinin izlenmesinin önemini vurgular (Harwood vd., 2014). Son olarak, arıtılmış atık sudaki mikrobiyal topluluklar, dağıtım sistemlerinde biyofilm oluşumuna yol açarak potansiyel patojenler için bir rezervuar görevi görebilir. Bu biyofilmler, topluluk su sistemlerine girdiklerinde daha fazla sağlık riski oluşturarak bir kontaminasyon kaynağı haline gelebilir (Ibekwe ve Murinda, 2019).

Sonuç olarak, atık suyun yeniden kullanımı çevresel sürdürülebilirlik ve tarımsal üretim için faydalı olsa da, çeşitli mikrobiyal patojenler ve kimyasal

kirleticilerin varlığı nedeniyle önemli halk sağlığı endişeleri doğurur. Bu nedenle, atık suyun yeniden kullanımıyla ilişkili sağlık risklerini en aza indirmek için etkili izleme, arıtma ve yönetim uygulamaları esastır (Pratap vd., 2021; Girón-Guzmán vd., 2024). Ayrıca, atıksuların sulamada kullanımda mutlaka insan temasını en aza indiren yüzey altı damla sulama başta olmak üzere yüzey damla, mobil damla sulama ve yüzey sulama yöntemleri (karık, tava, gibi) kullanılabilir. Yağmurlama sulama yöntemi mevcut özellikleri itibarıyla atık suların kullanımında çok sakıncalı bir sulama yöntemidir. Yüzey sulama yöntemlerinde de mutlaka koruyucu ekipman kullanımına da dikkat edilmelidir.

2.3.2. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) parametresi, atık suyun sulamada kullanılmasının oluşturduğu sağlık risklerinin değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir. BOİ, mikroorganizmaların sudaki organik maddeleri ayrıştırırken tüketeceği oksijen miktarını ölçer ve organik kirliliğin ve suyun genel kalitesinin bir göstergesidir (Gross vd., 2005; Asteris vd., 2022). Yüksek BOİ değerleri, organik kirliliğin fazla olduğunu gösterir ve arıtma süreçlerinde önemli bir parametredir (Czerwionka vd., 2012). Sulamada kullanılan atık sudaki yüksek BOİ seviyeleri, toprakta ve sucul ortamlarda oksijen bulunabilirliğinin azalmasına yol açarak bitki ve sucul yaşamı olumsuz etkileyebilir. Artan BOİ'ye genellikle yüksek seviyelerde patojen ve organik kirleticiler eşlik eder ve bunlar mahsullere aktarılabilir insan sağlığı için risk oluşturabilir (Cui ve Liang, 2019). Yüksek BOİ içeren arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık suyun tarım alanlarına salınması, toprakta ve ürünlerde zararlı mikroorganizma ve parazitlerin çoğalmasına yol açarak, bu ürünleri tüketen veya dokunan bireylerde hastalık olasılığını artırabilir (Adegoke vd., 2018; Poonia vd., 2023). Orta Meksika'da yapılan bir çalışmada, tarım işçileri ve aileleri arasında görülen parazit enfeksiyonlarının atık su sulaması ile taşınan yüksek patojen yükü ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Siebe ve Cifuentes, 1995). Bu durum, atık suyun BOİ seviyelerini düşürmek için yeterli arıtımın sağlanmasının ve böylece tarımsal uygulamalarda kullanımıyla ilişkili sağlık risklerinin en aza indirilmesinin ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, BOİ parametresi, sulamada kullanılan atık suyun güvenliğini ve çevresel etkisini izlemek için hayati bir göstergedir. BOİ'yi azaltmak için uygun

arıtım, sağlık risklerini sınırlamak, çevresel bozulmayı önlemek ve güvenli tarımsal çıktılar sağlamak için esastır (Poonia vd., 2023; Abuzaid ve Fadl, 2018).

2.3.3. Organik Azot Bileşenleri

Organik azot, atıksularda bulunan ve biyolojik arıtma süreçlerinde dikkatle izlenmesi gereken bir bileşendir. Çalışmalar, organik azotun kolloidal ve çözünmüş formlarının arıtma süreçlerinde farklı davranışlar sergilediğini göstermektedir (Czerwionka vd., 2012). Atık suyun sulama amaçlı kullanımı, organik azot bileşikler ve diğer kirleticilerin varlığı nedeniyle çeşitli sağlık risklerine yol açabilir. Uygunsuz atık su yönetimi nedeniyle aşırı miktarda bulunan azot bileşikler çeşitli problemlere neden olabilir. Bunlar;

1) Azot Kaybı ve Yeraltı Suyu Kirliliği: Atık sudaki organik azot, toprakta oldukça hareketli olan nitrata dönüşebilir. Bu dönüşüm, nitratin yeraltı suyuna yikanması/sızmasına ve bu nitratların yüksek konsantrasyonlarda birikmesi durumunda önemli halk sağlığı riskleri oluşturmaya neden olabilir. İçme suyundaki yüksek nitrat seviyeleri, bebeklerde kanın oksijen taşıma yeteneğini azaltan ve diğer hassas popülasyonlarda sağlık sorunlarına neden olabilen bir durum olan methemoglobinemi veya "mavi bebek sendromu" ile ilişkilidir (Siebe ve Cifuentes, 1995).

2) Artan Tarımsal Üretim ve Sağlık Riskleri: Organik azot gübre görevi görerek tarımsal verimliliği artırsa da, atık suyun yanlış kullanımı topraklarda potansiyel olarak toksik elementlerin birikmesine yol açabilir. Ağır metaller ve organik kirleticiler de dahil olmak üzere bu toksik elementler, ürünlere geçerek insan besin zincirinde birikebilir ve gelişimsel ve üreme sorunları ile kanser gibi sağlık riskleri oluşturabilir (Khalid vd., 2018).

3) Mikrobiyal ve Kimyasal Kirlenme: Sulamada kullanılan atık su yalnızca bir besin kaynağı değil, aynı zamanda patojen ve kimyasal kirleticilerin de taşıyıcısıdır. E. coli, Legionella sp. ve diğerleri gibi patojenler, sulanan ürünlerin su, toprak ve fillosferinde varlığını sürdürerek insanlarda enfeksiyonlara yol açabilir. Ayrıca, kimyasal kirleticiler arasında pestisit, ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin kalıntıları da bulunabilir ve bunlar, kirlenmiş ürünler yoluyla insan vücuduna girdiklerinde hormonal fonksiyonları bozabilir ve antibiyotik direncine katkıda bulunabilir (Cui ve Liang, 2019; Pratap vd., 2021).

4) Patojenik Organizmalardan Kaynaklanan Riskler: Atık sudaki organik madde ve besin maddelerinin varlığı, patojenik organizmaların büyümesini ve hayatta kalmasını teşvik edebilir ve bu da tarım işçileri ve bu suyla sulanan ürünleri tüketen topluluklar için önemli enfeksiyon riskleri oluşturur. Raporlar, cilt ve gastrointestinal hastalıkların artan vakalarını atık su sulama uygulamalarıyla ilişkilendirmiştir (Adegoke vd., 2018).

Genel olarak, organik azot içeriği de dâhil olmak üzere atık su tarımsal ve ekonomik faydalar sağlasa da, sağlık risklerini azaltmak için kullanımı dikkatli bir şekilde yönetilmelidir. Kirleticileri gidermek için arıtma süreçlerinin uygulanması ve güvenli sulama uygulamalarına uyulması, insan sağlığına zararlı etkilerin önlenmesinde kritik öneme sahiptir (Chiou, 2007; Helmecke vd., 2020). Atık su sulamasının faydalarının halk sağlığı pahasına olmaması için kapsamlı izleme ve düzenleyici önlemlerin alınması ve uygulanması sağlanmalıdır.

2.3.4. Parazit ve Patojen Varlığı

Atıksularda parazitler ve patojenler bulunabilir. Bu organizmalar, insan sağlığı için risk oluşturabileceğinden, arıtma süreçlerinde etkili bir şekilde uzaklaştırılmaları gerekmektedir (Kajeiou vd., 2023). Atıksuların biyolojik özellikleri, suyun arıtılabilirliği ve çevresel etkileri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Mikrobiyal yük, BOİ, organik azot ve patojen varlığı, atık suyun genel biyolojik kalitesini belirler. Bu özelliklerin detaylı analizi, daha etkili arıtma yöntemlerinin geliştirilmesi ve halk sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Sulamada kullanılan atık sulardaki parazit ve patojenlerin varlığı, özellikle atık su kısmen arıtılmış veya arıtılmamışsa, insan popülasyonları için önemli sağlık riskleri oluşturur. Atık suyun sulamada kullanılmasıyla ilgili temel endişelerden biri, bakteri, virüs, parazit ve mantar gibi çok çeşitli patojenleri içerebilen mikrobiyal kontaminasyondur (Chen vd., 2024). Bu patojenler tıbbi atıklardan ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanabilir ve taze tüketilen ürünleri kirleterek gıda kaynaklı hastalıklara yol açtıklarında halk sağlığı için risk oluştururlar. Epidemiyolojik kanıtlar, tarımda kısmen arıtılmış veya arıtılmamış atık suyun yeniden kullanımının, maruz kalan tarım işçileri ve aileleri arasında ishal hastalıkları ve helmint enfeksiyonları olasılığını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir (Adegoke vd., 2018). Atık su ile sulama yoluyla

çevreye yayılan patojenler; mesleki maruziyet ve kirlenmiş ürünlerin yutulması neticesinde cilt ve bağırsak enfeksiyonlarına da yol açabilir. Gana, Kumasi gibi belirli bölgelerde, atık su ile sulamanın çiftçiler arasında topraktan bulaşan helmint enfeksiyonlarıyla güçlü bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Atık sudaki helmint varlığı, özellikle yağışlı mevsimde çiftçiler için yeniden enfeksiyon oranlarını artırmaktadır (Amoah vd., 2016). Bu nedenle, bu patojenlerin hem atık su hem de topraktaki konsantrasyonu, enfeksiyon riskine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, patojenler ve antibiyotik kalıntıları içerebilen hayvancılık atık suları, çevre kirliliğine ve antibiyotik direncinin yayılmasına sbp olarak ek sağlık riskleri oluşturmaktadır (Wu vd., 2024). Bu durum, bu riskleri azaltmak için etkili atık su arıtımı ve yönetimine olan ihtiyacın altını çizmektedir. Bu sağlık risklerini ele almak için, Dünya Sağlık Örgütü tarafından sağlananlar gibi yönergelere uyum ve Sanitasyon Güvenlik Planlarının uygulanması hayati önem taşımaktadır. Bu kılavuzlar, sulama kullanımından önce patojenleri ortadan kaldırmak ve böylece sağlık risklerini azaltmak için atık suyun kapsamlı bir şekilde arıtılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (Adegoke vd., 2018). Sonuç olarak, sulamada kullanılan atık sudaki parazit ve patojenlerin varlığının izlenmesi ve yönetimi, ürün tüketimi ve mesleki maruziyetle ilişkili sağlık risklerini azaltmak için hayati önem taşımaktadır. Atık su arıtma uygulamalarının iyileştirilmesi ve güvenlik yönergelerine sıkı sıkıya uyulması, atık su ile sulamaya maruz kalan tarım topluluklarında halk sağlığını korumak için temel önlemlerin başında gelmektedir.

3. ATIK SULARIN SAĞLIK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sulamada kullanılan atık sudaki toksik kimyasalların sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek zordur çünkü kimyasallara ve kimyasal karışımlara kronik maruz kalmanın uzun latent dönemli hastalıklarla doğrudan ilişkilendirilmesi uzun süreli ve detay çalışmalar gerektirmektedir. Ancak, endüstriyel atık suların sulama için kullanıldığı bazı ülkelerde hem organik kimyasallardan hem de ağır metallerden kaynaklanan sağlık etkileri gözlemlenmiştir (Yuan, 1993; Chen, 1992; WHO, 1992). Birçok ülkede, endüstriyel atık sular genellikle sulama için kullanılan belediye atık sularıyla

karıştırılır. Endüstriyel atıklar, bitkiler tarafından alınabilen toksik organik ve inorganik kimyasallar içerebilir. Atık su ve çamurda bulunan kimyasallarla ilişkili sağlık risklerine, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme arttıkça daha fazla dikkat edilmesi gerekebilir. Toksik maddelerden kaynaklanan olumsuz sağlık ve çevresel etkileri en aza indirmek için, endüstriyel atıklar bu kimyasalları gidermek için yeterli ön işleme tabi tutulmalı veya belediye atık sularından ayrı olarak işlenmelidir (WHO, 2024). WHO şu anda atık suda bulunabilecek zararlı kimyasalların miktarlarını sınırlayan bir standart geliştirilmiştir. Birçok durumda, atık suyun sulama için güvenilirliğinin su içinde mevcut olduğundan şüphelenilen kimyasalların türüne bağlı olarak, vaka bazında belirlenmesi gerekmektedir. Atık suyun kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilerek sulamada kullanılması sağlık risklerini azaltmanın bir yolu olarak düşünülmelidir (Carr vd., 2004). Literatürde, bu riskleri etkili bir şekilde değerlendirmek için çeşitli temel faktörler ve yöntemler tanımlanmıştır.

Kimyasal Kirleticiler ve Sağlık Riskleri: Atık sular genellikle ağır metaller ve organik mikro kirleticiler de dahil olmak üzere çeşitli kimyasal maddeler içerir ve bunlar sulamada kullanıldığında önemli sağlık riskleri oluşturabilir. Bu kimyasallar toprakta ve bitkilerde birikerek besin zincirine girebilir ve potansiyel olarak insan sağlığını etkileyebilir. Örneğin, arsenik, mahsullerde birikme potansiyeli nedeniyle özellikle endişe vericidir (Chiou, 2007). Bu kimyasal kirleticilerin izlenmesi ve kontrolü, sağlık risklerini en aza indirmek için çok önemlidir (Yahaya vd., 2023).

Fizikokimyasal Analiz: Atık suyun kapsamlı analizleri, pH, toplam çözünmüş katılar (TDS), toplam askıda katılar (TSS), kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve besin maddeleri ile ağır metal konsantrasyonları gibi parametrelerin ölçülmesini içerir (El-Feky vd., 2024). Bu faktörler, sulamada kullanılan atık suyun çevre ve sağlık üzerindeki etkilerini belirleyici niteliktedirler.

Patojen İzleme: Kimyasal özelliklerin yanı sıra, atık sudaki patojenlerin varlığını ve miktarını anlamak da çok önemlidir. Bu izleme, atık sudan ürünlere geçebilecek patojenleri ve insanlar için potansiyel sağlık risklerini izlemek için mikrobiyolojik değerlendirmeleri içerir (Cui ve Liang, 2019).

Risk Değerlendirme Modelleri: Kimyasal kirleticilerin topraktan bitkilere aktarım durumunu tahmin etmek ve kronik maruziyetin potansiyel sağlık etkilerini belirleyebilmek için farklı modellerin kullanılması önemlidir.

Bu modeller, atık suyun güvenli bir şekilde yeniden kullanımı için kılavuz ve düzenlemelerin oluşturulmasına yardımcı olur.

Kalite Standartları ve Kılavuzları: Avrupa Birliği tarafından standart kabul edilen düzenlemeler ve kılavuzlar, atık suyun sulama için güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamada kritik bir rol oynar. Sıkı kalite kontrolleri iyi tarım uygulamalarını teşvik ederek kimyasal riskleri en aza indirmeye odaklanmaktadır (Denora vd., 2024). Bu hususlar kapsamlı bir değerlendirme ve izleme yoluyla ele alınarak, atık suyun sulama için kullanımıyla ilişkili sağlık riskleri azaltılabilir ve nihayetinde sürdürülebilir tarım uygulamaları desteklenebilir.

Atık suların sulama amaçlı kullanımı, toprak ve tarım ürünlerinin ağır metallerle kirlenmesine ve önemli halk sağlığı risklerine yol açmaktadır. Bu konuyu inceleyen çeşitli çalışmalar, ağır metallerin hem çevre hem de insan sağlığı üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır.

Çin'in Tianjin kentinde, kanalizasyon sularının sürekli kullanımı, toprakta çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin birikmesine neden olmuştur. Bu koşullarda yetiştirilen buğdayda, özellikle kadmiyum ve krom olmak üzere bazı metallerin güvenli sınırları aştığı gözlemlenmiştir. Hedeflenen tehlike katsayısına göre tek tek metaller önemli riskler oluşturmasa da, birleşik etki özellikle çocuklar için endişe verici sağlık riskleri taşımaktadır (Zeng vd., 2015).

Kore'de yapılan bir çalışmada, evsel atık suyun toprak ve sebzeler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma süresince topraktaki bazı metallerin konsantrasyonları azalırken, çinko seviyeleri artmıştır. Bununla birlikte, sebzelerdeki ağır metal konsantrasyonları, tehlike katsayısı değerlendirmelerine göre tüketim için güvenli kabul edilmiştir (Kim vd., 2014).

Küresel çapta, atık suyun sulamada kullanılmasından kaynaklanan ağır metal kontaminasyonu, Pb, As, Cd, Hg, Cr ve Ni gibi metalleri besin zincirine sokma kapasitesi nedeniyle önemli bir endişe kaynağıdır. Bu metaller, nörolojik hasar, böbrek sorunları ve kanser dahil olmak üzere ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu metallerin kaynağı genellikle, arıtılmamış endüstriyel atıkların sulama için kullanımı da dahil olmak üzere insan faaliyetleridir (Hembrom vd., 2019; Singh vd., 2022).

Hindistan'da, kâğıt fabrikalarından gelen atık su ile sulama, çeltik yetiştiriciliği üzerindeki etkileri açısından incelenmiştir. Çalışma, özellikle

nehir suyu kullanıldığında önemli miktarda ağır metal birikiminin toprak özelliklerini etkilediğini ve pirinç tüketimi yoluyla potansiyel sağlık riskleri oluşturduğunu ortaya koymuştur (Al-Huqail vd., 2022). Gübrelerle birlikte arıtılmış atık su üzerine odaklanan bir başka çalışma, Cd, Cr ve Ni gibi metallerin toprakta birikmesinin arttığını ortaya koymuştur. Çalışma, nehir ve kuyu suyuna kıyasla toprağa ağır metal taşınması riskinin en düşük olduğu için arıtılmış atık su kullanılmasını önermiştir (Soleimani vd., 2023). Kenya'da, kanalizasyon atığıyla sulanan sebzelerde, Dünya Sağlık Örgütü standartları sınırlarını aşan yüksek seviyelerde ağır metal bulunmuştur. Bu tür suyun uzun süreli kullanımı, toprakta önemli miktarda metal birikmesine yol açarak sebze tüketimi yoluyla insan sağlığı riskini artırabilir (Sayo vd., 2020). Mevcut kanıtlar, atık su sulamasından kaynaklanan ağır metal kirliliğiyle ilişkili riskleri azaltmak için sürekli izleme ve kirlilik kontrolünün önemini vurgulamaktadır. Daha sıkı düzenlemeler oluşturmak ve alternatif su kaynaklarını araştırmak, halk sağlığını korumak için önemli adımlardır.

3.2. Biyolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sulamada kullanılacak atık suyun biyolojik özelliklerinin bilinmesi, oluşturacağı sağlık risklerini anlamak açısından çok önemlidir. Atık su genellikle mikrobiyal patojenler, ağır metaller ve organik kimyasallar dahil olmak üzere çeşitli kirleticiler içerir ve bunlar tarımsal amaçlarla arıtılmadan veya kısmen arıtılarak kullanıldığında önemli sağlık riskleri oluşturabilir. Genel olarak, atık suyun biyolojik, kimyasal ve mikrobiyal özelliklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, atık suyun sulamada güvenli kullanımını sağlamak ve halk sağlığını korumak için hayati önem taşımaktadır. Bu, potansiyel sağlık risklerini azaltmak için sürekli izleme, etkili arıtma süreçleri ve düzenleyici standartlara uyumu içerir (Cui ve Liang, 2019; Sarwar vd., 2019; Gatica ve Cytryn, 2013; Khalid vd., 2018; Ghonimy vd., 2025; Haldar vd., 2022).

Tarımsal faaliyetlerde atık su kullanımına yönelik gerçekçi kılavuzlar oluşturulurken, öncelikle sağlık temelli hedefler belirlenmelidir. Bu hedefler belirlenirken, atık su kullanımının beraberinde getirdiği riskler ve bu risklerin detaylı değerlendirmesi de yapılmalıdır. Bu süreçte, su, gıda ve sanitasyona bağlı maruziyetlerden kaynaklanan risklerin, toplumda neden olacağı gerçek hastalık oranları kapsamlı bir şekilde ele alınmalıdır. Kirlenmiş suların

değerlendirilmesi yapılırken, her bölgenin kendine özgü sağlık hedefleri de dikkate alınmalıdır. Atık suların yeniden kullanımının, gıda güvenliğini artırma, beslenme kalitesini iyileştirme ve hanelere ek gelir sağlama gibi olumlu yönleri de değerlendirmeye katılmalıdır. Ancak, özellikle evsel kullanım sonucu oluşan kirlenmiş suların yeniden kullanımında en kritik nokta hijyen riskidir. Bu risk, insan sağlığını doğrudan etkilemekte ve toplum sağlığını tehdit eden başlıca faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Kirlenmiş suların sağlık açısından oluşturduğu riskler Tablo 1'de özetlenmiştir (Carr vd., 2004).

Mikrobiyolojik değerlendirmeler için gerekli olan rehber kriterleri Tablo 2'de detaylı olarak verilmiştir. Bu değerlendirmelerde, suyun kullanımının tüm aşamalarında (kullanım öncesi, kullanım sırası ve kullanım sonrası) gerekli koşulların titizlikle takip edilmesi çok önemlidir. Özellikle evsel atık sular ve tarımsal faaliyetler sonucu oluşan kirlenmiş sular, yüksek miktarda hastalık yapıcı mikroorganizma (patojen) içermektedir. Kirlenmiş suların değerlendirilmesinde bir diğer önemli nokta, suların iyon kompozisyonunun dikkatli bir şekilde analiz edilmesidir. Bu analizlerin temel amacı, söz konusu elementlerin toprakta ve bitki dokularında aşırı birikmesini önlemektir. Çünkü bazı elementler, toprakta bağlandığında veya bitkiler tarafından absorbe edildiğinde çeşitli etkileşimlere neden olabilmektedir. Bu etkileşimler bilimsel literatürde iki temel başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

Tablo 1 Sulamada atık su kullanımına bağlı sağlık risklerinin özeti

Maruz kalan grup	Sağlık tehditleri	Bakteriler/virüsler	Protozoa
Tüketiciler	Nematod enfeksiyonu Arıtılmamış atık su ile hem yetişkinler hem de çocuklar için Ascaris enfeksiyonu riski önemlidir; atık su < 1 nematod yumurtası/litre olacak şekilde arıtıldığında yumurtaların hayatta kalmasını destekleyen koşullar haricinde aşırı	Arıtılmamış atık su kullanımından kaynaklanan kolera, tifo ve şigeloz salgınları rapor edilmiştir. Arıtılmamış atıksuda Helicobacter pylori için sero-pozitif yanıtlar bulunmaktadır. Su kalitesi 104FC/100ml'yi aştığında spesifik olmayan ishalde artış	Atık su ile sulanan sebze yüzeylerinde parazitik protozoa kanıtı bulunmakta ancak hastalık bulaşmasına dair doğrudan bir kanıt yoktur.

	risk yoktur.	bildirilmektedir.	
Çiftlik Çalışanları ve Aileleri	Arıtılmamış atık suyla temas eden yetişkinler ve çocuklar için Ascaris enfeksiyonu riski önemlidir; atık su < 1 nematod yumurtası/litre olacak şekilde arıtıldığında riskler özellikle çocuklar için devam eder; işçilerde kancalı kurt enfeksiyonu riski artar.	Su kalitesinin 10^4 FC/100 ml'yi aşması durumunda atık su teması olan küçük çocuklarda ishal hastalığı riskinin artması, Arıtılmamış atık suya maruz kalan çocuklarda Salmonella enfeksiyonu riskinin artması Kısmen arıtılmış atık suya maruz kalan yetişkinlerde Norovirüse karşı seroresan yanıtın artması	Giardia intestinalis enfeksiyonu riski hem arıtılmamış hem de arıtılmış atık su ile temas için önemsizdi. Arıtılmamış atık su ile temasta amip riskinin arttığı gözlemlenmektedir.
Temastaki topluluklar	Ascaris bulaşması yağmurlama sulama için incelenmemiştir ancak yoğun temaslı salma veya karık sulama için yukarıdakiyle aynıdır.	Düşük su kalitesine sahip 10^{6-8} TC/100 ml'lik yağmurlama sulama ve yüksek aerosol maruziyeti, enfeksiyon oranlarını artırmaktadır. Kısmen arıtılmış suyun kullanıldığı (10^{4-5} FC/100 ml veya daha az olduğu koşulda) yağmurlama sulama ile enfeksiyon oranları ilişkili değildir	Atık su ile yağmurlama sulama sırasında protozoan enfeksiyonlarının bulaşmasına ilişkin veri bulunmamaktadır.

Kaynak: Blumenthal ve Peasey (2002); Blumenthal vd., (2000a); Armon vd., (2002); Carr vd., 2004

Tablo 2 Tarımda arıtılmış atık su kullanımına ilişkin önerilen mikrobiyolojik yönergeler *a

Kategori	Yeniden kullanım koşullar	Maruz grup	Sulama teknik	Bağırsak nematodlar b (litre başına yumurta sayısının aritmetik ortalaması c)	Fekal koliformlar (100 ml'deki geometrik ortalaması d)	Atık su arıtımında ulaşılmak istenen mikrobiyolojik kalite
A	Sınırsız Sulama Çiğ (pişirmeden) yenen sebze ve salata bitkileri, spor alanlar, halka açık parklar e	İşçiler, tüketiciler, halk	Herhangi	$\leq 0,1 [\leq 1]$ f	$\leq 10^3$	İyi tasarlanmış atık stabilizasyon havuzları (WSP), arıdışık parti beslemeli atık su depolama ve arıtma rezervuarları (WSTR) veya eşdeğer arıtma (örneğin parlatma havuzları veya filtrasyon ve dezenfeksiyonla desteklenen geleneksel ikincil arıtma) serisi
	Sınırlı Sulama Tahıllar ve endüstri bitkileri, yem bitkileri, mera ve ağaçlar g	B1) İşçiler (ancak 15 yaş altı çocuklar hariç) ve temastaki insanlar B2) B1'deki gibi B3) 15 yaş üstü çocuklar da dahil olmak	(a) Sisleme / yağmurlama (b) Salma/karık	≤ 1	$\leq 10^5$ [standart sayı]	Bir olgunlaşma havuzunu veya arıdışık arıtma rezervuarları veya eşdeğer işlemi (örneğin, parlatma havuzları veya filtrasyonla desteklenen geleneksel ikincil işlem) içeren atık stabilizasyon havuzları serisinde tutma
B			Herhangi	1	$\leq 10^3$ [standart sayı]	A kategorisindeki gibi
			Herhangi	$0.1 [\leq 1]$	$\leq 10^3$ [standart sayı]	A kategorisindeki gibi

i) Sinerjik Etki (elementlerin birbirinin etkisini artırması)

ii) Antagonistik Etkidir (elementlerin birbirinin etkisini azaltması veya engellemesi).

Bu nedenle, ister arıtma işleminden geçmiş olsun, ister ham halde kullanılsın, sulama amaçlı kullanılacak kirlenmiş suların değerlendirilmesinde bu sinerjik ve antagonistik etkilerin detaylı analizi yapılmalı ve buna göre gerekli önlemler alınmalıdır (Carr vd., 2004).

Atık su, hastalığa neden olma ve insan sağlığını etkileme potansiyeline sahip virüsler, bakteriler ve parazitler gibi patojenik mikroorganizmalar içerir. Protozoa ve helmint yumurtaları en fazla hastalık yapıcı etmenlerin başında gelmekte olup arıtma süreçleriyle uzaklaştırılması en zor olanlardır. Gelişmekte olan ve hatta gelişmiş ülkelerde sıklıkla bir dizi bulaşıcı ve gastrontal hastalığa bu patojenler neden olurlar (Shuval vd., 1997, Shuval, 2000). Ham atık suyun bitkisel üretim için kullanılması dışında, Kuzey Amerika veya Avustralya'da geri kazanılmış atık su kullanımından kaynaklanan bulaşıcı hastalık vakaları belgelenmemiştir (Weber vd., 2006) ancak Orta Doğu ve Meksika'da atık suyun yeniden kullanımının halk sağlığı üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar (Toze, 2006) karışık kanıtlar sunmaktadır. Arıtılmamış atık su ile sulama, çocuklar ve yaşlılar için daha büyük bir risk oluşturmaktadır (Alberini vd., 1996). Örneğin, arıtılmamış atık su ile sulama, askaryazis [solucanlar] (Cifuentes vd., 2000) ve çocuklarda kancalı kurt enfeksiyonlarının (USEPA, 1998) daha fazla olmasına neden olabilmektedir. İçme suyu kaynaklarında fekal koliformlar nedeniyle kirlenmesi durumunda başta bebekler olmak üzere tüm aile-toplum bireylerinde hastalığa neden olabilir. Bu tür kirlenmelerde bağırsak mikrobiyomu bozulabilmekte, kronik hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (VanDerslice ve Briscoe, 1993). Su kaynaklarının kirlenmesine neden olan fekal koliformlardaki eşdeğer bir artış, evdeki içme suyu deposunun kirlenmesinden daha fazla bebeklerde ishal riski oluşturmaktadır (VanDerslice ve Briscoe, 1993).

Halk sağlığına yönelik riskler, özellikle arıtılmamış atık su ile yetiştirilen ve çiğ tüketilen ürünler konusunda tüketicilerin olumsuz tutum ve kararlarını şekillendirmektedir. Kuş gribi, deli dana hastalığı, SARS, kolera ve ishal gibi salgın hastalıklardan kaynaklanan endişeler, atık su ile sulanan ürünlerin tüketimiyle ilgili riskleri daha da artırmaktadır. Ayrıca, yeni atık su düzenlemeleri, ürünlerin pazarlanması sürecindeki zorluklar, pazarlara

erişimdeki kısıtlamalar ve ürünlerin değer kaybı gibi faktörler de ek risk unsurları olarak ortaya çıkmaktadır. Gelecekte, ürün güvenliğini sağlama ve tüketici sağlığını korumaya yönelik kamu politikalarının daha belirgin bir rol oynaması beklenmektedir. Ancak bu politikaların mevcut su politikaları ve temel su programlarıyla bütünleştirilmesi sürecinde önemli zorlukların yaşanacağı öngörülmektedir (Hanjra vd., 2012). Bu durum, atık su yönetiminde sürdürülebilir ve kapsamlı çözümlerin geliştirilmesinin ne kadar önemli olduğunu ve geleceğin de buna bağlı olarak şekilleneceğinin en önemli göstergelerinden olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Atık Su Kullanımında Dikkat Edilecekler

4.1. İnsan Sağlığı Riskleri

Halk sağlığını en etkili şekilde korumak için, hastalık yapıcı mikroorganizmaların (patojenlerin) çevreden (atık su, bitki, toprak vb.) insanlara geçişini engelleyen "çoklu engel" yaklaşımı kullanılmalıdır. Tarlalarda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmalar, uygun sağlık koruma önlemleri alındığında her zaman sağlık riski oluşturmaz. Bu önlemler iki şekilde etkili olabilir: ya mikroorganizmaların tarım işçilerine veya bitkilere ulaşmasını engeller, ya da pamuk gibi uygun bitkilerin seçilmesiyle hastalık yapıcıların tüketicileri etkilemesinin önüne geçilir (Mara ve Cairncross, 1989). Halk sağlığını korumak için alınabilecek önlemler beş temel başlık altında toplanabilir:

- i. Atık suların arıtılması,
- ii. Yetiştirilecek bitkilerin sınırlandırılması,
- iii. Doğru sulama tekniklerinin kullanılması
- iv. İnsanların zararlı maddelere maruz kalmasının kontrolü
- v. Temas eden topluluklarda düzenli aşılama ve paraziter enfeksiyonlara (özellikle helmint/solucan enfeksiyonlarına) karşı ilaç tedavisi

Genellikle bu yöntemlerin birkaçının bir arada kullanılması gerekir. Bazı durumlarda, örneğin yetiştirilecek ürünlerin sınırlandırılması gibi diğer önlemlerle birlikte uygulandığında, daha basit standartlarda bir arıtma yeterli olabilir. Ancak tarım işçilerinin sağlığını korumak için ek güvenlik önlemlerinin alınması gerekebilir (Carr vd., 2004). Atık suyun sulama amacıyla kullanımı, riskleri en aza indirmek için dikkatlice yönetilmesi gereken çeşitli

insan sağlığı sorunlarına yol açar. Temel bazı hususlar ve ilişkili sağlık riskleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- i. Atık su patojenler nedeniyle ürünlerde mikrobiyal kirliliğe neden olur. Buda tüketiciler arasında gıda kaynaklı hastalıklara yol açabilir. Yapılan araştırmalar, arıtılmamış veya kısmen arıtılmış atık suyla sulanan mahsullere maruz kalan tarım işçileri ve tüketiciler arasında ishal hastalıkları ve helmint enfeksiyonları bildirmiştir (Adegoke vd., 2018; Dickin vd., 2016).
- ii. Atık suyun sulama amacıyla tekrar tekrar kullanılması, nikel, krom, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin toprakta ve ardından gıda ürünlerinde birikmesine neden olabilir. Bu metallerin toksik yapısı nedeniyle bu ürünlerin tüketilmesi, kanserojen riskler de dahil olmak üzere uzun vadeli olumsuz etkilere yol açabilen potansiyel sağlık riskleri taşır (Othman vd., 2021; Gatta vd., 2018). Arıtılmış atık su, ağır metaller için standart limitleri karşılarsa da, uzun süreli kullanım yine de kontaminasyona yol açabilir.
- iii. Atık su arıtma tesislerinden çıkan atık sular genellikle ilaçlar ve antibiyotikler de dahil olmak üzere çeşitli organik kimyasallar içerir ve bu kimyasallar arıtma sırasında tamamen uzaklaştırılamayabilir. Bu kimyasallar, bitkilerin yenilebilir kısımlarında birikerek besin zincirine karışırsa sağlık risklerine yol açabilir (Helmecke vd., 2020; Carter vd., 2019). Özellikle atık sudan kaynaklı antibiyotik direnci oluşması hem halk sağlığı hem de atık su mikroorganizmaları açısından önemli bir durumdur.
- iv. Atık su ile uzun süreli sulama, toprağın fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilir; tuzluluk seviyelerini artırarak toprak verimliliğini ve ürün verimliliğini azaltabilir. Bu durum, tarımsal verimin azalması yoluyla gıda güvenliği ve beslenmeyi etkileyerek insan sağlığını dolaylı olarak etkileyebilir (Pratap vd., 2021).
- v. Atık suyla doğrudan temas eden tarım işçileri ve sulanan tarlaların yakınında yaşayan kişiler, kirleticilere maruz kalmaları nedeniyle daha yüksek sağlık riskleri yaşayabilirler. Bu riskleri azaltmak için koruyucu önlemler ve atık suyun güvenli bir şekilde yeniden kullanımına ilişkin yönergeler uyması şarttır (Adegoke vd., 2018; Dickin vd., 2016).

- vi. Atık suyun sulamada güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için Dünya Sağlık Örgütü yönergelerindeki gibi mevcut yönergeler ve sıkı kalite standartları gereklidir. Uygun atık su arıtma süreçlerinin ve iyi tarım uygulamalarının yapılması, sağlık risklerini en aza indirmede çok önemlidir (Ungureanu vd., 2020).

Özetle, atık su ile sulama, su tasarrufu ve bitkiler için besin temini açısından önemli faydalar sağlayabilse de insan sağlığına ilişkin riskleri azaltmak için dikkatli yönetim ve güvenlik yönergelerinin oluşturulup uygulanması ve takip edilmesi hayati bir zorunluluktur.

4.2. Bitki Seçimi

Atık suyun, sulama amaçlı kullanımı, ağır metaller, patojenler ve yüksek tuzluluk seviyeleri gibi sudaki potansiyel kirleticilere karşı farklı bitkilerin duyarlılığına bağlı olarak bazı kısıtlamalar getirebilir. Genellikle, belirli meyve ve sebzeler gibi doğrudan insan tüketimine yönelik ürünlere, kirleticileri insanlara bulaştırma potansiyeli daha yüksek olduğu için kısıtlamalar uygulanır. Bazı çalışmalarda, marul (*Lactuca sativa* L.) gibi ürünler, arıtılmış atık su sulama koşulları altında değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar, besin içeriği (örneğin azot, fosfor) artabilse de, toprakta ve bitki dokularında kurşun ve alüminyum gibi ağır metallerin yanı sıra patojen mikroorganizmaların istenmeyen bir şekilde birikebileceğini ve bunun sağlık riskleri oluşturabileceğini ortaya koymaktadır (Mañas vd., 2009). Ayrıca, arıtılmış atık suda yüksek sodyum içeriğinin bulunması, tuza duyarlı bitkiler için bir endişe kaynağıdır. Örneğin çim bitkisi sulamasında kullanılan sulama suyunun sodyum oranının fazla olması durumunda bitki gelişimi yavaşlar ve zamanla tamamen durup bitki ölebilir. Aynı zamanda kök bölgesi toprakları da bundan olumsuz etkilenir. Arıtılmış atık suyun bitkiler için uygunluğu ve uygulanabilirliği belirlenirken, toprak ve bitki sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirilmeli ve sonrasında insan sağlığı riskleri de ayrıntılı şekilde değerlendirilmelidir. Toprağa yakın (marul, maydanoz, lahanası, ıspanak vb.) veya içinde büyüyen (havuç, turp, pancar, kişniş, fasulye ve şalgam gibi) ve de çiğ olarak yenebilen bitkiler yüksek kontaminasyon riskleri nedeniyle atık su kullanılarak üretimi kısıtlanmış bitkiler olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan toprakla temas eden meyvelere sahip ve özellikle yağmurlama sulama yapıldığı koşullarda çilek, domates ve diğer meyve türleri de bu kısıtlamaya tabidir (WHO, 1989; Pescod, 1992; WHO, 2006; Oron vd., 2023). Buna karşılık,

tahıllar (buğday, arpa, yulaf, çavdar gibi), endüstri bitkileri (ayçiçeği, mısır, soya fasulyesi, kenevir, kolza gibi), yem bitkileri (yonca, silajlık mısır, fiğ, korunga, sorgum, sudan otu, buğdaygil çayır bitkileri, çayır üçgülü gibi) ve bazı meyve ağaç türlerine (zeytin, nar, incir, hurma, turunçgiller, üzüm, badem, elma, armut gibi) genellikle kısıtlı koşullar altında izin verilirken, yağmurlama sulamanın kullanıldığı durumlarda bazı meyve türleri için hasattan önce sulamanın durdurulması gibi ek önlemler de uygulanabilir. Kısıtlamalar halk sağlığının korunmasına yönelik stratejilerin bir parçası olup yerel düzenlemelere göre değişiklik gösterebilir. Ancak atık su arıtımının sınırlı olduğu bölgelerde hastalık bulaşmasını önlemeye yönelik tedbirlere öncelik verilmelidir (WHO, 2006).

Sulamada düşük kaliteli suların kullanıldığı veya atık suyun dolaylı olarak, yani kirli yüzey suları yoluyla kullanıldığı durumlarda ürün kısıtlaması, tarım işçilerine ve ailelerine koruma sağlamaz (Blumenthal vd., 2000b). Bu nedenle ürün kısıtlaması tek başına yeterli bir kontrol önlemi değildir, ancak entegre bir kontrol sisteminin parçası olarak düşünülmelidir. Hem işçiler hem de tüketiciler için koruma sağlamak amacıyla, kısmi atık arıtımı, atıkların kontrollü uygulanması veya insan maruziyetinin kontrolü gibi diğer önlemlerle tamamlanmalıdır. Mahsul kısıtlaması uygulanabilir ve aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli durumlarda kolaylaştırılır (Mara ve Cairncross, 1989; Carr vd., 2004):

- i. Yasalara uyan bir toplum veya güçlü bir kontrol mekanizması (kolluk kuvvetleri dahil) olması
- ii. Bir kamu kurumunun atıksulardaki kirliliği ve dağılımını kontrol ettiği ve de bitki kısıtlamalarına uyulmasını zorunlu kılma yetkisine sahip olduğu durumlarda
- iii. Bir sulama projesinin güçlü bir merkezi yönetime sahip olduğu durumlarda
- iv. Bitki kısıtlaması kapsamında izin verilen bitkilere yeterli talebin olması ve makul bir fiyattan satılması durumlarda
- v. Hariç tutulan bitkilerin lehine piyasa baskısının az olduğu durumlarda

Bitki kısıtlaması Meksika, Peru ve Şili'de etkili bir şekilde kullanılmıştır (Blumenthal vd., 2000b). Şili'de genel bir hijyen eğitim programıyla birlikte uygulandığında, bitki kısıtlamasının kullanımı çiğ sebze tüketiminden kaynaklanan kolera bulaşmasını %90 oranında azaltmıştır (Monreal, 1993).

Atık su sulamasında bir strateji olarak ürün kısıtlaması üzerine yapılan çalışmalar, öncelikle tarımsal verimlilik ve ekonomik sürdürülebilirlik arasında denge kurarken patojenlerden ve kirleticilerden kaynaklanan sağlık risklerini azaltmadaki rolüne odaklanmıştır. WHO ve FAO gibi kuruluşların ilk kılavuzları, özellikle atık su arıtımının sınırlı olduğu gelişmekte olan ülkelerde, bu yaklaşımı çoklu bariyer risk yönetiminin bir parçası olarak vurgulamaktadır (Pescod, 1992; Jiménez, 2006). Araştırmalar, ürün kısıtlamasının helmintler ve bakteriler gibi patojen bulaşmasını etkili bir şekilde azaltabileceğini, ancak başarısının uygulamaya, yerel düzenlemelere ve çiftçilerin uyumuna bağlı olduğunu göstermiştir (Qadir vd., 2010). Çeşitli ortamlarda yapılan epidemiyolojik çalışmalar, sebzeler gibi yüksek riskli ürünlere kısıtlamalar uygulandığında enfeksiyon oranlarının azaldığını göstermektedir. Örneğin Meksika, Peru ve Şili'de bitki kısıtlaması etkili bir şekilde kullanılmıştır (Blumenthal vd., 2000b). Şili'de genel bir hijyen eğitim programıyla birlikte uygulandığında, bitki kısıtlamasının kullanımı çiğ sebze tüketiminden kaynaklanan kolera bulaşmasını %90 oranında azaltmıştır (Monreal, 1993). Ancak zorluklar arasında, üretilen ürünlere bağlı olarak çiftçi gelirindeki kayıplar ve zayıf kurumsal çerçeve ve uygulamalar nedeniyle tutarsız sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Uzun vadeli saha denemeleri, izin verilen ürünlerde toprak verimliliğinin ve bitki veriminin artması gibi faydaların yanı sıra, izlemenin yetersiz olması durumunda toprağın tuzlanması ve ağır metal birikimi riskleri de sıklıkla rapor edilmiştir. Genel olarak, çalışmaların sürdürülebilirliği sağlamak için ürün kısıtlamasının yanında ihtiyaç duyulan alanlarda arıtmanın artırılmasına, izleme ve değerlendirme faaliyetlerinin (hem halk sağlığı hem de bitki ve toprak için) yapılmasına, planlamaların güncellenmesine ve tüm bu faaliyetleri birleştiren entegre yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Aşağıda bazı ülkelerde yetiştirilecek ürün kısıtlamaları ve bunların sonuçlarına ilişkin bazı bilgiler verilmektedir.

Meksika: 20. yüzyılın başlarından beri 03 No'lu Sulama Bölgesi'nde (Mezquital Vadisi) ürün kısıtlaması uygulanmakta ve sağlık risklerini en aza indirmek için marul ve havuç gibi çiğ tüketilen sebzeler yasaklanırken, atık su ile sulama; tahıllar, endüstriyel ürünler, yem ve ağaçlarla sınırlandırılmaktadır. Yetkililer, uyumsuzluk nedeniyle atık suları alıkoyarak ve dağıtım kontrolü için yasal mekanizmalarla destekleyerek bunu uygularlar (Pescod, 1992). Sağlık

etkilerini değerlendiren çalışmalar, atık su ile sulanan topluluklarla kontrol topluluklarındaki gastrointestinal ve parazit enfeksiyonlarını karşılaştırmış ve tüketicilerde çoğu patojen için önemli bir fazlalık olmadığını, ancak işçiler arasında yetersiz sanitasyon nedeniyle *Giardia lamblia* ve *Ascaris lumbricoides* oranlarının daha yüksek olduğunu tespit etmiştir (Pescod, 1992). Sonuçlar, organik maddelerden kaynaklanan ürün veriminin ve toprak verimliliğinin artmasını içermekte olup, önemli bir tüketici sağlığı salgını yaşanmamıştır. Ancak işçi riskleri daha iyi hijyen ihtiyacını vurgulamaktadır; uygulamanın Şili gibi benzer bölgelere göre daha etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Tunus: Ulusal Su Yasası kapsamında ürün kısıtlaması uygulayarak, çiğ veya pişmiş olarak tüketilen sebzeler için atık su sulamasını yasaklarken, tahıllar, yem bitkileri, narenciye, zeytin ağaçları ve pamuk gibi endüstriyel ürünler için izin vermiştir. Bölgesel tarım departmanları, 1988 itibarıyla yaklaşık 1.750 hektarlık bir alanda ilkbahar ve yaz mevsimlerine odaklanan mevsimsel kullanımla uyumu denetlerken, planlanan alan 6.700 hektara çıkarılmıştır (Pescod, 1992). UNDP desteğiyle bakanlıklar tarafından 1981-1987 yılları arasında yürütülen saha denemeleri, La Soukra gibi alanlarda verimliliği ve hijyenik kaliteyi değerlendirmiş ve arıtılmış atık suyuna kıyasla daha yüksek verim ve besin alımı (N, P, K, Fe, Zn, Cu) ve toprak elektriksel iletkenliğinde artış gösterdiği ancak kısa vadeli fitotoksisite olmadığını belirlemiştir (Pescod, 1992). Sonuçlar, yaz aylarında daha hızlı bakteri ölümü ve olumsuz yeraltı suyu etkileri olmamasıyla etkili bir risk azaltımına işaret etmektedir; ancak yerden toplanan turuncgillerde daha yüksek kontaminasyon görülmektedir. Bu strateji, bitkisel olmayan ürünler için su kaynaklarını artıran ulusal bir yeniden kullanım programına entegre edilmiştir.

Suriye: Hükümet yetkililerinin atık suyla sulanan sebzeleri söktüğü Halep bölgesinde, patojenlerden kaynaklanan sağlık risklerini azaltmak için ekim alanını alanın %7'sinden daha azıyla sınırlayarak ürün kısıtlaması uygulamaktadır. Bu, atık suyla sulanan bölgelerde ham olmayan ürünleri destekleyen daha geniş düzenlemelerin bir parçasıdır (Qadir vd., 2010). Küresel anketler ve yerel çalışmalar, sebzelere olan kentsel talep nedeniyle uygulama zorluklarını vurgulamaktadır ve değerlendirmeler, kârlı nakit ürünlere bağımlılığın uyumu zorlaştırdığını göstermektedir (Qadir vd., 2010). Sonuçlar, atık suyla sulamada sebze üretiminin azaldığını ve patojen maruziyetinin azaldığını, ancak ekonomik bağımlılıkların devam ettiğini göstermektedir ve

bu da geçim kaynaklarını sürdürmek için tarımsal ormancılık gibi alternatiflere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Sili: Santiago'daki tifo salgınlarıyla bağlantılı olarak marul gibi sebzelerin ham kanalizasyonla sulanmasını önlemek için ürün kısıtlaması uygulamaya çalışılmıştır, ancak su hakları yasalarının kontrolü çiftçilere vermesi ve uygulamayı sınırlaması nedeniyle uygulama başarısız olmuştur (Pescod, 1992). Epidemiyolojik çalışmalar, Meksika'daki daha başarılı uygulama ile tezat oluşturan, kısıtlamasız uygulamalardan kaynaklanan yıllık tifo salgınlarına dikkat çekmiştir (Pescod, 1992). Sonuçlar, halk sağlığı açısından önemli başarısızlıklar olduğunu göstermektedir ve devam eden salgınlar, etkili kısıtlamalar için güçlü yasal çerçevelerin önemini vurgulamaktadır.

Kuveyt: Arıtılmış atık su kullanımını güvenli ürünlerle sınırlandırarak, sosyal amaçlı kullanımları hariç tutarak ve çiğ sebzeler için yağmurlama sulama sistemlerini yasaklayarak, domates ve karpuz için ise damla sulamaya izin vererek ürün kısıtlaması uygulamaktadır; çitle çevrili alanlar ve kadmiyum izlemesi zorunludur (Pescod, 1992). 1970'lerde Omariyah çiftliğinde yapılan denemeler, arıtılmış atık su ile içme suyu verimlerini karşılaştırmış ve yonca, sebzeler ve meyve ağaçlarına odaklanmış, atık su, toprak ve ürünler için izleme yapmıştır (Pescod, 1992). Sonuçlar arasında yüksek verimler (yonca için 100 ton/ha/yıl, sebze/yem için 34.000 ton), 1976'dan beri bulaşıcı hastalık salgını olmaması ve pazar karışımı nedeniyle tüketici etki değerlendirmelerinin sınırlı olması nedeniyle önemli bir kadmiyum sorunu yaşanmaması yer almaktadır.

Ürdün: Arıtılmış atık suyun ham olmayan ürünler için kullanılmasına izin veren düzenlemelerle ürün kısıtlaması uygulamıştır. Bu düzenlemelerde, oluşan atık suyun %94'ü kullanılırken yalnızca %28'i arıtılmaktadır; kısıtlamalar, kontaminasyonu azaltmak için sebzelere odaklanmaktadır (Qadir vd., 2016). Al-Nakshabandi vd. (1997) gibi çalışmalar, meyve kabuklarında düşük koliform ve patlıcan veriminde artış tespit ederken, Rusan vd. (2007) tolerans seviyelerinin ötesinde tuz ve ağır metal birikimi olduğunu belirtmiştir (Qadir vd., 2016). Sonuçlar, izin verilen ürünlerde verim artışı olduğunu ancak birikim riskleri olduğunu göstermektedir ve bu da su kıtlığı çeken bölgelerde sağlık etkilerini azaltmak için kısıtlamayı desteklemektedir.

Pakistan: Pakistan'da, arıtılmamış atık su kullanımının yüksek olduğu (%99) bir ortamda ürün kısıtlaması uygulanmakta ve patojen ve ağır metal

risklerini ele almak için sulama, yenilebilir olmayan veya pişmiş ürünlerle sınırlandırılmaktadır (Qadir vd., 2016). Ensink vd. (2006) tarafından yapılan çalışmalar, Giardia enfeksiyonlarında artış tespit etmiş ve Khan vd. (2013), gıda ürünlerinde ağır metal birikiminin sağlık sorunlarına yol açtığını tespit etmiştir (Qadir vd., 2016). Sonuçlar, kısıtlama olmaksızın yüksek riskler olduğunu göstermektedir; strateji maruziyeti azaltmakla birlikte gayri resmi uygulamalar tarafından tehdit edilmektedir.

Gana: Kentsel alanlarda arıtılmamış atık su kullanarak ürün kısıtlaması uygulamakta ve düşük toprak güvenliği nedeniyle arıtma yatırımlarını sınırlandıran ham olmayan ürünlere öncelik vermektedir (Qadir vd., 2016). Keraita vd. (2007a, 2007b) tarafından yapılan çalışmalarda sulama yöntemleri ve kontaminasyon azaltımı değerlendirilmiş ve yağışlı mevsimlerde hasattan önce sulamanın durdurulmasının etkisiz olduğu bulunmuştur (Qadir vd., 2016). Sonuçlar, kısıtlama uygulanmayan sebzeler için yüksek kontaminasyon riskleri olduğunu ve kısıtlamanın tüketici korumasına yardımcı olduğunu ancak daha iyi bir uygulama gerektirdiğini göstermektedir.

Bangladeş: Toprak verimliliğini artırmak için atık su sulamasında ürün kısıtlaması uygulamakta ve doğrudan temaslı yenilebilir bitkilerden kaçınırken buğday gibi yüksek su verimliliğine sahip ürünlerle sınırlandırmaktadır (Qadir vd., 2016). Mojid vd. (2012) yüksek verimler elde etmiş ancak yenilebilir kısımlar için riskler tespit etmiştir (Qadir vd., 2016). Sonuçlar, su kıtlığı yaşanan ortamlarda kontaminasyonu azaltarak, yenilebilir olmayan ürünler için kısıtlama getirilmesini desteklemektedir.

Avustralya: Riskler yönetilmediği sürece domuz yemi için geri kazanılmış suyu yasaklamaktadır. Süt sığırları için kontaminasyonu önlemek amacıyla, mera ve yem kılavuzlarıyla uyumlu olarak, su kesintisi süreleri uygulamaktadır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Bevilacqua vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalar, hayvancılık risklerini WHO sınırları kapsamında değerlendirmiş ve süttten kaynaklanan herhangi bir enfeksiyon veya insan sağlığı sorunu tespit etmemiştir (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Sonuçlar, herhangi bir olumsuz etki olmaksızın etkili bir risk azaltımı olduğunu doğrulayarak, stratejinin güvenli yeniden kullanımdaki rolünü desteklemektedir.

İspanya: Meralar için litre başına 1 helmint yumurtası sınırı koymuş ve WHO ve ISO standartlarıyla uyumlu düzenlemeler kapsamında uyumlu

ürünlerle sınırlandırmıştır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Risk değerlendirmeleri patojen azaltımına odaklanmaktadır ve çalışmalar uyumun tolere edilebilir sağlık seviyelerine ulaştığını göstermektedir (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Sonuçlar, maruz kalma risklerinin azaltılmasını ve tarımsal ürünlerin güvenliğini artırılmasını içermektedir.

Fransa: Riskleri azaltmak için ürün kategorilerini kalite gereklilikleriyle ilişkilendirerek suyun yeniden kullanımı düzenlemelerinde ürün kısıtlaması uygulamaktadır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Risk değerlendirmeleri, patojen azaltımının etkili olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, güvenliğin arttığını ve ticaret engellerinin azaldığını göstermektedir.

Yunanistan: Geri kazanılmış su için ürün kısıtlaması uygulamakta ve ham ürünler için düşük kaliteli kullanımı yasaklamaktadır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Çalışmalar, uluslararası yönergelerle uyumlu olup, uyum sağlandığında düşük sağlık riskleri ortaya koymaktadır.

İtalya: Düzenlemeleri mikrobiyolojik izlemeye odaklanarak kalite sınıflarına göre ürün kısıtlaması içermektedir (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar, en aza indirilmiş çevresel etkiler ve güvenli sulama göstermektedir.

Portekiz: Geri kazanılmış su kalitesine göre ürün kısıtlaması uygulamakta ve gıda güvenliğini vurgulamaktadır (Alcalde-Sanz ve Gawlik, 2017). Çalışmalar, risklerin azaldığını ve sürdürülebilir uygulamaları desteklediğini doğrulamaktadır.

İsrail: Damla sulama kullanarak atık suyu sıra bitkilerine başarıyla uygulayarak yüksek riskli yenilebilir bitkilerden kaçınmıştır (Pescod, 1992). Çalışmalar, tuzlu suyla uyumlu verimler göstermektedir. Sonuçlar, kurak koşullarda etkili risk yönetimini de içermektedir.

Hindistan: Tamil Nadu kentinde, besin giderimi için makrofit arıtımında ürün kısıtlaması uygulanmakta ve güvenli ürünler için arıtılmış atık su ile sınırlandırılmaktadır (Pescod, 1992). Çalışmalar, %97 oranında amonyak giderimi bulmuştur. Sonuçlar, kısıtlı kullanımlarda kontaminasyonun azaldığını desteklemektedir.

4.3. Sulama Yönteminin Seçimi

Atık suların sulamada kullanımında doğru sulama yönteminin seçilmesi başta halk ve çevre sağlığı olmak üzere tarımsal verimlilik için çok önemlidir. Arıtılmış atık su ile sulama, su kıtlığıyla mücadelede değerli bir strateji olabilir,

ancak riskleri en aza indirmek ve faydaları en üst düzeye çıkarmak için dikkatli bir değerlendirme gerektirir. İlk olarak, sulama yönteminin seçimi, atık suyun güvenli ve etkili bir şekilde yeniden kullanılma derecesini etkiler. Sulama yöntemlerinin uygunluğu, arıtılmış atık suyun kalitesi, tuzluluğu ve ağır metaller ve patojenlerle olası kontaminasyonu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu kirleticiler sağlık riskleri oluşturur ve toprak özelliklerini ve ürün kalitesini etkileyebilir. Bu nedenle, su kullanım verimliliğini optimize ederken bu riskleri azaltmak için uygun sulama tekniklerinin seçilmesi önem arz etmektedir. İkinci olarak, sulama yöntemi, topraktaki potansiyel olarak toksik elementlerin ve besin maddelerinin birikimini ve dağılımını etkiler. Atık sular yüzey veya damla sulama yöntemiyle birlikte kullanıldığında, atık suyun bitkilerin yenilebilir kısımlarıyla doğrudan teması azaltıldığından patojen kontaminasyon riski azalır. Dahası, bu yöntemler doğru işletilmeleri durumunda besin ve tuz dağılımını kontrol etmeye, toprak bozulmasını önlemeye ve daha iyi ürün verimi sağlamaya yardımcı olabilir. Ayrıca, sulamada atık su kullanımından kaynaklı oluşan çevresel etkiler, yapılan yönetim uygulamaları ile doğrudan veya dolaylı olarak bağlantılıdır. Doğru yönetilen sulama sistemleri ile atık suyun içindeki çözünmüş bitki besin elementleri, bitkilerin kullanımına sunulurken toprak verimliliğine katkı sağlar ve bu da sentetik gübre ihtiyacının azalmasında önemli bir rol oynar. Ancak, uygun yönetim olmadan atık suyun uzun süreli kullanımı, toprak alkalizasyonu, tuzlanma ve ağır metal birikimi gibi ciddi toprak bozunumuna ve buna bağlı olarak da çevre sorunlarına yol açabilir. Sulama yöntemlerinin belirlenmesinde en önemli unsurların başında ekonomik koşullar gelir. Yerel koşullarla uyumlu, uygun maliyetli bir sulama yöntemi seçmek, özellikle sınırlı kaynaklara sahip bölgelerdeki çiftçiler için arıtılmış atık su kullanımını daha uygun hale getirebilir. Mevcut atık su kullanımını optimize eden ve mevcut altyapıyla iyi entegre olabilen yöntemler, uzun vadeli sürdürülebilirlik için hayati önem taşımaktadır.

Atık suların sulamada kullanılması durumunda sulama yönteminin seçimi çok önemlidir çünkü bu yöntem, patojen bulaşma derecesini, kirleticilere maruz kalmayı, insan sağlığı risklerini, çevresel etkileri, ürün verimliliğini ve özellikle tatlı su kaynaklarının korunması için atık suyun yeniden kullanımının giderek yaygınlaştığı su kıtlığı yaşayan bölgelerde tarımsal uygulamaların genel sürdürülebilirliğini doğrudan etkiler. Ancak, bu uygulamanın başarısı ve güvenliği büyük ölçüde kullanılan sulama yöntemine

bağlıdır. Sulamada atık suyun kullanıldığı koşullarda sulama yöntemi seçiminin önemi 4 temel sebeple açıklanabilir bunlar;

1) *Patojen Bulaşmasının ve Sağlık Risklerinin Azaltılması*: Atık su, arıtılmış olsa bile, çiftçiler, tüketiciler ve yakın çevrede yaşayanlar için ishal, helmint enfeksiyonları ve solunum yolu hastalıkları gibi hastalık riskleri oluşturan bakteriler (örneğin E. coli, Salmonella), virüsler ve helmintler (örneğin Ascaris yumurtaları) gibi patojenler içerebilir. Sulama yöntemi, maruz kalma yolunu belirler. Örneğin, yağmurlama sulama, inhalasyon veya rüzgarla yayılma yoluyla patojenleri yayabilen aerosoller üretir ve bu da çalışanlar ve sakinler için enfeksiyon riskini artırır; çalışmalar, maruz kalan popülasyonlarda ishalleri hastalıklar ve helmint enfeksiyonları için yüksek olasılık oranları olduğunu göstermiştir (Adegoke vd., 2018). Buna karşılık, damla veya yüzey altı sulama, suyu doğrudan kök bölgesine ileterek yaprak ve yüzey temasını en aza indirir, böylece patojenin yenilebilir ürün parçalarına yapışmasını 1-3 log birim azaltır ve mesleki maruziyeti sınırlar (Trotta vd., 2024). Tava ve karık yöntemleri, uzun süreli toprak teması ve elle taşıma yoluyla riskleri artırır ve potansiyel olarak cilt enfeksiyonlarına ve yapraklı yeşillikler gibi düşük büyüyen ürünlerin daha fazla kirlenmesine yol açar (Heyde vd., 2025). Bu durum, özellikle arıtılmamış atık sudan arıtılmış atık suya geçişlerde önemlidir. Bu geçişlerde, eski kirleticiler harekete geçebilir ve yeterli izleme yapılmadan sulama gibi yöntemler kullanıldığında patojen yayılımı için "yüksek risk grubunu" oluşturabilir (Heyde vd., 2025).

2) *Kirletici Birikiminin Kontrolü ve Çevresel Etkiler*: Atık su genellikle çözünmüş tuzlar, ağır metaller (örneğin Cd, Pb, As), ilaçlar ve mikroplastikler içerir. Bunlar toprakta birikebilir, mikrobiyal toplulukları değiştirebilir, tuzlanmaya neden olabilir ve yeraltı suyuna sızabilir. Yöntem seçimi bu dinamikleri etkiler: Taşkın ve karık sulamada; toprakta daha fazla tuzlanma ve emilim meydana gelir, toprak tuzluluğu artar (örneğin elektriksel iletkenliği %20-50 oranında artırır). Killi topraklarda metal biyoyararlanımını artırırken, damla sulama yöntemleri yıkamayı azaltır ancak kök bölgesinde birikmeyi önlemek için tuz yönetimi gerektirir (Al-Hazmi vd., 2023). Yağmurlama sulama yöntemi, hassas bitkilerde verimi düşüren tuzlu aerosollerden kaynaklanan yaprak hasarı riskini artırırken, damla sulama verimliliği üst sınırlara taşır ve çevre kirliliğini en aza indirir (Pescod, 1992). Uygun

yöntemler olmadan uzun süreli kullanım, toprak yapısını bozabilir, organik maddeyi azaltabilir ve antibiyotik direnç gelişebilir (Heyde vd., 2025).

3) *Ürün Verimliliği ve Besin Kullanımı Üzerindeki Etkisi*: Atık su, besin maddeleri (N, P, K) sağlayarak verimi %50-100 oranında artırabilir ve gübre ihtiyacını azaltabilir. Ancak tava, karık gibi verimsiz yöntemler besin dengesizliklerine veya kayıplarına yol açabilir. Damla sulama, köklere besin iletimini optimize ederek emilimi artırır ve ötrofikasyona neden olan fazlalıkları en aza indirirken, karık sulama yöntemleri sırtlarda tuzları yoğunlaştırarak bitki büyümesine zarar verebilir. Çiğ yenen ürünler için, damla sulama gibi daha güvenli yöntemler, patojen seviyeleri düşükse (≤ 1000 dışkı koliformu/100 mL) kısıtlama olmaksızın kullanıma izin veren WHO yönergeleriyle uyumludur; yağmurlama sistemleri ise daha yüksek arıtma standartları gerektirir (Al-Hazmi vd., 2023).

4) *Yönergelere Uygunluk ve Sürdürülebilirlik*: Yöntemler, risklere bağlı olarak yeniden kullanımı kısıtlı (pişmiş ürünler) veya kısıtlamasız olarak sınıflandıran standartlara (örneğin WHO, FAO) uygun olmalıdır. Damla sulama yöntemleri ve yüzey sulama yöntemleri, Kategori A (çiğ ürünler) için düşük riskliken, tava veya yağmurlama sistemleri hasat öncesi sulamanın durdurulması gibi ek önlemler gerektirir (Pescod, 1992). İklim değişikliğiyle mücadele ederken, verimli yöntemler su güvenliğini destekler ve atık su potansiyel olarak küresel ölçekte 20-40 milyon hektarlık alanı sular, ancak kötü seçimler su kıtlığını ve kirliliğini daha da kötüleştirir (Heyde vd., 2025).

Atık suların sulama amaçlı su kaynağı olarak kullanılması durumunda, patojenlerden, kimyasal kirleticilerden ve toprak bozulması gibi çevresel etkilerden kaynaklanan sağlık risklerini en aza indirmek için yöntem seçimi kritik öneme sahiptir. Tercih edilen yöntemler, atık su ile ürün yüzeyleri, çalışanlar veya tüketiciler arasındaki doğrudan teması sınırlandırırken su ve besin maddelerinin iletimini optimize eden yöntemlerdir. Yönergelere ve araştırmalara dayanarak, özellikle arıtılmış atık su için damla sulama ve yüzey altı sulama genellikle en güvenli ve en verimli seçenekler olarak önerilmektedir. Yüzey sulama (örneğin salma veya karık sulama) belirli ürünler için kısıtlı koşullar altında kullanılabilirken, yağmurlama sulama genellikle daha yüksek riskler ve ek önlemler gerektirebileceği için en az tercih edilen yöntemdir. Aşağıda, her yöntemi avantajları, dezavantajları, uygunluğu ve ilişkili riskler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.3.1. Damla Sulama

Damla sulama, atık suyun toprak yüzeyine veya yakınına yerleştirilen damlaticılar veya borular aracılığıyla bitki kök bölgesine yavaşça ve doğrudan iletilmesini içerir. Bu yöntem, patojenler ve kirleticilere maruz kalma yollarını en aza indirdiği için atık suyun yeniden kullanımında şiddetle tavsiye edilir (Yalin vd., 2023). Atık suyun mikrobiyal standartları karşılayacak şekilde (örneğin, sınırsız kullanım için ≤ 1 helmint yumurtası/L ve ≤ 1000 dışkı koliformu/100 mL) artırılması koşuluyla, çığ tüketilenler (örneğin sebzeler) de dahil olmak üzere çok çeşitli ürünler için uygundur (Pescod, 1992).

Avantajları: Yaprak teması ve aerosol oluşumunu önleyerek patojen bulaşmasını azaltır ve yüzey yöntemlerine kıyasla işçiler ve tüketiciler için riskleri 1-3 log birim azaltır (Trotta vd., 2024). Su kullanım verimliliğini artırır ($\approx 95\%$), hassas uygulama ile toprak tuzluluğunu en aza indirir ve atık sudan daha iyi besin emilimine olanak tanır. Bu sayede gübre ihtiyacını azaltırken verimi $\approx 50-100$ oranında artırabilir (Pescod, 1992; Yalin vd., 2023). Ayrıca, tarımsal sulamadan kaynaklı yeraltı suyu kirliliğinin önlenmesinde ve ilaçlar, mikroplastikler gibi yeni ortaya çıkan kirleticilerin akışı engellenerek atık su ile sulamanın çevresel riskleri de azaltır/sınırlar (Yalin vd., 2023).

Dezavantajları: İlk kurulum ve bakım maliyetlerinin yanında işletme maliyetleri de (örneğin, yetersiz arıtılmış atık sudaki askıda katı maddelerden kaynaklanan tıkanma) yüksek olabilmektedir. Damlaticı tıkanıklıklarını önlemek için filtrasyon veya ön arıtma yapılmalıdır. Tuzlu atık sularda, kök bölgesinde lokal tuz birikimini önlemek için dikkatli bir yönetim ve işletmecilik gerektirir.

Sağlık ve Çevresel Riskler: Doğru yönetilirse, doğrudan insan maruziyeti veya ürün kontaminasyonu riski düşüktür. Ancak, atık su yüksek seviyelerde ağır metaller (örneğin, Cd, Pb) veya antibiyotik direncine neden olacak içerikteyse uzun vadede toprakta birikim meydana gelebilir ve bu da mikrobiyal toplulukları etkileyerek potansiyel olarak besin zincirine girebilir (Trotta vd., 2024). Islah (azaltma) önlemleri arasında düzenli toprak izleme ve tuzların yıkanması için temiz su uygulama veya konsantrasyonu azaltmak için temiz su kaynakları ile seyreltme yapılabilir.

Uygunluk: Başta kurak bölgelerde meyve ve sebze gibi yüksek değerli ürünler olmak üzere doğru projeleme, malzeme seçimi, kurulum, işletme, izleme ve değerlendirme koşullarında idealdir. İkincil veya üçüncül arıtma ile

birleştirildiğinde WHO ve FAO yönergeleri uyarınca gereklilik standartlarının sağlanması durumunda sürekli kullanım önerilebilir.

4.3.2. Yüzey Altı Sulaması

Yüzey altı sulama iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki yüzey altı damla sulama ve ikincisi kontrollü drenaj koşullarında taban suyu yükseltilerek yapılan yüzey altı sulamasıdır.

Yüzey Altı Damla Sulama

Burada damlaticılar toprak yüzeyinin altına (10-50 cm derinliğe) yerleştirilerek atık su, yüzey teması olmadan doğrudan bitki köklerine iletilir. Son yarım asırdır atık suyun yeniden kullanımında şiddetli şekilde savunulmakta ve önerilmektedir.

Avantajları: Yüzey damlamasına kıyasla, yer üstü teması ortadan kaldırarak, buharlaşma kayıplarını en aza indirerek (doğru işletmede teorik olarak %100'e varan randıman) ve yabancı ot büyümesini veya yüzey kabuklanmasını önleyerek bitkiler için ideal gelişme ortamı sağlar. Kirleticiler bitki kök bölgesinde kaldığı için tuzluluk ve patojen yayılımını kontrol etmek için mükemmeldir. Ayrıca, atık sudan sürdürülebilir besin geri dönüşümünün sağlanmasında da büyük katkı sağlar.

Dezavantajları: İlk kurulumu maliyetli ve karmaşık olup, kontrollü ve onarımı zordur. Sığ köklü bitkiler veya çok ağır bünyeye sahip topraklar için uygun olmayabilir. Farklı işletme strajileri ile kullanımı mümkündür. Tıkanmayı önlemek için ön işlem ve iyi bir filtrasyona ihtiyaç bulunmaktadır.

Sağlık ve Çevresel Riskler: Aerosol veya doğrudan temasla maruz kalma riski hemen hemen hiç yoktur. Atık su yeterli şekilde arıtılmazsa, bitkilerde biyolojik birikime yol açan sonsuz kimyasallar ve antibiyotik direncine neden olan maddeler, kök bölgesinde birikerek kirlenmeye neden olabilir. Uygulamadan önce membran filtrasyonu veya oksidasyon gibi gelişmiş işlemlerle riskler azaltılabilir.

Uygunluk: Sıra bitkileri, meyve bahçeleri veya yüksek patojen riski olan alanlar için en iyisidir. Pişirilmiş veya işlenmiş ürünlerin yanı sıra kısıntılı sulama kategorileri ile uyumludur (Pescod, 1992).

Kontrollü Drenaj ile Sulama

Yüzey altından kontrollü drenaj yoluyla yer altı su seviyesini yükselterek gerçekleştirilen ve genellikle alt sulama olarak adlandırılan yüzey altı

sulamasıdır. Kapilarite yoluyla kök bölgesine su sağlamak için drenaj sistemlerinin (örneğin, drenaj kanalları, hendekler veya gömülü borular) kullanılmasını içerir. Bu yöntemde, çıkış akışını kısıtlayan bent veya kapak gibi yapıları ayarlayarak taban suyu seviyesi kontrol edilerek suyun birikmesi ve yükselmesi sağlanır. Hassas arazi tesviyesi, geçirgen bir alt toprak ve su basmasını önlemek için drenaj sistemleriyle entegrasyon gerektirir. Enerji gereksinimleri düşüktür ve drenaj suyu da uygun kalitede olmak koşulu ile yeniden kullanılabilir. Atık su kullanılırken, arıtılmış atık su kök bölgesinin altına uygulanır, böylece yüzey maruziyeti en aza indirilir, ancak tıkanma veya kirlenmeyi önlemek için yüksek kaliteye sahip (özellikle askıda katı madde miktarı düşük) atık sular kullanılabilir.

Avantajları: Bu yöntem, atık suyu yüzeyin altına vererek insanların atık suya doğrudan maruz kalmasını önemli ölçüde azaltır, tarım işçileri için teması en aza indirir ve yüzey veya yağmurlama sulamaya kıyasla patojen bulaşma risklerini düşürür. Yaprak kontaminasyonunu önleyerek, çiğ ürün tüketicileri için enfeksiyon risklerini azaltır. Sıtmaya neden olan sivrisineklerin üreme alanlarını ortadan kaldırarak su kaynaklı hastalıkların görülme sıklığını en aza indirir (Bouma, 1994; Pescod, 1992). Atık sularda, aerosolizasyon ve cilt temasını sınırlandırarak daha güvenli yeniden kullanımı destekler ve halk sağlık koruma stratejileriyle uyumludur (Pescod, 1992). Ayrıca, suyu toprak profilinde depolayarak ve drenaj çıkışlarını yeniden kullanarak korur, genel sulama ihtiyaçlarını ve aşağı akış kirliliğini azaltır. Çözünen maddelerin yıkanmasını en aza indirir, yüzey sularına besin yüklerini azaltarak su kalitesini iyileştirir ve verimli kapıllarık hareketle tuzluluğu kontrol ederek kurak bölgelerde toprak bozulmasını önler. Bu, kıyı bölgelerindeki biyolojik çeşitliliği desteklerken, yosun oluşumunu ve turba topraklarında çökmeyi önlemek gibi ekosistem faydalarını artırır (Bouma, 1994; Pescod, 1992).

Dezavantajları: Potansiyel ıslak alanlar veya uzun süreli su altında kalma, hastalık vektörlerinin (örneğin sivrisinekler) veya istenmeyen organizmaların üremesine olanak tanıyabilir ve izlenmediği takdirde dolaylı sağlık tehlikeleri oluşturabilir. Atık su yetersiz arıtılırsa, kökler yoluyla patojen alımı veya yeraltı suyu kirliliği gibi riskler, işçiler ve toplumlar için ishalleri hastalıklar veya helmintiyazis gibi enfeksiyonlara yol açabilir (Pescod, 1992). Öte yandan drenajların etrafındaki toprak yapısının bozulması, atık sudaki tortu veya organik maddelerden kaynaklanan biyolojik/kimyasal tıkanmalar ve su

seviyesindeki dalgalanmalar nedeniyle hendek yapıları zarar görebilir. Düşük kaliteli atık su, yönetilmediği takdirde ağır metal birikimine, toksik iyon birikimine veya tuzlanmaya yol açabilir ve bu da yeraltı sularını kirletebilir veya toprak mikrobiyomlarını değiştirebilir. Uzun süreli su altında kalma, yoğun yağışlar sırasında anaerobik koşullara neden olarak sera gazı emisyonlarının veya besin maddesi akışını artırabilir (Pescod, 1992).

4.3.3. Yüzey Sulama (Tava veya Karık)

Yüzey yöntemleri, atık suyun tavalarda veya karıklarda toprak yüzeyinden akıtılmasını ve sızmasını içerir. Bunlar geleneksel ve düşük maliyetlidir, ancak atık su için, özellikle kısıtlı koşullar altında, çok dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır.

Avantajları: Ucuzdur, uygulaması kolaydır ve tuzlu atık su senaryolarında topraktan tuzların sızmasını önler. Su basmasına dayanıklı bitkiler ve geniş tarlalar için uygundur, atık sudan eşit besin dağılımı sağlar.

Dezavantajları: Düşük randıman, su israfına ve düzensiz dağılıma yol açar. Yüzey akışına, erozyona ve aşırı sulamaya eğilimlidir. Toprak sıçraması veya yenilebilir bitki parçalarıyla doğrudan temas yoluyla patojen bulaşma riskinin, enfeksiyon olasılığının artmasına (örneğin ishalli hastalıklar, helmintler) sebep olabilir (Trotta vd., 2024). Ağır metaller ve katyon değişim kapasitesi toprak kirlenmesine yol açarak mikrobiyomu değiştirebilir ve fitotoksisiteye neden olabilir (Trotta vd., 2024). Azaltma, minimum düzeyde birincil sedimantasyon işlemi, ürün kısıtlamaları (örneğin çiğ yenen hiçbir üründe kullanılmamalı) ve işçiler için koruyucu ekipman gerektirir.

Uygunluk: Maruziyetin düşük olduğu tahıllar, hayvan yemleri, endüstri bitkileri veya ağaçlarla sınırlıdır. Çiğ olarak yenen sebze ve meyveler için uygun değildir.

4.3.4. Yağmurlama Sulama

Yağmurlama sistemleri, atık suyu üstten püskürtücüler aracılığıyla ürünlerin üzerine püskürtür. Bu yöntem, yüksek riskler nedeniyle genellikle artırılmamış veya kısmen artırılmış atık sular için önerilmez.

Avantajları: Engebeli araziler için iyidir, düzgün bir kaplama sağlar ve sıcak iklimlerde bitkileri serinletebilir. Don koruması veya tuzların yıkanması için faydalı olabilir.

Dezavantajları: Yüksek enerji tüketimi, buharlaşma kayıpları (%10-25) ve tuz veya kimyasallardan kaynaklanan yaprak hasarı potansiyeli yüksektir. Solunum veya rüzgar yoluyla patojenleri yayabilen ve enfeksiyon risklerini artıran aerosoller üretir. Sodyum veya değişebilir katyonlar gibi kirleticilerin yapraklardan emilimi bitki gelişimini etkileyebilir (Trotta vd., 2024). Tampon bölgeler (yollardan/evlerden 50-100 m uzaklıkta) ve yüksek seviyeli arıtma (örneğin, dezenfeksiyonlu üçüncül arıtma) gerektirir (Pescod, 1992). Azaltma önlemleri, hasattan 1-2 hafta önce uygulamanın durdurulmasını ve düşük basınçlı sistemlerin kullanılmasını içerir (Yalin vd., 2023).

Uygunluk: Gıda dışı ürünler, meralar veya ağaçlar/tahıllar için arıtılmış atık su ile sınırlıdır. Ham olarak tüketilen ürünler için kullanılmamalıdır.

Her durumda, atık su uygun seviyelere (örneğin, sınırlı kullanım için ikincil arıtma) kadar arıtılmalı ve ürün rotasyonu, toprak izlenmesi ve kantitatif mikrobiyal risk değerlendirmesi gibi uygulamalar entegre edilmelidir (Yalin vd., 2023). Yerel faktörler (örneğin, toprak tipi, iklim) seçimi etkiler ve WHO ve FAO standartlarına uyum güvenliği sağlar (Pescod, 1992).

5. Sulamada Atık Su Kullanımının Neden Olduğu Sorunlar

Atık suyun sulamada kullanımı, ekonomik açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle gübre ve sulama suyu maliyetlerinde sağladığı tasarrufun yanı sıra, verim ve ürün kalitesinde iyileştirme potansiyeli önemlidir. Ancak, bu avantajların yanında bazı önemli riskler de bulunmaktadır:

- Sağlık riskleri
- Yeraltı suyunda kirlenme
- Toprak yapısında bozulmalar
- Hastalık vektörlerinin çoğalması
- Sulama kanallarında ötrofikasyon
- Basınçlı sulama sistemlerinde teknik sorunlar

Fatta vd., (2005) çalışmasına göre, arıtılmış atık suyun tarımda güvenli kullanımının önündeki en büyük engel, tüm paydaşlardaki bilgi eksikliğidir. Bu sorunlar dört ana grupta toparlanabilir. Bunlar;

- i. Devlet yetkililerinde mevzuat ve kılavuz eksikliği
- ii. Operatörlerin sistem işletimi ve kontrolü konusunda yetersizlik
- iii. Çiftçilerde sağlık riskleri ve yönetim prosedürleri hakkında bilgi eksikliği

- iv. Yerel makamlarda teknoloji, teknik şartname ve finansman konularında yetersizlikler olarak sıralanabilir.

Sulama yönteminin seçimi, hem çiftlik çalışanlarının hem de bölge halkının sağlığını doğrudan etkilemektedir. Mara ve Cairncross'un (1989) araştırmasına göre, yağmurlama sulama en riskli yöntemdir. Aerosol oluşumu nedeniyle geniş alanlara yayılım riski taşır ve bu nedenle yerleşim yerlerinden 50-100 metre uzaklıkta tampon bölge oluşturulması önerilmektedir. Tava, karık ve salma sulama teknikleri kullanıldığında, özellikle koruyucu ekipman kullanılmadığı durumlarda, çiftlik işçileri ve aileleri yüksek risk altında kalmaktadır (Blumenthal vd., 2000b). Buna karşılık, yüzey ve yüzey altı damla sulama sistemleri en güvenli seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde atık su doğrudan bitki kök bölgesine uygulandığından, hem çalışanlar hem de ürünler için kontaminasyon riski minimuma inmektedir. Risk yönetimi açısından değerlendirildiğinde hasattan 1-2 hafta önce sulamanın durdurulmasını önermektedir (Vaz da Costa Vargas vd., 1996). Ancak bu öneri taze tüketilen sebzeler için pratik değildir, çünkü bu ürünlerin pazar değerini korumak için hasada kadar sulanması gerekmektedir (Blumenthal vd., 2000b). Bu uygulama daha çok, tazelik kriteri daha esnek olan yem bitkileri, bazı tahıllar ve meyve grupları için uygun olabilir.

6. Atık Suların Sulama Suyu Olarak Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar

Atık sular ya da diğer bir ifadeyle kirlenmiş suların sulama suyu olarak kullanımında bilinçli ve denetimli kullanım son derece önemlidir. Bu suların, sulama suyu kaynağı olarak kullanıldığı alanlarda temastaki herkesin gerekli bilgi ve beceriye sahip olması beklenir. Söz konusu suların sulamada kullanılmasına ilişkin olarak kurumların ve kullanıcıların dikkat etmesi gereken hususlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Faruquie vd., 2004; Tas vd. 2007; Gokalp vd., 2011; Tas vd., 2015; Tas, 2024);

- 1) Tarımda atık su kullanımının önemi tam olarak anlaşılması hâlâ kamu bilincinde henüz yeterli oranda yer almamasının yanında birçok politika yapıcı ve uygulayıcı için her zaman açık değildir. Daha net ve belirgin tanımlamalar ve sınırlamalara gidilmelidir.
- 2) Çiftçileri atık su kullanmaya iten sosyal ve ekonomik faktörlerin yeterince anlaşılması ve dolayısıyla bunların politika oluşturmada

yeterince dikkate alınmaması nedeniyle oluşan eksiklikler belirlenmelidir.

- 3) Atık su kullanımı söz konusu olduğunda halk sağlığının korunması ve yoksulluğun azaltılması birbirini dışlayan sonuçlar değildir. Ancak farklı bağlamlarda birine diğerinden daha fazla önem verilmesi gerekebilir. Bu nedenle atık suların yeniden sulamada kullanımı ve yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmalıdır.
- 4) Atık su yönetimine yönelik entegre çok bariyerli yaklaşımlar dahil edildiğinde, sağlık ve çevre kalitesini korumaya yönelik etkili önlemler mevcuttur. Bunların pratikte kullanımı sağlanmalıdır.
- 5) Etkili, daha düşük maliyetli ve merkezi olmayan arıtma sistemleri mevcuttur. Geleneksel arıtma teknolojileri, kısmen yüksek sermaye ve yinelenen maliyetler nedeniyle sürdürülemez olma eğilimindedir. Bu nedenle daha etkili yöntemler desteklenmelidir.
- 6) Atık su kullanımının pek çok şekli, farklı nedenlerle çeşitli bağlamlarda uygulanmaktadır ve bireysel sosyoekonomik bağlamlar, atık su kullanımının farklı kabul edilebilirlik düzeylerine katkıda bulunmaktadır.
- 7) Gelişmiş ülkelerde yıl boyunca taze meyve ve sebzeye olan talebin artması ve küreselleşen dünyada turizm hareketliliğinin fazlalığı, talebi karşılamaya aday gelişmekte olan ülkelerde daha fazla atık su kullanımına yönelmeyi gerektirmektedir.
- 8) Sağlam yasal ve düzenleyici çerçeveler, sürekli uygulama ve icra gerektirir. Aynı zamanda da izleme ve değerlendirme gerektirir.
- 9) Arazi mülkiyetinin güvensiz olması, çiftçilerin daha güvenli ve daha verimli atık su sulama teknolojilerine yatırım yapmasını engellemektedir. Gerekli düzenlemelerle bu engeller büyük oranda kaldırılabilir.
- 10) Hükümet içindeki ve dışındaki kurumlar arasındaki koordinasyon eksikliği ve atık su konusunda izole, tek disiplinli araştırmalara yönelik eğilim, entegre, uygulanabilir çözümlerin test edilmesini ve tasarlanmasını engellemektedir. Bu nedenle multidisipliner araştırmalara öncelik ve ağırlık verilmelidir.
- 11) Sağlık açısından tehlike arz eden ve özellikle giderim/iyileştirme konusunda sıkıntılara sahip olan sular, sulama amaçlı olarak

kullanılmamalıdır. Gerekli önlemler alınarak risklerin ya ortadan kaldırılması sağlanmalı ya da minimize edilmeli ve özel önlemlerle kullanılmalıdır. Ayrıca oluşabilecek enfeksiyon riskleri de dikkate alınmalıdır.

- 12) Kaynakta, hem kontrole hem de kaliteyi iyileştirici işlemlere ve muamelelere gidilmelidir.
- 13) Söz konusu suları kullanacak olanlara, gerekli bilgiler/eğitimler verilmeli ve bilinçli kullanıcılar oluşturulmalıdır. Ayrıca gerekli izlemelerde yapılmalıdır.
- 14) İnsanların bu sularla teması minimal düzeyde tutulmalı ve lüzumlu önlemlerin alınması sağlanmalıdır.
- 15) Sulanacak bitkiler belirlenmeli ve gereken durumlarda ihtiyaç duyulan sınırlamalara gidilmelidir.
- 16) İlgili kurum ve kuruluşlarda gereken koordinasyon sağlanmalı ve lüzum görülen düzenlemeler ve tedbirler alınmalıdır.
- 17) Bu suların kullanıldığı bölgelerde kısa ve uzun dönem planlamaları yapılmalı ve bunların uygulamaya geçmesi sağlanmalıdır.

7. Sonuç

Dünya genelinde yaklaşık 20 milyon hektar tarım arazisi arıtılmış veya ham atık su ile sulanmaktadır (United Nations Water, 2024). Küresel olarak arıtılan atık suyun %1.6-6.3'ü tarımsal sulamada kullanılmaktadır (FAO, 2023). Literatürde yaygın olarak örnek gösterilen 5 ülkenin toplam ürettiği atık su, sulamada kullanılan miktar, bu sularla sulanan toplam alan ve sulanan bitkiler Tablo 3'de yer almaktadır.

Tarihsel olarak, arıtılmamış atık suyun sulama için kullanımı gelişmekte olan ve yeni ortaya çıkan ekonomilerde yaygın olmuştur. Besin ve su döngüsü için döngüsel ekonomi şemaları içinde atık suyun yeniden kullanımının avantajları görülse de, bu durum aynı zamanda su kaynaklı hastalık salgınları riski gibi önemli dezavantajları da beraberinde getirmiştir.

Tablo 3. Beş ülkelerin sulamada atık su kullanımına ilişkin bazı bilgiler

Ülke	İsrail	Meksika	Çin	Hindistan	İspanya
Sulanan Alan (ha)	180000	350000	1300000	720000	45000
Üretilen Atık Su (milyon m ³ /yıl)	500	2400	75000	13500	3900
Sulamada Kullanılan Atık Su (milyon m ³ /yıl)	450	1800	14000	7500	450
Yetiştirilen Bitkiler	Pamuk, tahıllar, sebze ve meyve bahçeleri	Mısır, yonca, tahıllar	Çeltik, sebze ve meyve bahçeleri	Çeltik, buğday, şeker kamışı	Zeytin, üzüm, narenciye
Kaynaklar	Tal, 2022	Garcia-Cuerva vd., 2023	Zhang et al., 2024	Kumar ve Singh, 2023	Pedrero vd., 2023

Günümüzde birçok ülke, SDG 6 "Temiz Su ve Sanitasyona" ulaşmak amacıyla atık su toplama ve arıtma altyapısına yatırım yapmaya başlamıştır. Bu yatırımlar, suyun ve besin maddelerinin yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü açıkça teşvik etmektedir. Bununla birlikte, ne sağlık ne de çevresel riskler henüz bütünsel bir "Tek Sağlık" perspektifinden tam anlamıyla değerlendirilmemiştir. SDG 6'nın başarıya ulaşması, geçmişte yaygın olan arıtılmamış atık suyla sulamadan, gelecekte daha yüksek derecede arıtılmış atık suyla sulamaya geçişi mümkün kılacaktır. Yaygın kullanılan atık su arıtma sistemleri, sulama suyuyla tarım alanlarına getirilen organik madde, besin maddesi ve bakteri yükünü önemli ölçüde artırmaktadır. Ancak ilaçlar ve kişisel bakım ürünleri gibi birçok kirletici, geleneksel arıtma yöntemleriyle atık sudan genellikle yalnızca kısmen giderilebilmektedir. Daha da önemlisi, atık su arıtma tesisleri, yüksek bakteri hücresi yoğunluğu, yüksek biyolojik aktivite ve kirleticilerin eş zamanlı varlığı nedeniyle antibiyotik direnç genlerinin ve antibiyotiklere dirençli bakterilerin yayılması için potansiyel sıcak noktalar olarak tanımlanmaktadır.

Mikrobiyolojik kirleticilere odaklanan önemli araştırmalar mevcut olsa da, ilaçlar gibi yeni ortaya çıkan kimyasal kirleticiler ve bunların uzun vadeli

sağlık etkileri üzerine kapsamlı çalışmalar yetersizdir. Araştırma boşlukları ayrıca, çoklu maruz kalma yollarının incelenmesini ve atık suyun güvenli bir şekilde yeniden kullanılması için yasal çerçevelerin geliştirilmesini de içermektedir (Dickin vd., 2016; Carter vd., 2019). Özetle, atık su ile sulama su kısıtlılığına çözüm sunarken ve tarım için faydalı besinler sağlarken, biyolojik ve kimyasal kirleticilerden kaynaklanan sağlık riskleri, güvenliği sağlamak için dikkatli bir izleme ve yönetim gerektirmektedir. Yönergelerin uygulanması, atık su arıtımının iyileştirilmesi ve yeni ortaya çıkan kirleticiler üzerinde daha fazla araştırma yapılması, bu riskleri azaltmak için atılması gereken önemli adımlardır.

Su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, atık suların sulama amacıyla kullanımı giderek yaygınlaşan bir uygulama haline gelmiştir. Ancak bu uygulama, insan sağlığı ve çevre açısından çeşitli riskleri beraberinde getirmektedir. Bu riskler arasında en öne çıkan, atık sulardaki patojenik mikroorganizma yüküdür. Bu mikroorganizmalar sulama yapılan ürünler vasıtasıyla insanlara bulaşarak (özellikle çiğ tüketilen sebzelerde daha yüksek risk oluşturarak) ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir.

Atık suların içerdiği ağır metaller, pestisitler ve farmasötik kalıntılar gibi kimyasal kirleticiler de önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır. Bu kirleticiler toprakta birikerek bitkiler aracılığıyla insan vücuduna geçebilmekte ve uzun vadede toksik etkilere yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra, atık sulardaki antibiyotik kalıntıları, sulama yapılan alanlarda antibiyotik direncinin gelişmesine neden olarak hem insan sağlığı hem de çevresel sağlık açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Adegoke vd., 2018). Epidemiyolojik açıdan bakıldığında, yapılan araştırmalar atık suyla sulama yapılan bölgelerde yaşayan insanların, özellikle bağırsak enfeksiyonları gibi su kaynaklı hastalıklara daha fazla maruz kaldığını göstermektedir. Bu risk, atık suyun yetersiz arıtıldığı veya hiç arıtılmadan kullanıldığı durumlarda daha da artmaktadır.

Bu risklerin önlenmesi için aşağıdaki çözüm önerileri sunulabilir:

- 1) Atık suların sulama amaçlı kullanımından önce kapsamlı bir arıtma işleminden geçirilmesi ve patojenik mikroorganizmalardan arındırılması
- 2) Sulama alanlarında çalışan çiftçiler ve tüketiciler için hijyen önlemlerinin artırılması

3) Sağlık risklerini en aza indirmek için düzenli izleme ve denetim mekanizmalarının kurulması ve işletilmesi

Sonuç olarak, atık suların sulama suyu olarak kullanımı su kaynaklarının verimli yönetimi açısından faydalı bir uygulama olsa da, beraberinde getirdiği sağlık riskleri göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması ve etkili düzenleyici politikaların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abuzaid, A. S., & Fadl, M. E. (2018). Mapping potential risks of long-term wastewater irrigation in alluvial soils, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3780-3>
- Adegoke, A. A., Amoah, I. D., & Stenström, T. A. (2018). Epidemiological evidence and health risks associated with agricultural reuse of partially treated and untreated wastewater: A review. *Front Public Health*. 2018 Dec 6; 6:337. doi: 10.3389/fpubh.2018.00337.
- Afzaal, M., Abdul Manan, H., Altaf, M., Liaqat, I., Ali Khan, A. A., Shahid, R., & Hameed, S. (2022). Heavy metals contamination in water, sediments and fish of freshwater ecosystems in Pakistan. *Water Practice and Technology*, 17(5), 1253–1272. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.039>
- Ahmad, H., Khan, M., & Ali, S. (2020). Wastewater irrigation: past, present, and future (Zhang and Shen, 2017).
- Alberini, A., Eskeland, G.S., Krupnic, A., McGranahan, G. (1996). Determinants of diarrheal disease in Jakarta. *Water Resources Research*, 32 (7) 2259-2269.
- Alcalde-Sanz, L., & Gawlik, B. M. (2017). Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a legal instrument on water reuse at EU level. Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109291/jrc109291_online_08022018.pdf
- Alcon, F., Pedrero, F., Alarcon, J. J., Arcas, N., De Miguel, M. D., & Martin-Ortega, J. (1970). The non-market value of reclaimed wastewater for use in agriculture: a contingent valuation approach. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(S2), 187–196. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008s2-1361>
- Al-Hazmi, H. E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmacili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M. R., Badawi, M., Lima, E. C., & Sobhani, Z. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*, 236(Pt 2), Article 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>

- Al-Huqail, A. A., Adelodun, B., Arya, A. K., Kumar, P., Singh, J., Kumar, V., Abou Fayssal, S., Goala, M., Širić, I., & Eid, E. M. (2022). Risk Assessment of Heavy Metals Contamination in Soil and Two Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties Irrigated with Paper Mill Effluent. *Agriculture*, 12(11), 1864. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111864>
- Ali, Z., Mohammad, A., Riaz, Y., Quraishi, U. M., & Malik, R. N. (2018). Treatment efficiency of a hybrid constructed wetland system for municipal wastewater and its suitability for crop irrigation. *International Journal of Phytoremediation*, 20(11), 1152–1161. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1460311>
- Almuktar, S. A. A. N., Scholz, M., & Abed, S. N. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 23595–23623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>
- Amoah, I. D., Abaidoo, R. C., Abubakari, A., Stenström, T. A., & Seidu, R. (2016). Contribution of Wastewater Irrigation to Soil Transmitted Helminths Infection among Vegetable Farmers in Kumasi, Ghana. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 10(12), e0005161. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005161>
- Armon, R., Gold, D., Brodsky, M. and Oron, G. (2002) Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities and presence of *Cryptosporidium* oocysts in soil and on crops. *Water Science and Technology* 46(3), 115–122.
- Asteris, P. G., Tsoukalas, M. Z., Gamvroula, D. E., Guney, D., & Alexakis, D. E. (2022). Machine Learning Approach for Rapid Estimation of Five-Day Biochemical Oxygen Demand in Wastewater. *Water*, 15(1), 103. <https://doi.org/10.3390/w15010103>
- Atta, M. I., Zehra, S. S., Dai, D.-Q., Ali, H., Naveed, K., Ali, I., Sarwar, M., Ali, B., Iqbal, R., Bawazeer, S., & Abdel-Hameed, U. K. (2023). Amassing of heavy metals in soils, vegetables and crop plants irrigated with wastewater: Health risk assessment of heavy metals in Dera Ghazi Khan, Punjab, Pakistan. *Frontiers in Plant Science*, 13(7). <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1080635>
- Badr, E.-S. A., Alomran, M. S., & Tawfik, R. T. (2023). An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated

- Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia. *Water*, 15(13), 2488. <https://doi.org/10.3390/w15132488>
- Bel Haj, H., El Yousfi, Y., Krid, A., Abioui, M., Aboulhassan, M. A., Benyoussef, S., El Ouarghi, H., Ben Zhir, K., & Elkhatabi, S. (2023). Reuse of wastewater for irrigation of coriander in Morocco: Evaluation of effects on crop growth parameters. *World Water Policy*, 9(4), 799–814. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12150>
- Belhaj, D., Jerbi, B., Ayadi, H., Kallel, M., Medhioub, M., & Zhou, J. (2015). Impact of treated urban wastewater for reuse in agriculture on crop response and soil ecotoxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 15877–15887. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5672-3>
- Berisha, L., N., Hajrulai-Musliu, Z., & Poceva Panovska, A. (2024). Antibiotic Resistance and Aquatic Systems: Importance in Public Health. *Water*, 16(17), 2362. <https://doi.org/10.3390/w16172362>
- Bevilacqua, P.D., Bastos, R.K.X., Mara, D.D (2014) An evaluation of microbial health risks to livestock fed with wastewater-irrigated forage crops. *Zoonoses and Public Health*, 61 (4), 242-249.
- Bibby, K., Crank, K., Li, X., Hamza, I. A., Wu, Z., Stachler, E., & Greaves, J. (2019). Metagenomics and the development of viral water quality tools. *Npj Clean Water*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0032-3>
- Blumenthal, U., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Stott, R. (2000a) Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization* 78(9), 1104–1116.
- Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Mara, D. (2000b) Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence. WELL Study, Task No. 68, Part 1. Water and Environmental Health at London and Loughborough (WELL), London, UK. <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/well-studies.htm>.
- Carles, L., Wullschleger, S., Joss, A., Eggen, R. I. L., Schirmer, K., Schuwirth, N., Stamm, C., & Tlili, A. (2022). Wastewater microorganisms impact microbial diversity and important ecological functions of stream

- periphyton. *Water Research*, 225, 119119. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119119>
- Carr, R. M., Blumenthal, U. J., & Mara, D. D. (2004). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture: Developing realistic guidelines. In C. A. Scott, N. I. Faruque, & L. Reschid-Sally (Eds.), *Waste water use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities*. CABI Publishing.
- Carrera-Chapela, F., Donoso-Bravo, A., Souto, J. A., & Ruiz-Filippi, G. (2014). Modeling the Odor Generation in WWTP: An Integrated Approach Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(6). <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1932-y>
- Carter, L. J., Boxall, A. B. A., Abdeen, Z., & Chefetz, B. (2019). Emerging investigator series: towards a framework for establishing the impacts of pharmaceuticals in wastewater irrigation systems on agro-ecosystems and human health. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(4), 605–622. <https://doi.org/10.1039/c9em00020h>
- Castro, E., Mañas, M. P., & Heras, J. D. L. (2011). Effects of wastewater irrigation on soil properties and turfgrass growth. *Water Science and Technology*, 63(8), 1678–1688. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.335>
- Chen, B., Yang, K., Qu, J., Ma, L., Tian, K., Lin, Q., Hong, L., He, J., & Xu, X. (2024). Research Progress on Detection of Pathogens in Medical Wastewater by Electrochemical Biosensors. *Molecules* (Basel, Switzerland), 29(15), 3534. <https://doi.org/10.3390/molecules29153534>
- Chiou, R.-J. (2007). Risk assessment and loading capacity of reclaimed wastewater to be reused for agricultural irrigation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1–3), 255–262. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9922-9>
- Cifuentes, E., Gomez, M., Blumenthal, U., Tellez-Rojo, M.M., Romieu, I., Ruiz-Palacios, G., Ruiz-Velazco, S., 2000. Risk factors for *Giardia intestinalis* infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 62 (3), 388–392.
- Cui, B., & Liang, S. (2019). Monitoring Opportunistic Pathogens in Domestic Wastewater from a Pilot-Scale Anaerobic Biofilm Reactor to Reuse in

- Agricultural Irrigation. Water, 11(6), 1283.
<https://doi.org/10.3390/w11061283>
- Czerwionka, K., Makinia, J., Pagilla, K. R., & Stensel, H. D. (2012). Characteristics and fate of organic nitrogen in municipal biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Research*, 46(7), 2057-2066.
- Denora, M., Mehmeti, A., Perniola, M., Gatta, G., De Mastro, F., De Ceglie, C., Giuliani, M. M., Brunetti, G., Fiorentino, C., Murgolo, S., & Candido, V. (2024). Fate of emerging contaminants in the soil-plant system: a study on durum wheat irrigated with treated municipal wastewater. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1448016>
- Dickin, S. K., Schuster-Wallace, C. J., Qadir, M., & Pizzacalla, K. (2016). A Review of Health Risks and Pathways for Exposure to Wastewater Use in Agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 124(7), 900–909. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509995>
- Dobbs, R. A., Wang, L., & Govind, R. (1989). Sorption of toxic organic compounds on wastewater solids. *Environmental Science & Technology*, 23(9), 1092-1097.
- El-Feky, A., Saber, M., Abd-El-Kader, M. M., Kantoush, S. A., Sumi, T., Alfaisal, F., & Abdelhaleem, A. (2024). Comprehensive environmental impact assessment and irrigation wastewater suitability of the Arab El-Madabegh wastewater treatment plant, Assiut City, Egypt. *Plos One*, 19(2), e0297556. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297556>
- Elmahdi, A. (2024). Addressing water scarcity in agricultural irrigation: By exploring alternative water resources for sustainable irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage*, 73(5), 1675–1683. <https://doi.org/10.1002/ird.2973>
- Ensink JHJ, van der Hoek W, Amerasinghe FP (2006) Giardia duodenalis infection and wastewater irrigation in Pakistan. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 100(6):538–542
- Faruque NI, Scott CA, Reschid-Sally L (2004) Confronting the realities of wastewater use in agriculture: lesson learned and recommendations. In: Scott CA, Faruque NI, Reschid-Sally L (eds) *Waste water use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities*. CABI Publishing, Wallingford

- Fatta D, Alaton IA, Gokcay C, Rusan MM, Assobhei O, Mountadar M, Papadopoulos A. Wastewater reuse: problems and challenges in cyprus, Turkey, Jordan and Morocco. *Eur Water* 2005;11(12):63–69
- Ferrera, I., & Sánchez, O. (2016). Insights into microbial diversity in wastewater treatment systems: How far have we come? *Biotechnology Advances*, 34(5), 790–802. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.04.003>
- Forster, C. F. (2002). The rheological and physico-chemical characteristics of sewage sludges. *Enzyme and Microbial Technology*, 30(3), 340-345.
- Garcia-Cuerva, L., Berglund, E. Z., & Binder, A. R. (2023). Agricultural reuse of treated wastewater in Mexico: Current status and future prospects. *Agricultural Water Management*, 245, 106-118.
- Gatica, J., & Cytryn, E. (2013). Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. *Environmental Science and Pollution Research International*, 20(6), 3529–3538. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1505-4>
- Gatta, G., Gagliardi, A., Tarantino, E., Lonigro, A., Francavilla, M., Giuliani, M., & Disciglio, G. (2018). Irrigation with Treated Municipal Wastewater on Artichoke Crop: Assessment of Soil and Yield Heavy Metal Content and Human Risk. *Water*, 10(3), 255. <https://doi.org/10.3390/w10030255>
- Ghonimy, M., Hussein, N. S., Saad, S. A. H., & Alharbi, A. (2025). Improving Wastewater Quality Using Ultrafiltration Technology for Sustainable Irrigation Reuse. *Water*, 17(6), 870. <https://doi.org/10.3390/w17060870>
- Girón-Guzmán, I., Sánchez-Alberola, S., Cuevas-Ferrando, E., Falcó, I., Díaz-Reolid, A., Puchades-Colera, P., Ballesteros, S., Pérez-Cataluña, A., Coll, J. M., Núñez, E., Fabra, M. J., López-Rubio, A., & Sánchez, G. (2024). Longitudinal study on the multifactorial public health risks associated with sewage reclamation. *Npj Clean Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00365-y>
- Gokalp, Z., Tas, O., Ozkay, F. and Akgul, S., 2011. Wastewater use in irrigation - Ankara case study. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 6(7), pp. 1807-1812, 4 April, 2011
- Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., & Nejidat, A. (2005). Environmental impact and health risks associated with greywater

- irrigation: a case study. *Water Science and Technology*, 52(8), 161–169. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0251>
- Haldar, K., Datta, D. K., Hofstra, N., Rijnaarts, H., & Kujawa-Roeleveld, K. (2022). Microbial contamination in surface water and potential health risks for peri-urban farmers of the Bengal delta. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 244, 114002. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114002>
- Hanjra, M.A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F., Jackson, T.M., 2012. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 215 (3) 255-269. ISSN 1438-4639. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.003>.
- Harwood, V. J., Staley, C., Korajkic, A., Borges, K., & Badgley, B. D. (2014). Microbial source tracking markers for detection of fecal contamination in environmental waters: relationships between pathogens and human health outcomes. *FEMS Microbiology Reviews*, 38(1), 1–40. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12031>
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated Wastewater Irrigation—A Review. *Water*, 13(11), 1527. <https://doi.org/10.3390/w13111527>
- Hechmi, S., Bhat, M. A., Kallel, A., Khiari, O., Louati, Z., Khelil, M. N., Zoghlami, R. I., Cherni, Y., Melki, S., Trabelsi, I., & Jedidi, N. (2024). Soil contamination with microplastics (MPs) from treated wastewater and sewage sludge: risks and sustainable mitigation strategies. *Discover Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00135-0>
- Helmecke, M.; Fries, E.; Schulte, C. Regulating Water Reuse for Agricultural Irrigation: Risks Related to Organic Micro-Contaminants. *Environ. Sci Eur*. 2020, 32, 4.
- Hembrom, S., Gupta, S. K., Singh, B., & Nema, A. K. (2019). A Comprehensive Evaluation of Heavy Metal Contamination in Foodstuff and Associated Human Health Risk: A Global Perspective (pp. 33–63). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9595-7_2
- Heyde, B. J., Glaeser, S. P., Scholtissek, A., Iden, L., Laban, K., Wilharm, G., Knobloch, J., Helmecke, M., Ebermann, L., Gonzalez-Elipe, A. R., Zikmundova, M., Kyncl, T., Hruska, P., & Schauss, T. (2025). Transition from irrigation with untreated wastewater to treated wastewater and

- associated benefits and risks. *npj Clean Water*, 8, Article 10. <https://doi.org/10.1038/s41545-025-00438-6>
- Hu, Z., Ye, Z., Li, Y., Liu, D., Wang, H., Li, J., Song, Z., & Wang, X. (2019). Soil Contamination with Heavy Metals and Its Impact on Food Security in China. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 07(05), 168–183. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.75015>
- Husaini, D. C., Mphuthi, D. D., Zetina, N., & Bernardez, V. (2023). Healthcare industry waste and public health: a systematic review. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 42(4), 1624–1642. <https://doi.org/10.1108/agjsr-01-2023-0026>
- Ibekwe, A. M., & Murinda, S. E. (2019). Linking Microbial Community Composition in Treated Wastewater with Water Quality in Distribution Systems and Subsequent Health Effects. *Microorganisms*, 7(12), 660. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120660>
- Iqbal, Z., Qureshi, T. I., Mahmood, A., Gul, M., Abbas, F., & Ibrahim, M. (2020). Human health risk assessment of heavy metals in raw milk of buffalo feeding at wastewater-irrigated agricultural farms in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29567–29579. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09256-4>
- Jeong, H., Jang, T., & Kim, H. (2016). Irrigation Water Quality Standards for Indirect Wastewater Reuse in Agriculture: A Contribution toward Sustainable Wastewater Reuse in South Korea. *Water*, 8(4), 169. <https://doi.org/10.3390/w8040169>
- Jiménez, B. (2006). Irrigation in developing countries using wastewater. *International Review for Environmental Strategies*, 6(2), 229-250. https://www.iges.or.jp/en/publication_documents/pub/peer/en/1199/IR_ES_Vol.6-2_229.pdf
- Kajeiou, H., Sbaa, M., & Darmous, A. (2023). Physico-chemical, chemical and biological characterization of wastewater treatment plant of Oujda. *Materials Today: Proceedings*. 72(7) 3326-3335. ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.355>.
- Keraita B, Konradsen F, Drechsel P, Abaidoo RC (2007a) Effect of low-cost irrigation methods on microbial contamination of lettuce irrigated with untreated wastewater. *Trop Med Int Health* 12:15–22

- Keraita B, Konradsen F, Drechsel P, Abaidoo RC (2007b) Reducing microbial contamination on wastewater-irrigated lettuce by cessation of irrigation before harvesting. *Trop Med Int Health* 12:8–14
- Kesalkar, V. P., Khedikar, I. P., & Sudame, A. M. (2012). Physico-chemical characteristics of wastewater from paper industry. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(6), 137-143.
- Khalid, S., Shah, A. H., Natasha, N., Shahid, M., Niazi, N. K., Bibi, I., & Sarwar, T. (2018). A Review of Environmental Contamination and Health Risk Assessment of Wastewater Use for Crop Irrigation with a Focus on Low and High-Income Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 895. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>
- Kim, H. K., Park, S. W., Jang, T. I., & Kim, S. M. (2014). Impact of domestic wastewater irrigation on heavy metal contamination in soil and vegetables. *Environmental Earth Sciences*, 73(5), 2377–2383. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3581-2>
- Lebrero, R., Bouchy, L., Stuetz, R., & Muñoz, R. (2011). Odor Assessment and Management in Wastewater Treatment Plants: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(10), 915–950. <https://doi.org/10.1080/10643380903300000>
- Mañas, P., Castro, E., & De Las Heras, J. (2009). Irrigation with treated wastewater: Effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop and dynamics of microorganisms. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 44(12), 1261–1273. <https://doi.org/10.1080/10934520903140033>
- Manwani, S., Singh, T., Awasthi, G., Devi, P., Bhoot, N., Yadav, C. S., & Awasthi, K. K. (2022). Heavy metals in vegetables: a review of status, human health concerns, and management options. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(28), 71940–71956. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22210-w>
- Mara, D., & Cairncross, S. (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection. World Health Organization.
- Michael-Kordatou, I., Michael, C., Duan, X., He, X., Dionysiou, D. D., Mills, M. A., & Fatta-Kassinos, D. (2015). Dissolved effluent organic matter:

- Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research*, 77, 213–248. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.011>
- Mojid MA, Biswas SK, Wyseure GCL (2012) Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilisers on wheat cultivation in Bangladesh. *Field Crop Res* 134:200–207
- Monreal, J. (1993) Estudio de caso de Chile. Evolucion de la morbilidad entérica en Chile, luego de la aplicacion de medidas de restriccion de cultivos en zonas regadas con aguas servidas. Presented at WHO/FAO/UNEP/ UNCHS Workshop on Health, Agriculture and Environmental Aspects of Wastewater Use, Juitepec, Mexico, 8–12 November 1993.
- Musa Yahaya, S., Abdu, N., & Ahmad Mahmud, A. (2023). The use of wastewater for irrigation: Pros and cons for human health in developing countries. *Total Environment Research Themes*, 6, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100044>
- Muttamara, S. (1996). Wastewater characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*, 16(1-4), 145-159.
- Oron, G., Mehvar, S., Ghiglieri, G., Ceppitelli, G., Zemach, M., Gillerman, L., Cohen, M., & Sitbon, Y. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. *Frontiers in Chemical Engineering*, 5, Article 10919582. <https://doi.org/10.3389/fceng.2023.10919582>
- Othman, Y. A., Albalawneh, A., Tadros, M. J., & Al-Assaf, A. (2021). Heavy Metals and Microbes Accumulation in Soil and Food Crops Irrigated with Wastewater and the Potential Human Health Risk: A Metadata Analysis. *Water*, 13(23), 3405. <https://doi.org/10.3390/w13233405>
- Pedrero, F., Alarcón, J. J., & Nicolás, E. (2023). Treated wastewater reuse in Spanish agriculture: A decade of progress. *Agricultural Water Management*, 258, 107-121.
- Pescod, M. B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper 47). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm>
- Poonia, P., Parihar, S., Pachak, S. K., & Gaur, L. (2023). Assessing the quality of the municipal wastewater used for irrigation in Jodhpur, Rajasthan,

- India. Water Supply, 23(11), 4775–4790.
<https://doi.org/10.2166/ws.2023.285>
- Popa, P., Timofti, M., & Voiculescu, M. (2012). Study of physico-chemical characteristics of wastewater in an urban agglomeration in Romania. *The Scientific World Journal*, 2012, Article 897585.
- Pratap, B., Bharagava, R. N., Kumar, S., Dutta, V., & Purchase, D. (2021). Practice of wastewater irrigation and its impacts on human health and environment: a state of the art. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2), 2181–2196.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03682-8>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2016). Global experiences on wastewater irrigation: Challenges and prospects. In B. Bhaduri, J. Bogardi, J. Leentvaar, & S. Marx (Eds.), *Balanced urban development: Options and strategies for liveable cities* (pp. 289–327). Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-28112-4_18
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P. G., Drechsel, P., Bahri, A., & Minhas, P. S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*, 97(4), 561–568.
<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1012&context=wffdcs>
- Rusan MJM, Hinnawi S, Rousan L (2007) Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215(1–3):143–152
- Sadiq Butt, M., Sharif, K., Ehsan Bajwa, B., & Aziz, A. (2005). Hazardous effects of sewage water on the environment. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 16(4), 338–346.
<https://doi.org/10.1108/14777830510601217>
- Salem, H. S., Yihdego, Y., & Muhammed, H. H. (2020). The status of freshwater and reused treated wastewater for agricultural irrigation in the Occupied Palestinian Territories. *Journal of Water and Health*, 19(1), 120–158. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.216>
- Santos, A. F., Gando-Ferreira, L. M., Quina, M. J., & Alvarenga, P. (2023). Urban Wastewater as a Source of Reclaimed Water for Irrigation:

- Barriers and Future Possibilities. *Environments*, 10(2), 17.
<https://doi.org/10.3390/environments10020017>
- Sarwar, T., Ul Haq, Z., Natasha, N., Ahmad, N., Khalid, S., Shah, A. H., Naeem, M. A., Shahid, M., Murtaza, B., & Bakhat, H. F. (2019). Quantification and risk assessment of heavy metal build-up in soil-plant system after irrigation with untreated city wastewater in Vehari, Pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(12), 4281–4297.
<https://doi.org/10.1007/s10653-019-00358-8>
- Sayo, S., Kiratu, J. M., & Nyamato, G. S. (2020). Heavy metal concentrations in soil and vegetables irrigated with sewage effluent: A case study of Embu sewage treatment plant, Kenya. *Scientific African*, 8, e00337.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00337>
- Schiffman, S. S., & Williams, C. M. (2005). Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality*, 34(1), 129–138.
<https://doi.org/10.2134/jeq2005.0129a>
- Schiffman, S. S., Walker, J. M., Dalton, P., Lorig, T. S., Raymer, J. H., Shusterman, D., & Williams, C. M. (2000). Potential Health Effects of Odor from Animal Operations, Wastewater Treatment, and Recycling of Byproducts. *Journal of Agromedicine*, 7(1), 7–81.
https://doi.org/10.1300/j096v07n01_02
- Senatore, V., Naddeo, V., Galang, M. G., Zarra, T., Buonerba, A., Belgiorno, V., Oliva, G., & Li, C.-W. (2021). Full-Scale Odor Abatement Technologies in Wastewater Treatment Plants (WWTPs): A Review. *Water*, 13(24), 3503. <https://doi.org/10.3390/w13243503>
- Shon, H. K., Vigneswaran, S., & Snyder, S. A. (2006). Effluent Organic Matter (EfOM) in Wastewater: Constituents, Effects, and Treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(4), 327–374.
<https://doi.org/10.1080/10643380600580011>
- Shuval, H., Lampert, Y., Fattal, B., 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Science and Technology* 53 (11–12), 15–20.
- Shuval, H.I., 2000. Are the conflicts between Israel and her neighbours over the waters of the Jordan river basin an obstacle to peace? Israel–Syria as a case study. *Water, Air, and Soil Pollution* 123 (1-4), 605–630.

- Siebe, C., & Cifuentes, E. (1995). Environmental impact of wastewater irrigation in central Mexico: An overview. *International Journal of Environmental Health Research*, 5(2), 161–173. <https://doi.org/10.1080/09603129509356845>
- Singh, A., K Awasthi, K., K Verma, R., Nagar, V., Aseri, V., K Choudhary, S., Awasthi, G., L Chopade, R., S Sankhla, M., P Pandit, P., & Sharma, A. (2022). Heavy Metal Contamination of Water and Their Toxic Effect on Living Organisms. Intechopen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105075>
- Soleimani, H., Mansouri, B., Kiani, A., Omer, A. K., Tazik, M., Ebrahimzadeh, G., & Sharafi, K. (2023). Ecological risk assessment and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and well water combined with chemical fertilizers. *Heliyon*, 9(3), e14580. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14580>
- Symonds, E. M., Breitbart, M., & Rosario, K. (2019). Pepper mild mottle virus: Agricultural menace turned effective tool for microbial water quality monitoring and assessing (waste)water treatment technologies. *PLOS Pathogens*, 15(4), e1007639. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007639>
- Tal, A. (2022). Wastewater reuse in Israel: A model for sustainable water management. *Water Research*, 198, 117-129.
- Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J. P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, 72(9), 1495-1504.
- Tas I., 2020. Use of Waste Water As Irrigation Water. Academic Studies in Engineering. Editors Hayaloğlu A., and Gunay A. (ed.) Gece Publishing Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara. ISBN • 978-625-7912-16-7
- Tas I., 2024. Wastewater Use In Agricultural Irrigation In Terms Of Health Risks. 9TH International Azerbaijan Congress On Life, Engineering, Mathematical, And Applied Sciences Congress Proceedings Book. p: 1389-1407. December 20-22, 2024. Baku- Azerbaijan. ISBN: 978-9952-8541-4-5. DOI: <https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8541-4-5.2024.3007>.

- Tas, I., Ozkay, F., Gokalp, Z., Tekiner, M., 2007. Atık Su Artımında Ters Osmoz Sistemlerinin Kullanılması. Ulusal Çevre Sempozyumu Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. 18-21 Nisan 2007. Mersin.
- Tas, I., Yildirim, Y.E., Ozkay, F., 2015. The Potentiality of Wastewater Use for Irrigation in Turkey. *Plants, Pollutants and Remediation*. Eds. Münir Öztürk, Muhammad Ashraf, Ahmet Aksoy, M.S.A. Ahmad, Khalid Rehman Hakeem. Springer Science+Business Media Dordrecht. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. 2015.
- Toze, S., 2006. Reuse of effluent water – benefits and risks. *Agricultural Water Management* 80, 147–159.
- Tran, Q. K., Jassby, D., & Schwabe, K. A. (2016). Wastewater Reuse for Agriculture: Development of a Regional Water Reuse Decision-Support Model (RWRM) for Cost-Effective Irrigation Sources. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 9390–9399. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02073>
- Trotta, V., Baaloudj, O., & Brienza, M. (2024). Risks associated with wastewater reuse in agriculture: investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842>
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water Scarcity and Wastewater Reuse in Crop Irrigation. *Sustainability*, 12(21), 9055. <https://doi.org/10.3390/su12219055>
- United Nations Water, (2024). Progress on Wastewater Treatment – 2024 Update.
- Urra, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2019). Potential Benefits and Risks for Soil Health Derived From the Use of Organic Amendments in Agriculture. *Agronomy*, 9(9), 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090542>
- USEPA, 1998. Preliminary Risk Assessment for Viruses in Municipal Sewage Sludge Applied to Land. United States Environment Protection Agency, USA.
- Usman, K., Ghulam, S., Khan, M. A., Khan, M. U., Khan, N., Khan, S., & Khalil, S. K. (2012). Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. *American Journal of Plant Sciences*, 03(12), 1708–1721. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.312209>

- Van Derslice, J., Briscoe, J., 1993. All coliforms are not created equal: a comparison of the effects of water source and in-house water contamination on infantile diarrheal disease. *Water Resources Research* 29 (7), 1983–1996.
- Varela, A. R., & Manaia, C. M. (2013). Human health implications of clinically relevant bacteria in wastewater habitats. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 3550–3569. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1594-0>
- Vaz da Costa Vargas, S., Bastos, R.K.X. and Mara, D.D. (1996) Bacteriological aspects of wastewater irrigation. *Tropical Public Health Engineering (TPHE) Research Monograph no.8*, University of Leeds (Department of Civil Engineering) Leeds, UK.
- Wang, Z., Li, J., & Li, Y. (2017). Using Reclaimed Water for Agricultural and Landscape Irrigation in China: a Review. *Irrigation and Drainage*, 66(5), 672–686. <https://doi.org/10.1002/ird.2129>
- Weber, S., Khan, S., Hollender, J., 2006. Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. *Desalination* 187 (1–3),53–64.
- WHO (World Health Organization). (1992) *Environmental Health Criteria 135: Cadmium-Environmental Aspects*, WHO, Geneva, Switzerland, 156 pp
- WHO, World Health Organization, (2024). *Global status of wastewater use in agriculture*. WHO Technical Report Series.
- WHO, World Health Organization. (1989). *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41681/9241542489.pdf>
- WHO, World Health Organization. (2006). *WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Vol. 2. Wastewater use in agriculture*. <https://www.who.int/publications/i/item/9241546859>
- Wu, X., Nawaz, S., Zhang, H., & Li, Y. (2024). Environmental health hazards of untreated livestock wastewater: potential risks and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(17), 24745–24767. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32853-6>
- Yalin, D., Craddock, H. A., Assouline, S., Ben Mordechay, E., Ben-Gal, A., Bernstein, N., Chaudhry, R. M., Chefetz, B., Fatta-Kassinos, D., Gawlik,

- B. M., Hamilton, K. A., Khalifa, L., Kisekka, I., Klapp, I., Korach-Rechtman, H., Kurtzman, D., Levy, G. J., Maffettone, R., Malato, S., Manaia, C. M., & Cytryn, E. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. *Water Research X*, 21, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100203>
- Yasir, M. (2020). Analysis of Microbial Communities and Pathogen Detection in Domestic Sewage Using Metagenomic Sequencing. *Diversity*, 13(1), 6. <https://doi.org/10.3390/d13010006>
- Yerli, C., Sahin, U., Ors, S., & Kiziloglu, F. M. (2022). Improvement of water and crop productivity of silage maize by irrigation with different levels of recycled wastewater under conventional and zero tillage conditions. *Agricultural Water Management*, 277, 108100. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108100>
- Yuan, Y. (1993) Etiological study of high stomach cancer incidence among residents in wastewater-irrigated areas, *Environmental Protection Science* 19(1), 70–73, (in Chinese). In: World Resources Institute, *A Guide to the Global Environment: Environmental Change and Human Health*, Oxford University Press, New York, USA, pp. 122.
- Zeng, X., Chen, X., Wang, J., Guo, J., Zhuang, J., & Wang, Z. (2015). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of wheat grown in Tianjin sewage irrigation area. *Ecotoxicology*, 24(10), 2115–2124. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1547-0>

BÖLÜM 8

SU VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMADA ETKİLİ YÖNTEM: KONTROLLÜ DRENAJ

İsmail TAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17224416>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Çanakkale, Türkiye. tas_ismail@yahoo.com, orcid id: 0000-0003-0872-2529

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimde kök bölgesi nem yönetimi, bitki gelişimi ve verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bitkilerin sağlıklı gelişimi için kök bölgesinde optimal su-hava dengesinin sağlanması gerekmektedir. Taban suyunun yüksek olduğu veya doğal drenajın yetersiz kaldığı bölgelerde, bitki köklerinin sürekli su altında kalması, kök hipoksisine ve toksik anaerobik metabolitlerin birikimine yol açarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Drenaj sistemleri, sürdürülebilir tarımsal üretim ve çevre koruma için olmazsa olmaz olan kök bölgesindeki su dengesinin korunmasında önemli bir rol oynar. İlk olarak, drenaj sistemleri hem sulak hem de sulanan alanlarda topraktan fazla suyun uzaklaştırılmasına yardımcı olarak, bitki kök bölgesinde uygun bir su ve tuz dengesi sağlar. Bu, hem yüzey hem de yüzey altı drenaj sistemlerinin kullanıldığı iklim koşullarına sahip bölgelerde özellikle önemlidir. Uygun drenaj, bitki büyümesini ve verimliliğini ciddi şekilde etkileyebilecek su taşkınlarını ve tuz birikimini önler. Ayrıca, drenaj sistemleri su kalitesi yönetiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Tarımsal akışla ilişkili önemli bir çevresel sorun olan besin kirliliğini azaltmaya yardımcı olurlar. Taban suyu seviyesinin ve drenajın kontrol altına alınması, tarımsal uygulamaların üçüncü taraf etkilerinin azaltılmasına yardımcı olabilir ve böylelikle drenajı yalnızca bir verimlilik artırıcı olmaktan çıkarıp bir çevre kontrol yöntemine de dönüştürür.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde, sulama sistemleri ve drenaj arasındaki etkileşim, bölgesel hidrolojik döngülerde önemli bir rol oynar. Drenajın etkili bir şekilde yönetilmesiyle, su kullanım verimliliği artar, tarımsal su ayak izini azaltır ve ekolojik sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Ayrıca, tuzlanma ve taşkın eğilimli bölgelerde, sulama kaynaklı sorunları yönetmek için taban suyu dengesinin oluşturulmasında toprak sağlığını ve tarımsal verimliliği korumak için drenaj sistemleri kritik önemdedir. Ayrıca, bu sistemler daha verimli sulama uygulamalarına da katkıda sağlar.

Toprakta fazla suyun birikerek bitki kökleri için yeterli oksijenin bulunmamasına neden olmasıyla kök gelişimi engellenebilir ve temel besin maddelerinin alınımı durabilir. Bu nedenle bitkiler strese girerek büyüme durabilir, şiddete ve süreye bağlı olarak bitki ölümleri de oluşabilir.

Uygun drenaj, yalnızca su taşkınlarını önlemek için değil, aynı zamanda yetersiz drenajın toprakta tuz birikmesine yol açmasıyla ortaya çıkabilen toprak tuzlanmasını önlemek için de önemlidir. Aşırı tuz varlığında, bitkiler

etkilenebilir. Su almakta zorlanır ve buna bağlı olarak da bitki büyümesi ve verimliliği olumsuz etkilenebilir. İyi tasarlanmış ve etkin çalışan drenaj sistemleri, fazla suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırarak bu riskleri azaltır ve böylece sağlıklı kök bölgesi desteklenerek verimli su ve besin emilimi sağlanır. Dahası, verimli drenaj sistemleri, küresel su kaynakları için artan rekabet göz önüne alındığında hayati önem taşıyan tarımda su kullanım verimliliğine (WUE) katkıda bulunur. Bu sistemler, tüketilen su birimi başına ürün verimini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan daha geniş sulama yönetim stratejilerinin de bir parçasıdır. Drenaj sistemleri, yüzey akışı gibi sorunları önleyerek ve suyun aşırı kayıp olmadan bitki köklerine ulaşmasını sağlayarak su kullanımını optimize etmeye, kaynakları korumaya ve ürün üretimini iyileştirmeye yardımcı olur (Pascale vd., 2011).

Drenaj sistemlerinin çevresel etkileri, yapılan birçok bilimsel araştırmayla detaylı şekilde incelenmiştir. Gilliam vd., (1978) araştırmaları, yüzey drenaj sistemlerinin sediment, fosfor, organik azot ve pestisitleri taşıdığını ortaya koyarken, yüzey altı drenaj sularının ise özellikle yüksek nitrat içeriğiyle dikkat çekmektedir. Örneğin, Portekiz'in Lis Vadisi'nde, drenaj suyunun sulama için kullanılması, suyun önemli ölçüde yeniden kullanılma potansiyelini ortaya koyarak, drenaj sistemlerinin su tasarrufu ve kalite yönetimindeki önemini ortaya koymaktadır (Gonçalves vd., 2020).

Algoazany vd., (2005)'nin Illinois'te yürüttüğü çalışmalar, drenaj suyundaki nitrat konsantrasyonunun gübreleme uygulamalarına bağlı olarak 8-19 mg/L arasında değiştiğini ve yıllık nitrat kaybının hektar başına 79-115 kg'a ulaşabildiğini ortaya koymuştur. Bu kayıplar hem ekonomik açıdan hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlar yaratmaktadır. Kontrollü drenaj sistemleri ve modern su yönetimi uygulamaları, besin elementi kayıplarının azaltılmasında etkili çözümler sunmaktadır. Fouss vd., (2004) araştırmalarında, kontrollü drenaj uygulamalarıyla nitrat kayıplarının %35'e varan oranlarda azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Özellikle yetiştirme döneminde taban suyu seviyesinin 0.60-0.75 m derinlikte tutulması ile optimum sonuçlar elde edilmiştir. Causapé vd., (2006) çalışmalarında, gelişmiş sulama yönetimi teknikleriyle nitrat yükünde %50, nitrat konsantrasyonunda ise %24 oranında azalma sağlanabileceğini belirtmektedir. Modern sulama sistemlerinin kullanımıyla, geleneksel yöntemlerde %20 olan drenaj suyu oranı %10'a kadar düşürülebilmektedir. Besin elementi kayıplarının azaltılması için

gübreleme zamanlaması ve su yönetimi büyük önem taşımaktadır. Bjorneberg vd., (1996) Iowa’da yaptığı araştırmalar, nitrat kayıplarının %45-85’inin bitkilerin aktif büyüme göstermediği bahar ve güz dönemlerinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, gübreleme programlarının ve su yönetimi stratejilerinin bu dönemlere özel olarak planlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda drenaj sistemleri içerisinde sağladığı yararlar nedeniyle öne çıkan kontrollü drenaj, tarımsal üretim için çeşitli faydalar sunar. Özellikle su kalitesini iyileştirme, su kullanımını optimize etme ve ürün verimliliğini artırma etkisine sahiptir. Önemli avantajlarından biri, azot ve fosforun yüzey sularına taşınmasını ve iletilmesini azaltarak besin kirliliğini %30 ila %50 oranında düşürmesidir (Evans vd., 1995). Besin maddesi çıkışındaki bu azalma, su ekosistemlerinin sağlığını korumak ve tarımın genel olumsuz çevresel etkisini azaltmak için kritik öneme sahiptir. Su kalitesini iyileştirmenin yanı sıra, kontrollü drenaj su yönetiminde de önemli bir rol oynar. Bu sistemler drenajı yalnızca fazla suyu uzaklaştırmaktan çıkararak, entegre bir çevre kontrol sistemine dönüştürür. Bu uygulama, su giderimini su kalitesinin korunması ve dengeleme yeteneği nedeniyle giderek daha fazla benimsenmekte ve Kuzey Amerika’daki Tarımsal Drenaj Yönetim Sistemlerinin temel bir bileşeni haline gelmiştir (Madramootoo vd., 2007). Bu sistemler, su kütlelerine kirletici madde iletimini azaltmak da dahil olmak üzere birçok hedefi ele almak üzere tasarlanmıştır. Ayrıca, kontrollü drenaj sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekler. Su seviyelerini kontrol ederek, bitki sağlığı ve verimi için hayati önem taşıyan optimum toprak nem koşullarının korunmasına yardımcı olur. Bu yaklaşım, hassas sulama planlamasına olanak tanır ve bitkilerin tam olarak doğru miktarda su almasını sağlayarak israfı en aza indirerek su kullanım verimliliğini artırır (Kumar vd., 2023). Genel olarak, kontrollü drenaj sistemlerini tarımsal uygulamalara entegre ederek çiftçiler hem çevresel sürdürülebilirliği hem de tarımsal verimliliği artırabilirler. Çevresel kaygılar ve tarımsal ihtiyaçlar arasındaki bu denge, su yönetimi uygulamalarında önemli bir ilerlemeyi temsil ederek tarım için daha sürdürülebilir bir geleceği teşvik eder.

Sürdürülebilir tarımsal üretim; drenaj sistemlerinin etkin yönetimini, gübreleme programlarının optimizasyonunu ve modern sulama tekniklerini de içeren bir entegrasyon ile mümkündür. Bu uygulamaların yaygınlaştırılması hem tarımsal verimliliğin artırılmasına hem de çevresel etkilerin minimize

edilmesine katkı sağlayacaktır. Gelecekte yapılacak araştırmalar ve teknolojik gelişmeler, bu sistemlerin etkinliğinin daha da artırılmasına yardımcı olacaktır. Öte yandan hem son yıllarda sürekli olarak vurgulanan iklimsel dalgalanmalara bağlı olarak meydana gelen farklı şiddetlerdeki kuraklık afetlerine karşı hem de su kaynaklarının korunması ve daha etkin kullanılmasına büyük katkılar sağlayan sistemlerden bir tanesi de kontrollü drenaj sistemleridir. Yapılan bu çalışmada, sürdürülebilir tarımsal üretim ve çevrenin korunmasının yanında suyun (yağışlar dahil) en etkin şekilde kullanıldığı kontrollü drenaj sistemleri konusunda yararlı bilgiler sunulacaktır.

2. TARIMSAL KURAKLIK VE ETKİLERİ

Küresel iklim değişkenliği, su kaynaklarına olan artan talep ve artan sıcaklık değerleri, tarımsal üretim üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu bağlamda tarımsal kuraklık, bitkisel üretimin sürdürülebilirliği açısından kritik bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Tarımsal kuraklık, belirli bir zamanda belirli bir ürünün ihtiyaçlarını karşılayacak toprak neminin yetersiz olduğu durumu ifade eder. Kuraklık, bitki büyümesi ve gelişimi için yeterli su temin edilememesi nedeniyle ürün üretiminde düşüşe yol açan kuraklık türüdür. Bu tür kuraklık yalnızca mevcut su miktarına değil, aynı zamanda kritik büyüme aşamalarındaki nem arzı (yağış miktarı) ile ürün su ihtiyacı arasındaki ilişkiye de bağlıdır. Sonuç olarak, yağışın zamanlaması, dağılımı veya yoğunluğu ürünlerin su ihtiyaçlarıyla uyumuyorsa, normal yağış seviyelerine sahip bölgelerde bile tarımsal kuraklık meydana gelebilir. Tarımsal kuraklık fenomeni, su kaynaklarının yetersizliğinden kaynaklanan ve tarımsal üretimi derinden etkileyen kompleks bir ekolojik krizdir. Bu olgu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaşayan toplulukların varoluşsal bir tehdidi haline gelmiştir (Wilhite ve Glantz, 1985). Küresel ölçekte yankı bulan bu kriz, ekonomik çöküntüler ve gıda güvenliği problemleri gibi çok katmanlı sonuçlar doğurmaktadır (Trenberth vd., 2014).

Tarımsal kuraklık, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık ile simbiyotik bir ilişki içerisindedir. Meteorolojik kuraklık, yağış rejimindeki uzun süreli anomalileri işaret ederken, hidrolojik kuraklık, yeraltı ve yüzey su rezervuarlarındaki kritik azalmaları kapsamaktadır (Wilhite ve Glantz, 1985). Dai'nin (2011) vurguladığı üzere, bitki fizyolojisi ve verimliliği, toprak nem dengesi ve su kaynaklarına bağımlı olduğundan, tarımsal kuraklık doğrudan

gıda üretim kapasitesini etkilemektedir. Tarımsal kuraklığın yarattığı etkiler, toplumsal yaşamın her katmanında hissedilmektedir. Örneğin ekonomik açıdan bakıldığında, tarımsal üretimde yaşanan düşüş, çiftçi gelirlerinde dramatik azalmalara ve gıda enflasyonuna yol açmaktadır (FAO, 2017). Aynı zamanda ekolojik açıdan bakıldığında biyoçeşitlilik kaybı, toprak degradasyonu ve su kaynaklarının tükenmesi gibi geri dönüşü zor çevresel tahribatlar ortaya çıkmaktadır (Dai, 2011). Öte yandan sosyal boyutu dikkate alındığında da öne çıkan konu gıda güvenliği olmaktadır. Gıda güvenliğindeki problemler zorunlu göç hareketleri ve toplumsal huzursuzluk gibi kritik sosyal problemlere neden olmaktadır (Wilhite ve Glantz, 1985). Tarımsal kuraklıkla mücadelede dört temel strateji öne çıkmaktadır. Bunlar; i) Teknolojik İnovasyon [sofistike erken uyarı sistemleri ile kuraklık riskinin proaktif yönetimi (Svoboda vd., 2002)], ii) Hidrolojik Optimizasyon [ileri sulama teknolojileri ve su tasarrufu odaklı yaklaşımların implementasyonu (Postel, 1999)], iii) Toprak Islahı [toprak organik materyalinin zenginleştirilmesi ve erozyon kontrolü stratejileri (Lal, 2001)] ve iv) Kurumsal Kapasitenin Geliştirilmesi [çiftçi eğitimi ve bütüncül kuraklık yönetimi politikalarının formülasyonu (FAO, 2017)] olarak sıralanabilir.

Tarımsal kuraklığın etkileri çok yönlü ve derindir. Örneğin, Macaristan'da kuraklık olayları, özellikle mısır ve buğday olmak üzere ürün verimini önemli ölçüde etkileyerek, ürünlerin kuraklığa karşı dayanıklılığını azaltmakta ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri gibi gıda güvenliği hedeflerini etkilemektedir (Mohammed vd., 2022). Çin'de ise tarımsal gıda üretimi, sosyoekonomik faktörlerle bir araya geldiğinde verim düşüşlerini ve gıda üretimi istikrarını önemli ölçüde tehdit eden aşırı kuraklıklara karşı oldukça hassastır (Yu vd., 2018). Tarımsal kuraklık yalnızca ürün üretimini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda toprak organik karbonunu da etkiler. Kuraklık, toprağın su ve organik karbon içeriğini azaltarak olumsuz ürün gelişimine ve gıda üretiminde daha fazla güvensizliğe yol açar. Etkili su yönetimi ve tarım uygulamaları, bu etkileri azaltmak ve toprak sağlığını korumak için hayati önem taşır (Soares vd., 2023).

Türkiye'de tarımsal kuraklık, özellikle Ege, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ciddi etkiler yaratmaktadır. Ege Bölgesi'nde yağışların %70'i aşan oranlarda azalması zeytin, üzüm ve pamuk gibi ürünleri üretimini büyük oranda etkilemektedir. İç Anadolu'da buğday ve arpa üretimi,

toprak neminin azalmasıyla risk altına girerken; Güneydoğu Anadolu’da artan sıcaklıklar ve azalan yağışlar sulama ihtiyacını artırmakta, ancak su kaynakları hızla yetersiz hale gelmektedir. Bu bölgelerde tarımsal kuraklık, sadece ürün verimini değil, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve kırsal ekonomiyi de tehdit etmektedir.

Dünyadan örnekler verilecek olursa, Erdebil Ovası’nda yapılan bir çalışma, buğday üretiminde önemli bir düşüş olduğunu bildirmiş ve devam eden kuraklık koşulları nedeniyle daha fazla düşüş olacağını öngörmüştür (Javan vd., 2023). Bu etkiler yalnızca gıda üretimini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çiftçiler ve tarım ekonomisi için mali kayıplara da yol açar. Ayrıca, tarımsal kuraklık, özellikle yağışa dayalı tarım yapılan bölgelerde gıda güvenliğini büyük oranda etkiler. Etiyopya’da uzun süreli kuraklıklar, buğday ve mısır gibi başlıca tahılların verimini önemli ölçüde düşürerek, küçük çiftçilerin iklim değişikliklerine karşı savunmasızlığını daha da artırmıştır (Feleke vd., 2025). Öte yandan, tarımın çevresel sürdürülebilirliğini de riske atmaktadır. Toprak erozyonu, tuzlanma ve çölleşme gibi sorunları yoğunlaştırarak toprak sağlığını ve verimliliğini tehlikeye atmaktadır. Toprak koşullarındaki bu değişiklikler, su kalitesini ve bulunabilirliğini düşürerek zaten kıt olan kaynaklara daha fazla yük bindirebilir (Wheaton ve Kulshreshtha, 2017).

Tarımsal kuraklığın etkilerine karşı koymak için adaptasyon stratejileri hayati önem taşır. Bunlar arasında kuraklığa dayanıklı ürün çeşitlerinin geliştirilmesi, sulama verimliliğinin artırılması ve bitki kuraklığına toleransı artırmak için fito-sentezlenmiş nanopartiküller gibi ileri teknolojilerin uygulanması yer almaktadır (Wahab vd., 2023). Ayrıca, adaptif stratejiler, iklim değişkenliği karşısında sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek için hem iklimsel hem de kurumsal faktörleri göz önünde bulundurmalıdır.

3. TARIMSAL KURAKLIKLILA MÜCADELE YOLLARI

Tarımsal kuraklığın etkilerini azaltmak için çeşitli adaptasyon stratejileri önerilmiştir. Bunlar arasında kuraklık koşullarına daha iyi dayanabilen, ıklime dayanıklı ürünlerin geliştirilmesi yer almaktadır (Safdar vd., 2024). Ayrıca, yağmur suyu hasadı ve randımanı yüksek sulama sistemleri gibi sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları, su kıtlığı koşullarında üretimi sürdürmek için hayati önem taşımaktadır (Kertolli vd., 2024). Hassas tarım ve geleneksel bilginin

bilimsel gelişmelerle bütünleştirilmesi gibi yenilikçi uygulama ve teknolojilerin araştırılması, tarım sistemlerinin tarımsal kuraklığa karşı dayanıklılığını artırmak için hayati önem taşımaktadır (Sarma vd., 2024). Bu yaklaşımlar, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve değişen iklim koşullarında tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Hassas tarım ve geleneksel bilginin bilimsel gelişmelerle bütünleştirilmesi gibi yenilikçi uygulama ve teknolojilerin araştırılması, tarım sistemlerinin tarımsal kuraklığa karşı dayanıklılığını artırmak için hayati önem taşımaktadır (Sarma vd., 2024). Bu yaklaşımlar, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve değişen iklim koşullarında tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.

Tarımsal kuraklıkla mücadele, kuraklığa dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesinden su kullanım verimliliğinin optimize edilmesine kadar çeşitli stratejilerin uygulanmasını içerir. Tarımsal kuraklığın etkilerini azaltmak için kullanılabilecek birkaç yöntem aşağıdaki gibidir;

1) Tohum Hazırlama: kuraklık stresine dayanıklılığı artırmak için uygun maliyetli bir tekniktir. Tohum çimlenmesini iyileştirerek ve oksidatif strese karşı koruma sağlayarak, tohum hazırlama hücrel savunmaları erken harekete geçirir. Emilim süresini kısaltır ve ozmotik düzenlemeyi destekleyerek bitkileri kuraklığa karşı daha dayanıklı hale getirir (Marthandan vd., 2020).

2) İslah ve Genetik İyileştirme: Marker destekli seleksiyon ve genomik seleksiyon dahil olmak üzere ıslah yöntemleri aracılığıyla kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, dayanıklılığı artırabilir. Bitkilerin yabani akrabalarında ve yerel çeşitlerinde doğal kuraklık toleransı genlerinden yararlanmak, uzun süreli kuraklık dönemlerine dayanabilen bitkilerin yetiştirilmesine yardımcı olur (Rosero vd., 2020).

3) Tarımsal Ekolojik Uygulamaların Geliştirilmesi: Organik toprak işleme, azaltılmış toprak işleme ve çeşitlendirilmiş ekim gibi uygulamaları içeren sürdürülebilir tarım sistemleri kuraklığa karşı daha dirençlidir. Bu uygulamalar, toprak sağlığını iyileştirerek ve su girdilerine olan bağımlılığı azaltarak dayanıklılığı artırır (Knutson vd., 2011).

4) Meyve Bahçesi ve Bahçecilik Stratejileri: Kurak bölgelerde, yağmur suyu hasadı, kuraklığa dayanıklı meyve ağacı çeşitlerinin seçilmesi ve su stresine karşı koruyucu materyallerin kullanılması gibi stratejilerin

benimsenmesi, kuraklık koşullarında meyve bahçesi yönetimini iyileştirebilir. Bahçe bitkilerinde kuraklığa dayanıklılığı artırmak için CRISPR gen düzenlemesi de dahil olmak üzere moleküler stratejiler de araştırılmaktadır (Devin vd., 2023).

5) Politika ve Yönetim Uygulamaları: En iyi yönetim uygulamalarının ve karar destek araçlarının uygulanması, ürün verimliliği ve sürdürülebilir su kullanımı arasında bir denge kurulmasına yardımcı olabilir. Ürün su gereksinimlerini göz önünde bulundurarak su kaynaklarının bölgeler arasında yeniden tahsis edilmesini sağlayan teknikler, tarımsal faydaları korurken su kullanımını önemli ölçüde azaltabilir (Udias vd., 2018).

6) Su Kullanım Verimliliği: Kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımda su kullanım verimliliğini artırmak hayati önem taşır. Kuraklıkla mücadele ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının sağlanmasında temel faktördür. Bu, toprak nemini doğru bir şekilde geri kazandırmak için sulama yöntemlerinin optimize edilmesini içerir. Verimli su yönetimi stratejileri, tam ürün su ihtiyacının altında su uygulayarak mevcut su kaynaklarını optimize etmeyi içeren kontrollü sulama yöntemlerini içerir (Alharbi vd., 2024). Su kullanım verimliliğini artırmak için uygulanabilecek birkaç strateji şöyle sıralanabilir;

- i) Su Akıllı Teknolojileri: Su hasadı, mikro sulama ve kaynak koruma tarımı gibi su akıllı tarım tekniklerinin uygulanması esastır. Su akıllı tarım, kuraklığa dayanıklı ürün çeşitlerinin yetiştirilmesini, yağışa dayalı tarım sistemlerinin teşvik edilmesini ve yağmur suyu hasadının yaygınlaştırılması (Frimpong vd., 2023).
- ii) Mikro Sulama Sistemleri: Suyu doğrudan bitki köklerine ileten damla ve yağmurlama (liner-pivot) sulama sistemlerinin kullanılması, su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Bu sistemler, buharlaşma ve akıştan kaynaklanan su kaybını azaltarak su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını olanak sağlar.
- iii) İklim Temelli Akıllı Su Yönetimi: Su kıtlığını azaltmasına ve tarımsal üretimin iklime değişkenliğine karşı direncinin artırılmasına katkı sağlar. Su hasadı, verimli sulama sistemleri ve kaynak koruma uygulamalarını içeren entegre bir yaklaşım, kuraklığa eğilimli bölgelerde bile tarımsal verimliliğin korunmasına büyük oranda katkılar sağlamaktadır.

- iv) Koruyucu Tarım: Sıfır veya minimum toprak işleme, bitki rotasyonu ve toprak örtüsünün korunması gibi uygulamalar, toprak sağlığını ve su tutma kapasitesini iyileştirebilir. Koruyucu tarım, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur, toprak erozyonunu azaltır ve sürdürülebilir su kullanımını teşvik eder.

Bu stratejilerin entegre edilmesiyle, tarım sistemleri su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir, sürdürülebilir tarımı ve kuraklık koşullarına karşı dayanıklılığı garanti altına alabilir.

Tarımsal kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmak, dayanıklılığı artırmak ve kuraklığa eğilimli bölgelerde sürdürülebilir üretimi sağlamak için kullanılabilecek çeşitli yaklaşımları vurgulamaktadır. Tarımsal kuraklık ürün verimini, gıda güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği ciddi şekilde etkilemektedir. Zorlukların üstesinden gelmek için, tarımda dayanıklılığı garanti altına alan, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden ve gıda sistemlerini iklim değişikliğinin getirdiği olumsuzluklara karşı koruyan uyarlanabilir stratejiler ve yenilikçi uygulamalar benimsemek esastır.

4. KURAKLIKTA TOPRAK NEMİNİN ÖNEMİ

Toprak nemi, tarımsal üretim ve ekosistemlerin sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Kuraklık dönemlerinde toprak neminin azalması, bitki büyümesi, su döngüsü ve karbon depolama süreçleri üzerinde olumsuz etkiler yaratır (Lal, 2001). Yeterli toprak nemi, ürün büyümesini ve verimliliğini sürdürmek için olmazsa olmazdır. Bitkilerin fotosentez, besin taşınımı ve çeşitli fizyolojik süreçler için hayati önem taşıyan sürekli bir su kaynağına sahip olmasını sağlar. Yeterli nem olmadan, ürünler su stresi yaşayabilir ve bu da büyümenin azalmasına ve verimin düşmesine neden olabilir (Hao vd., 2025). Kurak dönemlerde toprak neminin korunması, su stresinin önlenmesine yardımcı olur. Bitkiler su stresi yaşadığında, temel besinleri emme kabiliyetleri azalır ve bu da besin eksikliklerine ve bitki sağlığının bozulmasına neden olabilir. Toprak nem seviyelerinin yönetilmesi, ürünlerin buharlaşma-terleme ihtiyaçlarını karşılayabilmesini sağlayarak stres riskini azaltır (Modanesi vd., 2020). Toprak nemi, yalnızca bitkilerin su ihtiyacını karşılamakla kalmaz, aynı zamanda toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini ve besin döngüsünü de destekler (Hillel, 1998). Yeterli nem seviyeleri, toprak yapısının korunmasına ve aşırı kurduğunda oluşabilecek toprak sıkışmasının önlenmesine yardımcı

olur. Malçlama gibi uygulamalarla sağlanan nem tutma, toprağın organik madde içeriğini artırabilir ve toprak sağlığını iyileştirerek daha iyi kök gelişimine ve daha yüksek ürün dayanıklılığına yol açabilir (Demo ve Bogale, 2024; El-Beltagi vd., 2022). Öte yandan toprak nemi, topraktaki mikrobiyal aktiviteyi ve besin döngüsünü doğrudan etkiler. Optimum nem seviyeleri, mikrobiyal süreçleri destekler ve organik maddelerin ayrışmasını destekleyerek dengeli bir ekosisteme ve daha sağlıklı ürünlere katkıda bulunur (Hao vd., 2025).

Toprak neminin korunması, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Hassas sulama planlaması ve hidrojel veya toprak düzenleyicilerin kullanımı gibi teknikler, kurak dönemlerde kök bölgesinde suyun tutulmasına yardımcı olarak sık sulama ihtiyacını azaltır ve su tasarrufuna önemli katkılar sağlar. Ayrıca toprakta uygun nem yönetimi, özellikle yağışa dayalı tarımda toprak tuzluluğu ve sodyumluluğundan kaynaklanan olumsuz etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Kısaca, toprak neminin korunması sürdürülebilir tarım uygulamalarına, kuraklıkta bitki dayanıklılığına artırılması, özellikle su kıtlığı dönemlerinde istikrarlı verim sağlanması ve tarımsal ekosistemlerin uzun vadeli sağlığında da önemlidir.

Kurak dönemlerde toprak nemini korumak için yapılabilecek her işlem aynı zamanda su verimliliğini artırmada etkilidir. Sonraki başlıkta ayrıntılı şekilde açıklanan yöntemlerden malçlama, zamanında ekim ve yabancı ot kontrolü, örtücü bitki ve rotasyon, toprak işleme yönetimi ve sulama sistemi ve su yönetimi tekniklerinin birlikte kullanılması ve üretim süreçlerine bu yöntemlerin entegre edilmesi, tarımsal üretime önemli katkılar sağlarken aynı zamanda ekosistemlerin korunmasına yardımcı olur.

5. TARIMDA SU VERİMLİLİĞİNİN ARTIRMA YÖNTEMLERİ

Tarımda su kullanım verimliliğinin artırılması, kuraklıkla mücadele için kritik bir stratejidir. Çünkü tüketilen su birimi başına ürün verimliliğini optimize ederken buharlaşma, yüzey akışı ve verimsiz terleme yoluyla oluşan kayıpları en aza indirir. Tarımda su verimliliğini artırmak için çeşitli agronomik, teknolojik ve fizyolojik yaklaşımlar uygulanabilir. Bu yöntemler aşağıda ki gibi özetlenebilir.

5.1 Malçlama

Malçlama, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımda su verimliliğini ve bulunabilirliğini artırmada çeşitli önemli faydalar sunar. Toprak üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturarak malçlama, toprak ve atmosfer arasında bir bariyer görevi görür, böylece toprak buharlaşmasını azaltır, toprak sıcaklığını düzenler ve toprağın nem tutma kapasitesini artırır (El-Beltagi vd., 2022; Demo ve Bogale, 2024; Bhargavi ve Anusha, 2023). Toprak neminin bu şekilde daha fazla tutulması ve sıcaklığın düzenlenmesi, özellikle su stresi altındaki ortamlarda bitki susuzluğunun önlenmesi için faydalıdır ve bitkilerin büyüme dönemleri boyunca yeterli su almasını sağlar. Daha istikrarlı bir toprak sıcaklığı, su stresini en aza indirerek bitki büyümesi için elverişli bir ortam oluşturur ve su kullanım verimliliğini artırır (Bhargavi ve Anusha, 2023).

Saman veya kompost gibi organik malzemelerle malçlama, toprağı organik maddeyle zenginleştirerek besin bulunabilirliğini ve su tutma kapasitesini artırır, böylece genel bitki sağlığını ve verimliliğini destekler (Demo ve Bogale, 2024; Du vd., 2022). Ayrıca, malçlama, toprağı çarpan su damlacıklarının kinetik enerjisini en aza indirerek toprak erozyonunu önemli ölçüde azaltabilir ve yabancı ot büyümesini sınırlar, bu da topraktaki mevcut su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar (El-Beltagi vd., 2022; Du vd., 2022). Plastik filmler gibi sentetik malçların kullanımının, kritik ürün aşamalarında buharlaşma oranlarını azaltarak toprak nemini etkili bir şekilde koruduğunu göstermiştir (Zhao vd., 2023). Bununla birlikte, organik malçlar, ayrışmadan sonra toprağı zenginleştirebildikleri için çevresel faydaları nedeniyle genellikle tercih edilir (Demo ve Bogale, 2024). Örneğin, saman veya kompost malçları, üst profilde toprak nemini %3-5 oranında artırarak mısır ve üzüm bağları gibi ürünlerde WUE'yi iyileştirebilir (Alharbi vd., 2024; Hatfield ve Dold, 2019; Bodner vd., 2015).

Malçlamanın damla sulama gibi diğer sulama yönetimi uygulamalarıyla birleştirilmesi, suyu kök bölgesine hassas bir şekilde ulaştırarak verimliliği daha da artırır (Bhargavi ve Anusha, 2023). Özellikle saman malçlaması, kritik büyüme dönemlerinde daha derin toprak katmanlarındaki nemi tutarak, yağışa dayalı tarım senaryolarında su kullanım verimliliğini ve mahsul verimini önemli ölçüde artırabilir (Peng vd., 2015). Özetle malçlama, tarımda su kıtlığının etkilerini azaltabilen hem üretime hem de çevreye fayda sağlayan önemli bir su koruma stratejisi olarak ortaya çıkmaktadır (Ramos vd., 2024).

Bu nedenle, özellikle su kısıtlamalarından etkilenen bölgelerde sürdürülebilir tarım uygulamaları için benimsenmesi kritik öneme sahiptir (Kader vd., 2019; Demo ve Bogale, 2024; Zhao vd., 2023).

5.2. Örtücü Bitki ve Rotasyon

Tarımda su verimliliğini artırmak için uygulanan stratejilerden birisi de örtücü bitki ve bitki rotasyonudur. Bu uygulamalar aynı zamanda sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biridir. Bu stratejiler arasında ara ekim sistemleri, optimize edilmiş ekim geometrisi ve örtücü bitki uygulamaları öne çıkmaktadır.

Ara ekim sistemleri (örneğin mısır-soya fasulyesi veya inci darısı-güve fasulyesi), tek kültürlü tarıma göre %10-30 daha yüksek su kullanım verimliliği sağlayarak kaynak kullanımını iyileştirir ve ürün kaybına karşı koruma sağlar. Sıra aralığının optimizasyonu (örneğin, mısır için 35 cm’de daha dar sıralar) veya bitki yoğunluğunun ayarlanması, buharlaşmayı azaltır ve gölgelik kapanmasını iyileştirerek su kullanım verimliliğini %17’ye kadar artırır (Alharbi vd., 2024; Hatfield ve Dold, 2019; Bodner vd., 2015). Ara ekim sistemlerinde, örneğin mısır ve soya fasulyesinin şerit halinde ekimi, tek başına ekime kıyasla daha yüksek su kullanım verimliliği göstermiştir. 40-50 cm’lik dar sıra aralığına sahip mısır bitkileri, daha geniş soya fasulyesi sıralarıyla birleştirildiğinde maksimum verim ve verimli su dağılımı sağlamıştır (Rahman vd., 2016). Kurt üzümü ve yonca ara ekimi çalışmaları, tek başına ekime kıyasla yıllık ortalama toprak buharlaşmasında önemli azalmalar sağlamıştır (Wang vd., 2024).

Örtü bitkilerinin sezon dışında ekilmesi, toprak yapısını iyileştirir, erozyonu azaltır ve organik madde ile biyolojik çeşitliliği artırarak su tutulumunu artırır. Baklagiller gibi çeşitlendirilmiş ekim rotasyonları, nadas kayıplarını en aza indirerek ve su depolamasını optimize ederek su kullanım verimliliğini %20-50 oranında artırabilir (Alharbi vd., 2024; Hatfield ve Dold, 2019; Bodner vd., 2015). Örtü bitkileri, buharlaşmayı azaltarak, su sızmasını iyileştirerek ve toprak neminin tutulmasını artırarak toprak su tasarrufunu sağlar (Delaune ve Mubvumba, 2020; Garba vd., 2022). Bu sistemler ayrıca toprak sağlığını ve besin döngüsünü iyileştirerek dolaylı olarak su verimliliğine katkıda bulunur (Zhang vd., 2023). Mahsul rotasyonu, zararlı ve hastalık döngülerini kırarak su verimliliğini artırır ve su stresine bağlı bitki gerilemesini azaltır (Zou vd., 2024). Kuraklığa dayanıklı ve derin köklü bitkileri içeren

rotasyonlar, farklı toprak katmanlarındaki mevcut suyun daha iyi kullanılmasını sağlar (Pascale vd., 2011). Özetle, ara ekim, optimize edilmiş ekim geometrisi ve örtü bitkisi uygulamaları, sürdürülebilir yoğun tarımsal üretim için etkili stratejiler sunmaktadır. Bu uygulamalar, minimum su kullanımıyla maksimum verim elde edilmesini sağlayarak, özellikle iklim değişkenliği ve su kıtlığı koşullarında tarımsal sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlamaktadır (Rahman vd., 2016; Guerchi vd., 2024; Wang vd., 2024).

5.3. Toprak İşleme Yönetimi

Sıfır toprak işleme veya azaltılmış toprak işlemeyi benimsemek, toprak nemini korur, organik maddeyi artırır ve erozyonu azaltır; yağışa dayalı sistemlerde sızma ve yapıyı iyileştirerek su kullanım verimliliğini artırır (Alharbi vd., 2024; Bodner vd., 2015). Toprak işleme yöntemleri, tarımsal uygulamalarda su verimliliğini artırmada önemli bir rol oynar ve hem ürün veriminin artmasına hem de kaynakların korunmasına katkıda bulunur. Birçok çalışma, özellikle koruyucu tarımı teşvik edenler olmak üzere çeşitli toprak işleme yaklaşımlarının faydalarını rapor etmektedir. Toprak işlemesiz, azaltılmış toprak işleme ve alt toprak işleme gibi koruyucu toprak işleme tekniklerinin, su kullanım verimliliğini, yağış depolama verimliliğini ve toprak suyu depolamasını önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir. Bu yöntemler, toprağa verilen zararı azaltarak nemi korur ve toprağın su depolama kapasitesini iyileştirir. Örneğin, toprak işlemesiz tarım, kritik büyüme dönemlerinde artan toprak suyu tasarrufu sayesinde tane verimini ve su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırır. Bu yöntem, buharlaşmayı azaltarak ve toprak yapısını iyileştirerek daha iyi su depolama sağlar (Adil vd., 2024a; Adil vd., 2024b).

Toprak işleme yöntemleriyle birlikte örtü bitkileri ve malçlamanın kullanılması bu faydaları daha da artırabilir. Bu uygulamalar toprak erozyonunu azaltmaya, toprak nemini korumaya ve kök gelişimi için daha elverişli bir ortama katkıda bulunmaya yardımcı olur. Tutarlı bir toprak örtüsü sağlayarak, malçlama yüzey akışını azaltır ve toprağa daha etkili su sızmasını sağlar. Bu, su tasarrufu sağlayan tarım için gerekli olan nem tutma ve besin alımının iyileştirilmesine yardımcı olan daha istikrarlı bir mikro ortam yaratır (Yu vd., 2024; Lafond vd., 1996). Özellikle, bitkisel materyallerin (sap, saman vb. malcı gibi) kalıntısının kullanıldığı durumlarda birleştirilmiş stratejik

toprak işleme önemli katkılar sağlar. Bu stratejiler, aşırı su kaybını önleyerek toprak organik madde içeriğini artırabilir, toprak sıcaklığını düzenleyebilir ve toprak nemini artırabilir. Dahası, dengeli bir besin ortamına katkıda bulunarak dolaylı olarak ürünler tarafından daha randımanlı su kullanımını destekler (Du vd., 2022).

Su kıtlığının sorun olduğu bölgelerde, toprak sağlığını ve su tutma kapasitesini artıran toprak işleme yöntemlerinin benimsenmesi önemli avantajlar sağlayabilir. Örneğin, kontur toprak işleme ile alt toprak işlemenin birleştirilmesinin, Çin'deki eğimli tarım arazilerinde yüksek üretim kapasitesini korurken su kullanım verimliliğini artırdığı ve besin kaybını azalttığını gösterilmiştir. Bu yaklaşım, yüzey akışını ve toprak erozyonunu etkili bir şekilde azaltarak genel tarımsal su yönetimini iyileştirmiştir (Yu vd., 2024). Genel olarak, toprak bozulmasını azaltmaya ve toprak organik içeriğini artırmaya odaklanan toprak işleme yöntemleri, tarımda su verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Aynı zamanda bitkilerde verim ve kalitenin artırılmasını desteklemekle kalmaz, uzun vade de toprak sağlığı ve kaynak korumasını önceliklendiren sürdürülebilir tarım uygulamalarına da önemli katkılar sağlar (Dixit vd., 2024).

5.4. Zamanında Ekim ve Yabancı Ot Kontrolü

Zamanında ekim ve etkili yabancı ot kontrolü, tarımda su verimliliğini optimize etmede önemli stratejilerdir. Bu yaklaşımların faydaları, ürün yönetimi ve kaynak kullanımının çeşitli yönlerinde açıkça görülmektedir. Buharlaşıma talebinin düşük olduğu dönemlerde ekim yapmak, suyu korurken verimi en üst düzeye çıkarır. Etkili yabancı ot yönetimi (örneğin, herbisitler veya elle temizleme), rekabeti azaltır ve buğday ve nohut gibi ürünlerde su kullanım verimliliğini %10-20 oranında artırır (Alharbi vd., 2024; Bodner vd., 2015).

Ürün gelişiminin optimum nem seviyeleri gibi en uygun çevre koşullarıyla senkronize edilmesi için zamanında ekim şarttır ve bu da su kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Çiftçiler, ürünleri ideal zaman diliminde ekerek mevcut toprak neminden tam olarak yararlanabilir ve buharlaşma, yüzey akışı ve sızıntı yoluyla su kaybını en aza indirebilirler. Bu strateji aynı zamanda ürün büyüme aşamalarını doğal yağış düzenleriyle

uyumlu hale getirerek ek sulama ihtiyacını daha da azaltır ve daha az su tüketimiyle daha iyi ürün verimi sağlar (Pascale vd., 2011).

Yabancı otlar, besinler, ışık ve özellikle su için ürünlerle rekabet ettiğinden, su verimliliğini artırmada yabancı ot kontrolü de aynı derecede önemlidir. Etkili yabancı ot yönetimi, nem rekabetini önleyerek ürünlerin suyu daha verimli kullanmasını sağlar. Su stresi durumlarında, kontrolsüz yabancı ot büyümesi, yalnızca mevcut nem için rekabet ederek ürün verimini %50'den fazla azaltabilir (Abouzienna ve Haggag, 2016). Çeşitli yabancı ot kontrol yöntemleri su verimliliğine katkıda bulunur. Termal ve hassas ot temizliği gibi mekanik ve fiziksel yabancı ot kontrol teknikleri, kimyasal herbisitlere olan bağımlılığı azaltarak toprak ve su kalitesini etkileyebilecek potansiyel çevre kirleticilerini önler. Ayrıca, biyolojik, mekanik ve kültürel teknikleri birleştiren entegre yabancı ot yönetimi stratejileri çevresel olarak daha sürdürülebilirdir ve çiftlik sistemleri içindeki ekolojik dengeyi koruyarak su kullanımını artırabilir (Gao ve Su, 2024; Bajwa vd., 2015). Ayrıca, yabancı ot kontrolünün yanı sıra ürün kalıntısı yönetimi ve örtü bitkisi yetiştiriciliğini de içeren entegre bir yaklaşımın benimsenmesi, toprak neminin korunmasına ve sağlıklı toprak ekosistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olur. Bu, toprakların su tutma kapasitesini artırarak, ürünlerin kritik büyüme dönemlerinde yeterli suya erişmesini sağlar. Özet olarak, zamanında ekim ve etkili yabancı ot kontrol uygulamaları, mevcut nemin kullanımını optimize ederek ve rekabetten kaynaklanan kayıpları en aza indirerek tarımda su verimliliğini önemli ölçüde artırır. Bu uygulamalar yalnızca daha yüksek verimliliği ve daha iyi ürün sağlığını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğine ve dayanıklılığına da katkıda bulunur (Pascale vd., 2011; Abouzienna ve Haggag, 2016).

5.5. Sulama Yöntemleri ve Su Yönetim Teknikleri

Randımanı yüksek sulama yöntemleri ve su yönetimi tekniklerinin benimsenmesi, tarımda su kullanımını optimize etmek, gıda güvenliğini sağlamak ve küresel zorluklar karşısında çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için temel unsurdur. Sulama yöntemleri, tarımda su verimliliğini artırmada önemli bir rol oynar. Modern sulama teknikleri su verimliğinde anahtar role sahip unsurların başında gelmektedir. Randımanı yüksek sulama yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Damla Sulama: Bu yöntem, suyu doğrudan bitki kök bölgesine ileterek buharlaşma ve akıştan kaynaklanan su kaybını en aza indirdiği için oldukça verimlidir. Sulama suyu miktarı ve sıklığını kontrol ederek su kullanım verimliliğini artırır, optimum bitki büyümesini ve daha yüksek verimi teşvik ederken sulama suyu ihtiyacını azaltır.

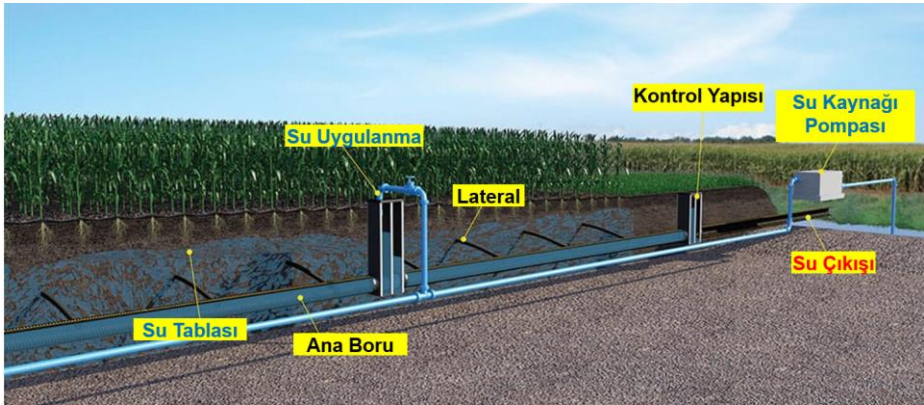
Yüzey Altı Damla Sulama: Su dağıtım sistemini toprak yüzeyinin altına yerleştirerek, doğrudan kök bölgesinde daha yüksek toprak nem içeriği sağlar. Yüzey damla sulamaya kıyasla toprak suyunun bulunabilirliğini, suyu koruma ve ürün verimini artırma açısından daha iyi performans gösterir. Teorik olarak randıman %100'dür. Verimden ödün vermeden önemli su tasarrufu sağlar.

Yağmurlama Sistemleri: Bu sistemde, su tüm tarlaya daha eşit bir şekilde dağıtılır ve saha koşullarına göre su dağıtımını düzenleyen, sahaya özgü değişken oranlı sulama için tasarlanabilir. Bu homojen uygulama, sulama kayıplarını en aza indirmeye, genel su verimliliğini artırmaya ve toprak suyu depolama kapasitesini iyileştirmeye yardımcı olur.

Mobil Damla Sulama: Geleneksel sabit damla sulama sistemlerinin taşınabilir ve esnek bir versiyonu olarak tarımsal sulamada önemli bir yeniliktir. Bu sistem, kolay kurulum ve söküm imkanı sunan, farklı parsellerde kullanılabilen, esnek boru ve lateral hatlardan oluşan modern bir sulama çözümüdür. Sistemin en önemli avantajları arasında yağmurlama sulamaya göre önemli oranda su tasarrufu sağlayabilmesidir. Aynı zamanda, işgücü verimliliğini artırırken ekonomik bir çözüm de sunmaktadır. Özellikle mevsimlik ürün yetiştirilen tarlalar, rotasyonlu ekim yapılan araziler ve küçük-orta ölçekli çiftliklerde tercih edilen mobil damla sulama, ana kontrol ünitesi, taşınabilir ana borular, esnek lateral hatlar ve sökülebilir damlatıcılardan oluşur. Sistem, sebze yetiştiriciliği, tarla bitkileri ve meyve bahçeleri de dahil hemen hemen her bitkisel üretimde ve tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir. Düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek kullanım esnekliği ve işletme maliyetlerinde sağladığı tasarruf sayesinde çiftçiler için cazip bir seçenek oluştururken, fertigasyon (gübre uygulaması) imkanı ve etkili yabancı ot kontrolü gibi ek avantajlar da sunar. Ancak sistemden maksimum fayda sağlamak için doğru sistem tasarımı, kaliteli malzeme seçimi ve düzenli bakım gibi faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Yüzey Altı Sulaması veya Taban suyu yönetimi: Tarımsal alanlardaki taban suyu seviyesinin, bitkilerin su alımı için optimum derinliği koruyacak

şekilde değiştirilmesini içerir. Bu genellikle 3 şekilde yapılabilmektedir. Bunlar; i) Kontrollü Drenaj Sistemleri (su seviyelerini, çıkış akışını kontrol ederek düzenlemek için hendekler, kiremitler veya borular yerleştirilir. Savaklar veya ayarlanabilir kapaklar, yer altı su seviyesini gerektiği gibi yükseltir veya alçaltır), ii) Yüzey Altı Sulama (su, yüzey altı drenajlarına veya kanallarına verilir ve kılcal hareketin mahsul köklerine nem iletmesine olanak sağlamak için yer altı su seviyesi yükseltilir [Şekil 1]) ve iii) Doğal veya Yönetilen Yüzey Altı Sulama Sistemleridir [doğal olarak yüksek taban su seviyesine sahip alanlarda (örneğin, sulak alanlar veya taşkın yatakları), su seviyesi, bitki türüne ve toprak özelliklerine bağlı olarak, genellikle toprak yüzeyinin 30-100 cm altında, bitkiler için uygun bir derinlikte tutulur]. Bu yöntemde su doğrudan toprak yüzeyine uygulama yerine yüzey altı su hareketine dayandığı için klasik yüzeyden yapılan sulama uygulamaları ile çelişir.



Şekil 1. Yüzey altı sulama (Şekil Kaynağı: <https://www.watertable.ag/best-practice/subsurface-irrigation/>)

Teknolojik Yaklaşımlar: Tarımda su verimliliğini artırmada önemli bir rol oynar ve hem su kıtlığı zorluklarını hem de sürdürülebilir kaynak yönetimine önemli katkılar sağlar. Etkin bir su yönetim tekniği için farklı yöntem ve ekipmanlar geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi hassas sulama yöntemidir. Damla ve yağmurlama sulama gibi sulama yöntemleri farklı teknolojik ekipmanlar ve yöntemlerle en yüksek randımanı sağlayacak şekilde kullanılmaktadır. Gelişmiş teknolojilerin birlikte kullanımı ile bitki su ihtiyacı hassas bir şekilde belirlenip uygulanmaktadır. Böylelikle suyun kaynaktan

alınıp bitki kök bölgesinde bitkinin kullanımına sunulması en yüksek randımanla sağlanabilmektedir. Son yıllarda su yönetiminde uzaktan algılama, uydu teknolojileri, Yapay Zeka (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi uygulamaları, gerçek zamanlı izleme ve veriye dayalı karar alma süreçlerini mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler, sulama tekniğine uygun şekilde geliştirilip uygulanırsa sulama planlamalarının ve uygulamalarının optimize edilmesini sağlayabilir. Öte yandan bitki kök bölgesinde daha fazla suyun tutulabilmesi için hidrojel gibi maddeler kullanılabilir. Bu tür maddeler kurak bölgelerde toprak neminin uzun süre korunmasına yardımcı olabilir. Özellikle yağışa dayalı tarım ve sulama suyunun rotasyonla sağlandığı bölgelerde (buna bağlı olarak sulama aralığının fazla olduğu dönemlerde) suyun etkin kullanılmasının yanında verim ve kalitenin artırılmasını optimize eder.

6. DRENAJ SİSTEMLERİ VE KONTROLLÜ DRENAJ

6.1. Tarımsal Drenaj

Toprak yüzeyinde ve bitki kök bölgesinde bulunan fazla suyun uzaklaştırılması işlemi drenaj olarak tanımlanabilir. Arazinin tarımsal kullanıma uygun hale getirilmesini içeren kritik uygulamalardan biridir. Drenaj bitkilerin optimum gelişimi, üretim alanının su basması ve tuzluluğunun önlenmesinin yanında bitki kök bölgesindeki nem seviyelerinin yönetilmesi için gereklidir. Doğru şekilde tasarlanmış, projelendirilmiş, uygulanmış ve işletilen drenaj sistemleri, tarla koşullarını iyileştirerek ürün verimini artırır ve istikrarlı bir üretim sağlanır. Kök hastalıkları gibi doymuş topraklarla ilişkili riskleri azaltırken zamanında ekim ve hasada olanak tanır. Tarımsal verimliliğin yanı sıra, drenaj sistemleri çevre yönetimine de önemli katkılar sağlamaktadır. Aşırı suyu kök bölgelerinden uzaklaştırarak besin kayıplarını kontrol etmeye ve tuzluluğu yönetmeye yardımcı olurlar. Öte yandan etkili drenaj sistemleri, özellikle su kütlelerine girebilen azot ve fosfor gibi besin kirliliği için kanal görevi de görebilir. Yönetilen drenaj stratejileri, bu kayıpları en aza indirerek aşağı akışta daha iyi bir su kalitesinin elde edilmesine olanak sağlar. Ancak, tarımsal drenaj potansiyel besin kirliliği ve kayıpları nedeniyle hem çevresel hem de tarımsal üretime etkileri vardır. Bu etkilerin optimize edilebilmesi için sürekli yönetime ihtiyaç bulunmaktadır. Modern yaklaşımlar, kontrollü drenaj ve drenaj suyu geri dönüşümü gibi yöntemlerle olası olumsuz etkiler bertaraf edilmekte/azaltılmaktadır.

Tarımsal drenaj, tarımsal verimliliği ve çevre yönetimini artırmak için hayati önem taşıyan çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bunlardan temel olarak kabul edilebilecek 6 temel fayda aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1) *Artırılmış Verim ve Kalite*: Drenaj sistemleri, toprak su doygunluğunu azaltarak tarla koşullarının iyileştirilmesine yardımcı olur ve bu da zamanında ekim ve hasat işlemlerini kolaylaştırır. Bu iyileştirme, ürün verim ve kalitesindeki yıllık değişkenliği azaltarak istikrarlı bir üretim sağlanmasına katkı sağlar.

2) *Toprakta Su ve Tuz Yönetimi*: Uygun drenaj, ürün sağlığına ve toprak kalitesine zarar verebilecek su baskını ve tuzluluk birikimini önler. Olumsuz toprak koşullarına yol açabilecek fazla suyun etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar.

3) *Artırılmış Toprak Verimliliği*: Optimum toprak nem seviyelerini koruyarak, drenaj sistemleri başta azotlu gübre kullanımı olmak üzere bitki besin elementlerinin verimliliğini artırabilir ve tarımsal üretimin çevresel yükü azaltılır.

4) *Çevrenin Korunması*: Drenaj sistemleri, yüzey akışı yönetmeye ve yüzey erozyonunu azaltmaya yardımcı olur. Aynı zamanda tarımsal alanlardan olan besin kaybı sınırlandırılarak azot ve fosfor gibi bitki besin elementlerinin su kütlelerine taşınmasını azaltarak su kalitesinin korunmasına katkı sağlar.

5) *İklimle Direnç ve Taşkın Yönetimi*: Etkili drenaj sistemleri, özellikle değişken yağış modellerine eğilimli bölgelerde taşkın risklerini azaltabilir. Yüzey ve yeraltı sularının yönetimine katkı sağlarken aynı zamanda tarımsal üretimi iklim değişkenliğine karşı dayanıklılığına katkı sağlar.

6) *Sürdürülebilir Tarımsal Üretim*: Ekolojik sistemleri de dikkate alarak gelişmiş bir drenaj sistem planlaması her açıdan sürdürülebilir tarımsal üretimi destekler. Artan tarımsal uygulamaların çevreye etkisini azaltarak, çevresel sürdürülebilirliğin dengelenmesine katkı sağlar.

Tarımsal drenaj, bitki kök bölgesine çeşitli faydalar sağlayarak hem ürün sağlığını hem de tarımsal verimliliği artırır. Temel faydalardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1) *Toprak Neminin Dengelenmesi*: Drenaj sistemleri fazla suyun topraktan uzaklaştırılmasını sağlayarak kök bölgesinde su birikmesini önleyerek bitki köklerinin çürümelerini engeller. Aynı zamandan kök bölgesindeki fazla toprak suyundan kaynaklanan bazı bitki hastalıklarının da

temel etmenlerini ortadan kaldırarak kök hastalıklarının büyük oranda önler. Toprak nemini optimize ederek, sağlıklı kök gelişimini destekler ve bitkilerin gerekli besin maddelerine erişimini kolaylaştırır.

2) *Havadar Kök Bölgesi*: Fazla suyun drenaj yoluyla uzaklaştırılması, kök solunumu ve besin alımı için çok önemli olan toprak havalandırmasını artırır. İyi havalandırılmış topraklar, köklerin nefes almasını ve etkili bir şekilde işlev görmesini sağlayarak, bitkilerin daha iyi gelişmesine katkı sağlar.

3) *Besin Yönetimi*: Doğru şekilde uygulanmış drenaj sistemleri, kök bölgesindeki besin seviyelerinin yönetilmesine yardımcı olur. Besin maddelerinin yıkanmasını önleyerek, toprak verimliliğini korur ve temel besin maddelerinin bitkiler için erişilebilirliğini artırır.

4) *Tuzluluk Kontrolü*: Yüksek tuzluluğun olduğu bölgelerde yıkamanın etkinliğini artırır. Doğru sulama uygulamalarının yapıldığı koşullarda kök bölgesinde tuz birikimini önleyerek kök bölgesi tuz dengesinin korunması sağlanır. Böylelikle toprak tuzluluğundan kaynaklanan ürün kısıtlaması, bitki gelişimi, verim ve kalite sorunlarının çözümünde çok büyük katkılar sağlar.

5) *Su Kullanım Randımanında Artış*: Bitki kök bölgesi iyi drene edildiğinde, bitkiler suyu daha verimli kullanabilmekteler. Aynı zamanda besin elementi alımında da optimizasyon sağlanabilmektedir. Diğer bir ifadeyle su kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkarmak, ürün verimi ve kaynak yönetiminin de maksimizasyonuna katkı sağlar.

6) *Toprak Sıkışmasının Azaltılması*: Drenaj sistemleri, kök penetrasyonunu sınırlayan toprak sıkışmasına yol açabilecek uzun süreli doygunluğu önler. Toprak yapısını koruyarak, daha derin kök sistemleri sayesinde besin maddelerine ve neme daha fazla erişime olanak sağlar.

Tarımsal drenajın bu faydaları toplu olarak daha sağlıklı bitkilere ve artan tarımsal verimliliğe katkıda bulunur ve bu da onu etkili tarımsal yönetimde hayati bir uygulama haline getirir.

6.2. Drenaj Sistemleri

Tarımsal drenaj sistemleri, uygulama yöntemlerine göre başlıca iki kategoriye ayrılır. Bunlar; yüzey ve yüzey atı drenajıdır. Her kategori belirli amaçlara hizmet eder ve tarım arazilerinde suyu yönetmek için farklı teknikler ve işletme yöntemlerini kapsar.

6.2.1. Yüzey Drenajı

Tarım arazilerinde biriken yüzey sularının, doğal eğim veya yapay yöntemlerle araziden uzaklaştırılması işlemidir. Bu sistem, yağmur suları, kar suları veya sulama sonrası biriken fazla suların, arazi yüzeyinde oluşturulan çeşitli yapılar ve eğimler yardımıyla kontrollü bir şekilde tahliye edilmesini sağlar. Temel amacı, su göllenmelerini önlemek, toprak erozyonunu kontrol etmek ve bitki köklerinin aşırı su nedeniyle zarar görmesini engellemektir. Yüzey drenaj sistemleri, doğal ve yapay olmak üzere iki ana yöntemle uygulanır

Doğal drenaj, arazinin mevcut topografik yapısını ve doğal eğimini kullanarak suyun kendiliğinden akışını sağlayan yöntemdir. Bu yöntemde, sular doğal akış yollarını takip ederek araziden uzaklaşır. Ancak her zaman doğal drenaj yeterli olmayabilir ve bu durumda yapay drenaj yöntemlerine başvurulur. Yapay drenaj yöntemlerinin başında açık kanal sistemleri gelir. Bu sistemde, arazi yüzeyinde belirli aralıklarla açılan kanallar vasıtasıyla yüzey suları toplanır ve uzaklaştırılır. Bir diğer yaygın yöntem olan sırt-karık sistemi, araziye şeritler halinde yükseltip alçaltarak suların karıklarda toplanmasını ve akmasını sağlar. Tesviye kanalları ise arazinin eğimine dik veya belirli açılarla açılan kanallar olup, fazla suyu toplama kanallarına iletir. Toplama hendekleri ve çevirme kanalları da önemli yapay drenaj yöntemlerindendir. Toplama hendekleri, diğer drenaj yapılarından gelen suları toplayarak ana tahliye kanallarına iletir. Çevirme kanalları ise arazi dışından gelen yüzey sularını tarım arazisine girmeden önce kesip uzaklaştırır. Tüm bu yöntemler, arazinin topografik yapısı, toprak özellikleri, yağış miktarı ve yetiştirilen bitki türü gibi faktörler göz önüne alınarak planlanır ve uygulanır. Başarılı bir yüzey drenajı için bu yöntemlerin tek başına veya birlikte kullanılması, arazinin özelliklerine göre değişiklik gösterir.

6.2.2. Yüzey Altı Drenajı

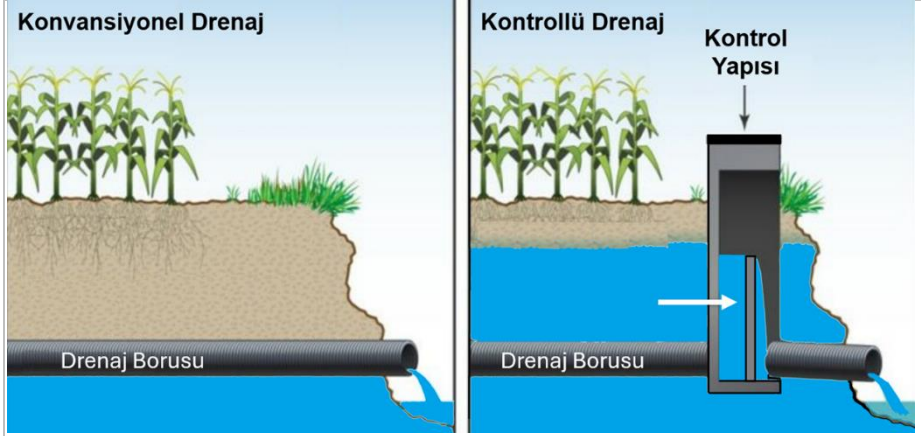
Bu yöntem bitki kök bölgesinde bulunan fazla suyun uzaklaştırılması için toprak yüzeyinden belirli bir derinliğe (80-200 cm) delikli borular veya benzer drenaj yapılarının yerleştirilmesini içerir. Temel amacı, bitki köklerinin bulunduğu bölgedeki fazla suyu uzaklaştırarak, bitkiler için daha sağlıklı bir gelişim ortamı oluşturmaktır. Yüzey altı drenaj sistemleri, taban suyu seviyesini kontrol altında tutarak toprak havalanmasını iyileştirir ve

tuzlulaşmayı önler. Bu sayede bitki kök gelişimi desteklenir, toprak işleme koşulları iyileşir ve tarımsal verimlilik artar. Sistem, lateral drenler, toplayıcı drenler, ana dren ve çıkış yapısı gibi bileşenlerden oluşur ve özellikle yağışın fazla olduğu, sulanan veya taban suyu problemi olan tarım arazilerinde yaygın olarak kullanılır. Modern tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olan yüzey altı drenaj sistemleri, sürdürülebilir toprak yönetiminin vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu sistemler sayesinde topraktaki fazla su kontrollü bir şekilde uzaklaştırılırken, bitki hastalıkları azalır ve tarla trafiği iyileşir. Özellikle ağır bünyeli topraklarda ve tuzluluk riski taşıyan alanlarda, yüzey altı drenaj sistemlerinin kullanımı tarımsal üretimin başarısı için kritik öneme sahiptir.

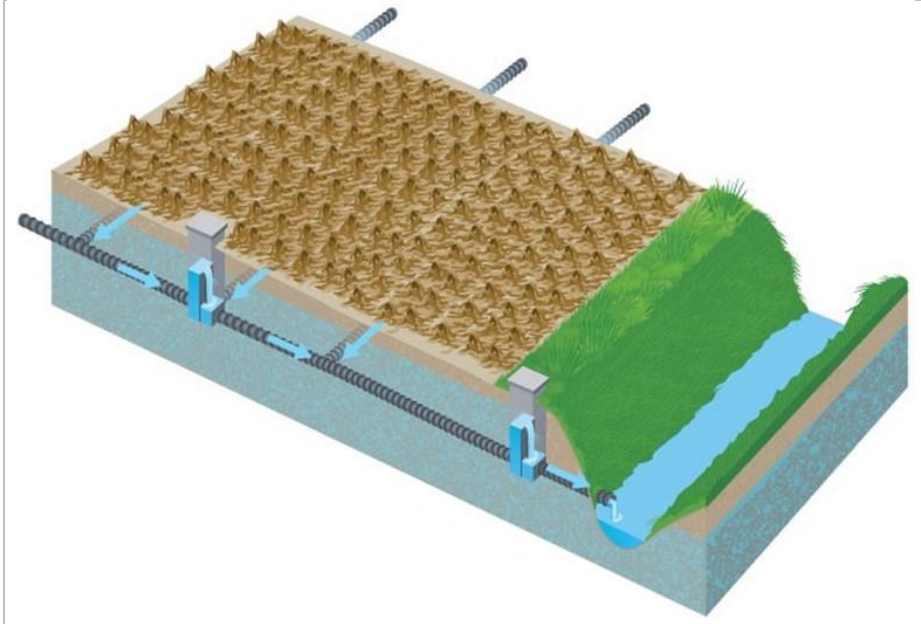
6.2.3. Kontrollü Drenaj

Tarım alanlarından bir kontrol yapısı vasıtasıyla drenaj sistemleri aracılığıyla su akışının düzenlenmesini içeren su yönetimi uygulaması Kontrollü Drenaj olarak tanımlanabilir. Daha ayrıntılı açıklamak gerekirse, geleneksel yüzey altı drenaj sistemlerinde, fazla suyu uzaklaştırmak ve taban suyu seviyesini düşürmek için toprak yüzeyinin altına döşenen drenaj borularının, bir kontrol yapısı ile taban suyu seviyesinin (bunun yanında suda çözünmüş olan bitki besin elementlerinin de) istenilen seviyede olacak şekilde ayarlanabilmesine olanak sağlayan sistemlerdir. Şekil 2’de konvansiyonel ve kontrollü drenaj sistemi ve uygulanma şekli verilmiştir. Şekil 3’de kontrollü drenajda kullanılan kontrol yapı türleri gösterilmektedir. Bu sistemler sayesinde, tarım alanından deşarj edilecek suyun zamanı ve miktarı kontrol edilebilmektedir (Şekil 4). Diğer bir ifadeyle tam drenajın gerekli olmadığı, örneğin büyüme mevsiminde veya kurak dönemlerde drenaj çıkışının yüksekliğini bilinçli olarak artırılır ve taban suyundan bitkilerin faydalanması sağlanır. Böylece toprak profilindeki suyu korur ve gereksiz drenajı azaltır. Böylelikle bitkisel üretim için toprak nem seviyelerini optimize edilmesine ve bitki kök bölgesi topraklarından besin kaybının azaltılmasına katkı sağlanır. Bu sistem sayesinde daha iyi bitki gelişiminin (kök gelişimi de dahil) yanında tarla operasyonlarında da önemli kolaylıklar ve tasarruflar sağlar. Konvansiyonel drenaj sistemlerinde genel olarak aşırı drenaja neden olurken aynı zamanda aşırı su kaybıyla birlikte başta azot, fosfor ve potasyum olmak üzere bitki besin maddelerinin yıkanarak kök bölgesinden uzaklaşmasına neden olur. Aynı

zamanda deşarjla birlikte söz konusu besin elementleri yüzey sularına taşınarak bu kaynaklarda ötrofikasyona neden olabilmektedir.

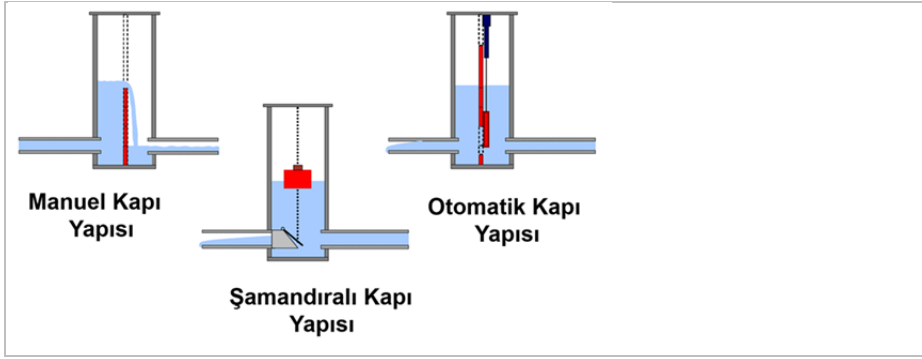


a (<https://admcoalition.com/drainage-practices/controlled-drainage/>)

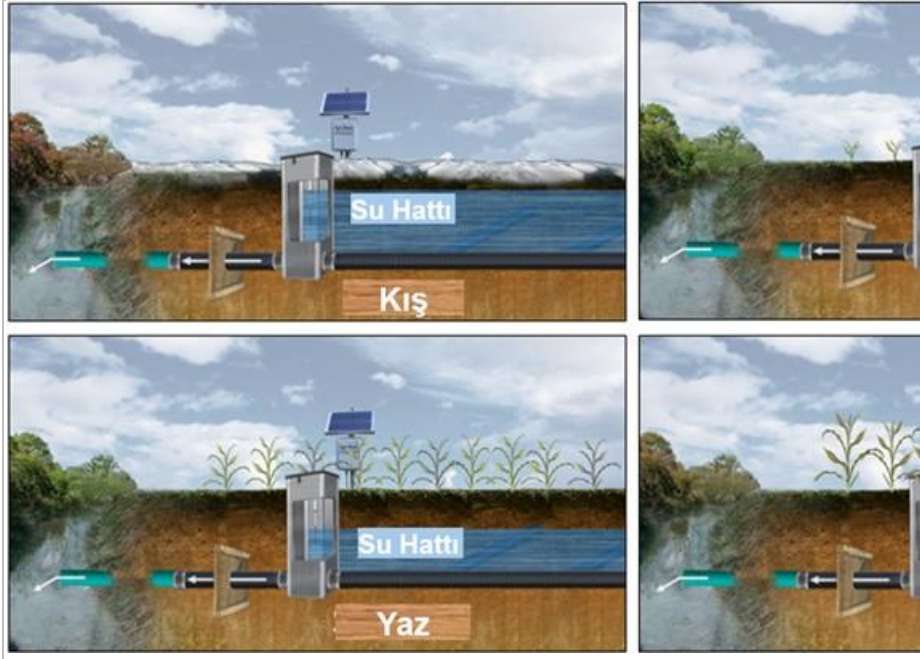


b (<https://transformingdrainage.org/practices/controlled-drainage/>)

Şekil 2. a) Kontrollü ve konvansiyonel yüzey altı drenaj sistemi ve b) Kontrollü drenajın arazide uygulanış şekli



Şekil 3. Kontrollü drenajda kullanılan kontrol yapıları (Cooke vd., 2006)



Şekil 4. Kontrollü drenajın kullanımında mevsimsel değişim örneği (<https://www.ecoexch.com/drainage-water-management/>)

Bu uygulama genellikle %1 veya daha az eğimli tarlalar için önerilir, ancak %2'ye kadar eğimli tarlalar için de düşünülebilir. Tarla kotundaki her 30-45 cm'lik değişiklik için bir kontrol yapısı önerildiğinden, daha fazla yapı gerektirdiğinden, sistem maliyeti artan eğimle birlikte artar. Yağışlı bölgelerde kısa dönemli kuraklık koşullarında önemli avantajlar sağlar. Özellikle düşen yağışın depolanarak büyüme sezonunda yükseltilebilir taban suyu ile bitkilerin

bundan faydalanması sağlanır (Cooke vd., 2006). Bu uygulama manuel veya otomatik olabilir ve genellikle bazı sistemlerde, optimum su tablasını korumak için suyun tekrar eklendiği alttan sulama ile entegre edilebilir. Bu sistem drenaj hacmini %50'ye varan oranlarda azaltmakta ve kuraklığa eğilimli yıllarda daha iyi su bulunabilirliği sağladığı için ürün verim ve kalitesinde önemli oranda artışlar sağlamaktadır (Evans vd., 1996; Vlotman vd., 2002). Ancak, kurak bölgelerde toprak tuzlanması veya daha yüksek su seviyeleri nedeniyle su kaynaklı hastalık riskinin artması gibi sorunlarda meydana gelebilmektedir. Böylesi durumlar için dikkatli bir yönetim yapılmalıdır (Vlotman vd., 2002).

Kontrollü drenaj, özellikle tarımsal sürdürülebilirlik ve çevre koruma bağlamında çeşitli faydalar sunar. Temel avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1) *Su Yönetimi ve Depolama Kapasitesi*: Kontrollü drenaj sistemleri, kritik olmayan dönemlerde gereksiz su kaybını azaltarak su kullanım verimliliğini artırmaktadır. Sistem, büyüme mevsimlerinde toprak su depolama kapasitesini artırarak ve kurak dönemlerde daha iyi su temini sağlayarak sulama suyu ihtiyaçlarını azaltmaktadır (Ayars vd., 2006).

2) *Su Kalitesinde İyileşme*: Kontrollü drenaj, azot ve fosfor gibi besin maddelerinin tarım arazilerinden yüzey sularına taşınmasını önemli ölçüde azaltır. Çalışmalar, geleneksel drenaj uygulamalarına kıyasla besin maddesi kaybında %30 ile %50 oranında azalma olduğunu bildirmiştir (Evans vd., 1995). Bu azalma, su kütlelerinde zararlı alg patlamalarına ve diğer ekolojik bozulmalara yol açabilen ötrofikasyon riskini azaltmada kritik önemdedir.

2) *Bitki Besin Maddesi Verimliliğinde Artış*: Taban suyu seviyelerinin dikkatli bir şekilde yönetilmesiyle, besin maddesi bulunabilirliği, bitki talebiyle senkronize olacak şekilde sağlanır. Bu, gübre kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkarır ve besin maddesi kayıplarını en aza indirerek daha sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekler (Castellano vd., 2019). Geleneksel drenaja kıyasla azot kayıplarını %30-50 oranında azaltmakta (Skaggs vd., 2012) ve fosfor kayıplarını düşürmektedir (Williams vd., 2015). Ayrıca, bitki üretim sistemlerinde besin kullanım verimliliğini artırdığı farklı çalışmalarda rapor edilmektedir (Fang vd., 2012).

3) *Verim ve Kalite Artışı*: Yapılan çalışmalar, kontrollü drenaj sistemlerinin özellikle kuraklığın olduğu koşullarda verim artışlarına neden olduğunu rapor etmektedir. Örneğin mısır üretiminde %5-20 (Poole vd., 2013)

ve soya fasulyesi veriminde %7-15 (Helmerts vd., 2012) aralığında verim artışları sağladığı bildirilmektedir.

4) *Çevresel Sürdürülebilirlik ve Ekosistem Koruması*: Sistemin çevresel açıdan sağladığı faydalar oldukça önemlidir. Yüzey sularına nitrat yüklenmesini azaltmakta (Wesström vd., 2014) ve iyileştirilmiş toprak koşulları sayesinde sera gazı emisyonlarını düşürmektedir (Carstensen vd., 2019). Bunun yanı sıra, toprağın organik madde içeriğinin korunmasına yardımcı olduğu da bildirilmektedir (Groening vd., 2014).

5) *Sera Gazı Emisyonlarında Azalma*: Tarım topraklarından azot oksit gibi sera gazı emisyonlarının azalmasına katkı sağlar. Drenaj ve yeraltı suyu yönetimini optimize ederek, geleneksel tarım uygulamalarıyla ilişkili sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli oranda katkılar sağlar (Castellano vd., 2019).

6) *İklim Değişkenliğine Uyum*: Su yönetiminde esneklik sağlayarak kuraklık veya aşırı yağış dönemleri gibi değişen iklim koşullarına daha iyi uyum sağlar. Bu uyum yeteneği, ürün veriminin korunması ve gıda güvenliğinin sağlanması açısından hayati önem taşır (Madramootoo vd., 2007).

7) *Çevresel Etkilerin Azaltılması*: Su kalitesini iyileştirmenin yanı sıra, kontrollü drenaj, su basması ve toprak tuzlanması gibi geleneksel drenajla ilişkili diğer çevresel etkilerin azaltılmasına da yardımcı olur. Toprak ve su yönetimine bütünsel bir yaklaşımı destekler ve daha geniş çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumludur (Schultz ve Wrachien, 2002).

8) *Ekonomik Sürdürülebilirlik ve Maliyet Avantajları*: Kontrollü drenaj sistemleri ekonomik açıdan da çeşitli avantajlar sunmaktadır. Kök bölgesinde daha fazla suyun bulunmasından dolayı ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı ve buna bağlı olarak su maliyeti azalmaktadır (Frankenberger vd., 2006). Gübre kullanım verimliliği arttığı için girdi maliyetleri düşmekte (Drury vd., 2014) ve uzun vadeli toprak kalitesinde iyileştirmeler sağladığı araştırmalarda rapor edilmektedir (Ross vd., 2016).

Özetle, kontrollü drenaj, su yönetimini iyileştirerek, besin maddesi kullanım verimliliğini artırarak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunarak temel çevresel ve tarımsal faydalar sunar. Bu avantajlar, artan küresel gıda talepleri ve geleneksel tarım sistemlerinin yarattığı çevresel zorluklar ışığında özellikle önemlidir. Kontrollü drenaj uygulamalarında çok sayıda fayda sağlanırken, başarılı uygulamalar için bazı önemli faktörlere

dikkat edilmelidir. Bunlar arasında uygun tarla koşulları ve eğim özellikleri (Evans vd., 2010), düzenli yönetim ve izleme (Wesström & Messing, 2007) ve altyapıya ilk yatırım maliyetleri (Skaggs vd., 2012) yer almaktadır. Unutulmamalı ki kontrollü drenaj, sürdürülebilir tarımsal su yönetimi için değerli bir araç olmasının yanında bitkisel üretimi, çevrenin korunması ve ekonomik verimlilik için çok sayıda fayda sağlar. Ancak, sistemin başarısı uygun tasarım, uygulama ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

6.2.4. Kontrollü Drenajın Üstünlükleri

Kontrollü drenaj sistemi, tarımsal üretimde su yönetimini optimize eden gelişmiş bir teknolojik uygulamadır. Bu sistem, kök bölgesindeki su dinamiklerini regüle ederek bitki gelişimini desteklemektedir. Sistemin temel çalışma prensibi, drenaj çıkışında konumlandırılan bent veya benzer hidrolik kontrol yapıları (Şekil 3) aracılığıyla taban suyu seviyesinin düzenlenmesine dayanmaktadır. Bu düzenleme mekanizması, hidrolik gradyanı modifiye ederek yüzey altı drenaj oranlarını ve yıllık drenaj hacimlerini optimize etmektedir. Sistemin en önemli özelliklerinden biri, adaptif yönetim kapasitesidir. Farklı bitki türleri, topografik koşullar ve toprak özelliklerine göre ayarlanabilme esnekliği sunmaktadır. Su akışı kontrol yapıları, bitkilerde anoksi stresini önleyecek şekilde uygulanabilmektedir. Özellikle, sistemde kritik taban suyu seviyelerine ulaşıldığında, otomatik drenaj mekanizması devreye girerek bitki sağlığını korumaktadır.

Üreticiler açısından sistem, özellikle su yönetiminde önemli avantajlar sağlamaktadır. Yağış rejiminin yoğun olduğu dönemlerde etkin drenaj sağlarken, vejetasyon döneminde toprak nem içeriğini optimize ederek bitki su stresini minimize etmektedir. Büyüme sezonunda su tablasının kontrollü yükseltilmesi, nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) ve diğer besin elementlerinin bulunabilirliğini artırmakta, böylece bu elementlerin kök bölgesinde kullanılabilirliğini optimize etmektedir.

Çeşitli araştırmacılar, drenaj suyu yönetiminin tarım alanlarından kimyasal taşınımı azalttığını tespit etmiştir. Munster vd., (1995), Kuzey Carolina'daki tarım alanlarında kontrollü drenaj sistemi ile drenaj suyu yönetimi uygulandığında aldikarb (bir tür insektisit) konsantrasyonlarında bir azalma olduğunu bildirmiştir. Iowa'da üç yıllık bir deneyde, Kalita ve Kanwar (1993), bir drenaj suyu yönetim sisteminde çıkış seviyesinin ürün verimi ve

azot konsantrasyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. Tüm çıkış seviyelerinde nitrat konsantrasyonunda bir azalma, çoğunda ise ürün veriminde artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, büyüme mevsimi boyunca taban suyu seviyesini toprak yüzeyine çok yakın tutarak verimde azalmalara neden olduğu bildirilmektedir.

Smith ve Kellman (2011) tarafından yapılan araştırmalar, sistemin denitrifikasyon süreçlerini teşvik ederek $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin toprak profilinden uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermiştir. Bu özellik, hem tarımsal verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

Yapılacak entegre yaklaşımlar ile tarımsal üretimde su ve besin elementi yönetiminin optimizasyonunu sağlarken, çevresel sürdürülebilirliğe de büyük katkılar sağlanmaktadır. Kontrollü drenaj sistemlerinin klasik drenaj sistemlerine göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sırlanabilir (Madramootoo vd., 1997 ve Dou vd., 2023);

1) Nitrat Kayıplarında Azalma: Bilimsel araştırmalar, kontrollü drenaj sistemlerinin nitrat yönetiminde önemli avantajlar sağladığını kanıtlamıştır. Yapılan çalışmalarda, konvansiyonel drenaj sistemlerine kıyasla ortalama drenaj çıkışında %30.5 ve nitrat yükünde %33.61 oranında azalma gözlemlenmiştir. Bu kayda değer azalma, su kaynaklarının korunmasına ve çevresel kalitenin iyileştirilmesine direkt katkı sağlamaktadır.

2) Gelişmiş Ürün Verimi: Kontrollü drenaj sistemleri, bitki gelişim sürecinde optimum su ve besin maddesi koşullarını sağlayarak ürün veriminde kayda değer artışlar sağlamaktadır. Özellikle yağlık ayçiçeği üzerinde gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar da, konvansiyonel sistemlere kıyasla %3.04-4.52 oranlarında verim artışı göstermiştir. Bu verim artışının temel mekanizması, bitkilerin azot alımının ve kullanım etkinliğinin optimizasyonudur. Cooper vd., (1991), Ohio'da kontrollü bir drenaj sistemi kurulmasından itibaren üç yıl içinde %23 ila %58 arasında değişen verim artışları bildirmiştir. Araştırmalarda kontrol parselleri boşaltılmamış ve sabit bir su tablası seviyesini korumak için su eklenmiştir. Bu sonuçlar bir araya getirildiğinde, drenaj suyu yönetiminin, doğru bir şekilde yönetilirse, verimi olumsuz etkilemeden çevreye fayda sağladığı görülmektedir (Cooke vd., 2006).

3) Gelişmiş Azot Kullanım Verimliliği: Kontrollü drenaj sistemleri, azot döngüsünün optimizasyonunda kritik rol oynamaktadır. Sistem, azot sızıntısını ve kayıplarını minimize ederek kullanım verimliliğini maksimize etmektedir.

Kök bölgesinde su ve besin elementlerinin etkin retansiyonu sayesinde, bitki gelişimi optimize edilmekte ve ek gübreleme gereksinimleri azaltılmaktadır. Drury vd., (1996), Güneybatı Ontario'da killi tınlı topraklarda kontrollü drenaj sistemi ile drenaj suyu yönetimi uygulandığında ortalama nitrat konsantrasyonunda %25, toplam yıllık nitrat yükünde ise %49 azalma olduğunu bildirmişlerdir. Lalonde vd., (1996), Quebec'te siltli tınlı bir toprakta iki yıllık mısır/soya rotasyonu uygulanan alanda, kontrollü drenaj sistemi ile drenaj suyu yönetimi yapılması durumunda, iki çıkış seviyesi için geleneksel drenaja kıyasla nitrat konsantrasyonunda %76 ve %69 oranında azalma saptamışlardır. Drenaj araştırmacılarının ortak konsensuslarına göre, drenaj suyu yönetiminin, önemli oranda drenajın gerçekleştiği bölgelerde sonbahar sonu ve kış aylarında yapılan taban suyu yönetimi ile drenaj su çıkışında yıllık nitrat yüklerinde ortalama %30'luk bir düşüş olacağı vurgulanmaktadır. Bu rakam, uygulamanın yaklaşık yirmi yıldır uygulandığı Kuzey Karolina'daki sonuçlara ve Ortabatı'daki ön araştırma sonuçlarına dayanmaktadır. Illinois'deki drenajlı tarlalarda ölçülen ortalama yıllık nitrat-N konsantrasyonları, ekim uygulamasına ve gübre uygulama zamanına bağlı olarak 8 ila 19 mg/L arasında değişirken, ortalama yıllık nitrat kayıpları 79 ila 115 kg/ha arasında değiştiği belirlenmiştir (Algoazany vd., 2005).

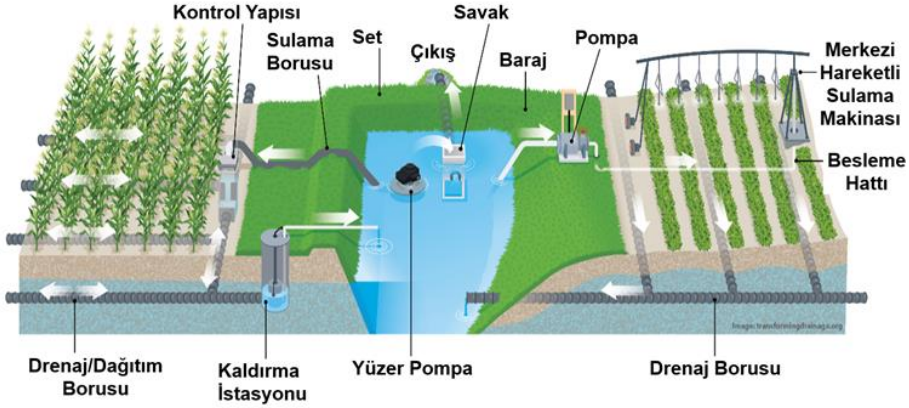
4) Çevresel Faydalar: Sistem, besin elementlerinin ve kirleticilerin su kütlelerine taşınımını minimize ederek ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, yeraltı suyu seviyelerinin regülasyonunu sağlayarak hidrolik gradyanın optimizasyonuna yardımcı olmaktadır. Bu özellikler, sürdürülebilir tarım uygulamalarının temelini oluşturmaktadır.

5) Toprak Sağlığı ve Yapısı: Kontrollü drenaj sistemleri, toprak ekosisteminin sağlığını ve yapısal bütünlüğünü desteklemektedir. Sistem, su basması riskini minimize ederken toprak tuzluluğunu regüle etmekte, böylece bitki köklerinin optimal oksijen ve besin elementi alımını sağlamaktadır. Bu durum, sürdürülebilir bitki gelişimini ve toprak sağlığını teşvik etmektedir.

6) Su Kaynaklarına Etkisi: Drenaj sularının yeniden kullanımı, sürdürülebilir su kaynakları yönetiminde önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Kontrollü drenaj sistemleri, tarımsal üretimde su kullanım etkinliğini optimize etmektedir. Özellikle yağışlı dönemlerde toplanan kaliteli drenaj suları, depolama sistemlerinde muhafaza edilerek ihtiyaç duyulan dönemlerde sulama suyu olarak kullanılabilir (Şekil 5). Bu yaklaşım,

konvansiyonel su kaynaklarına olan talebi azaltırken, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su verimliliğini artırmaktadır.

Kontrollü drenaj kavramının bir uzantısı, drenaj suyunun bir rezervuarda depolandığı ve daha sonra yer altı drenaj sistemi yoluyla toprak profiline geri pompalanarak kök bölgesinin yüzey altından sulanması olan alttan sulama yöntemidir (Madramootoo vd., 2007).



Şekil 5. Kontrollü drenaj sistemi uygulamasının su kaynağı olarak kullanımı (<https://soybeanresearchinfo.com/research-highlight/scaling-up-drainage-water-recycling/>)

Drenaj sularının yeniden kullanımı, besin elementlerinin tarım alanlarında kalmasını sağlayarak döngüsel ekonomiye katkıda bulunurken, su kütlelerine olan dışarı azaltarak ekolojik dengenin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, başarılı bir uygulama için su kalitesi parametrelerinin (tuzluluk, nitrat, fosfor, ağır metaller) düzenli izlenmesi, uygun depolama ve arıtma sistemlerinin kurulması, ve entegre su yönetimi yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Sistemin etkin işleyişi için gerekli teknik altyapının (depolama havuzları, pompalama sistemleri) yanı sıra, kurumsal kapasitenin geliştirilmesi ve çiftçi eğitiminin sağlanması da kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, pilot uygulamalarla başlayarak, sonuçların değerlendirilmesi ve sistemin optimize edilmesi, ardından başarılı uygulamaların yaygınlaştırılması gerekmektedir. Drenaj sularının yeniden kullanımı, hem ekonomik açıdan (sulama maliyetlerinin azaltılması) hem de çevresel açıdan (su kaynaklarının korunması) önemli faydalar sağlamakta,

ancak sürdürülebilir bir uygulama için düzenli izleme, değerlendirme ve adaptif yönetim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir.

6.2.5. Kontrollü drenaj nasıl çalışır?

Kontrollü drenajın yapılabileceği koşullar sınırlıdır. Özellikle izin verilebilir en yüksek eğim %2'dir. Diğer bir ifadeyle az eğimli düz araziler için uygundur ve ABD'nin Ortabatı bölgesi, Hollanda ve Mısır gibi ülkelerde bitkisel üretimi, su tasarrufu ve çevre korumaya büyük oranda destek sağlanmaktadır. (Frankenberger vd., 2006; Vlotman vd., 2002).

Sistem Bileşenleri: Kontrollü drenaj sistemi, genellikle 80-200 cm derinliğe gömülmüş ve fazla toprak suyunu gidermek için 10-15 cm çapındaki delikli boruları içeren geleneksel yüzey altı drenaj altyapısı üzerine kuruludur. Temel ekleme, drenaj çıkışına monte edilen bir su kontrol yapısıdır (Şekil 3). Bu bir çakma levha yükselticisi, hat içi vana veya otomatik vana sistemi olabilir. Çakma levha yükselticileri, çıkış yüksekliğini ayarlamak için üst üste konulabilen ahşap, alüminyum veya plastikten yapılmış çıkarılabilir levhalara sahip dikey bir kutu veya borudan oluşur. Hat içi yapılar doğrudan yeraltı borularına bağlanırken, otomatik versiyonlar su seviyelerine veya yağışa göre açılıp kapanmak için şamandıralar, sensörler veya zamanlayıcılar kullanabilir (Cooke vd., 2006).

Mekanizma: Kontrollü drenaj, tarladan su çıkış hızını kontrol etmek için drenaj çıkışının yüksekliğini değiştirerek çalışır. Konvansiyonel drenaj sisteminde, fazla su yerçekimi yoluyla delikli borulara girer ve bir çıkışa serbestçe akarak su tablasını düşürür. Kontrollü drenajda, kontrol yapısı ayarlanabilir bir bent görevi görerek su çıkışı kısıtlanır. Kontrol yapısı sayesinde su hendeklerde ve borularda birikerek su tablasını yükseltir (toprak yüzeyinden 30-45 cm aşağıda olana kadar) ve böylelikle akış azaltır veya durdurulur. Bu, toprak profilinde su depolayarak denitrifikasyon (anaerobik koşullar altında nitratların mikrobiyal olarak azot gazına dönüştürülmesi) gibi süreçleri teşvik eder ve besin maddelerinin sızmasını azaltır (Cooke vd., 2006). Yağış depolama kapasitesini aşarsa, fazla su yapıdan taşarak su baskını önlenir. Kurak dönemlerde, tutulan su bitkilerin alımı için kullanılabilir hale gelir ve pompalar olmadan pasif yüzey altı sulaması yapılır. Ancak bazı tasarımlara Şekil 1'deki gibi aktif yüzey altı sulama sistemi (suyun sisteme geri pompalanması) entegre edilebilir (Vlotman vd., 2002). Bu mekanizma, drenaj

hacmini %20-50, nitrat yüklerini %45'e ve fosforu %25-35 varan oranında azaltır. Bunu öncelikle su çıkışını sınırlayarak, suda çözünmüş durumdaki besin maddelerinin toprakta tutulmasını artırarak yapar (Frankenberger vd., 2006).

İşletme: İşletme, bitki döngülerine, hava koşullarına ve saha koşullarına göre uyarlanmış aktif bir yönetim gerektirir. Çiftçiler kontrol yapısını mevsimsel olarak ayarlar (Şekil 4). Nadas dönemlerinde (örn. kış, Aralık-Mart), çıkışı en aza indirmek, suyu depolamak ve denitrifikasyonu teşvik etmek için çıkış yüksek (yüzeyin 30-45 cm altında) ayarlanır (belirtilen aylar bölgelere ve ürünlere göre değişkenlik gösterir). Ekim veya hasattan önce (örn. Mart-Mayıs), toprak trafiğini iyileştirmek için hızlı drenaj sağlamak amacıyla alçaltılır (60-90 cm). Büyüme mevsimi boyunca (örn. Mayıs-Ağustos), nemi korumak için tekrar yükseltilir (45-60 cm), toprak tipine (daha iyi su depolaması için kumlu topraklarda daha sık ve killi topraklarda daha derin) ve hava tahminlerine göre ayarlamalar yapılır (Burchell vd., 2018; Cooke vd., 2006). Otomatik sistemler yağış miktarına veya toprak nem verilerine yanıt verirken, manuel sistemler operatör müdahalesine dayanarak işletilebilmektedir. Mısır gibi ülkelerde, alt toplayıcılar (3-20 hektarlık alanlar) kapatılarak çeltik yetiştiriciliği sırasında kontrollü drenaj kullanılarak sulama suyundan %50'ye kadar tasarruf sağlamıştır. Aynı zamanda da pompalama-enerji maliyetlerinde de %43 oranında tasarruf edilmiştir (Vlotman vd., 2002). Gözlem kuyuları aracılığıyla taban suyu tablası izlenir ve optimum seviyede kalmasına olanak sağlanır (örneğin, drenajlar arasında 45-60 cm). DRAINMOD simülasyonları veya çevrimiçi uyarı uygulamaları gibi araçlar, verim ve su kalitesinin optimize edilmesine yardımcı olabilirler (Burchell vd., 2018; Frankenberger vd., 2006).

Genel olarak, kontrollü drenaj, pasif drenajı dinamik bir araca dönüştürür ve bölgeye özgü tasarım ve izleme yoluyla faydaları en üst düzeye çıkarır, ancak düz bir topografya gerektirir ve yağışlı büyüme mevsimlerinde yanlış yönetilirse bazen verim ve kalite de düşmeler ve bozulmaları meydana gelebilir.

6.2.6. Kontrollü Drenaj Nerelerde Uygulanmalı

Kontrollü drenaj sistemleri her koşulda uygulanmaz. Daha önce de ifade edildiği gibi arazinin eğimi %2'yi geçmemeli. Bir alanın drenaj ihtiyacıyla birlikte nasıl bir drenaja ihtiyacının olduğunun belirlenmesi gereklidir. Ancak

tüm yüzey ve yüzey altı drenaj sistemleri istenildiği zaman kontrollü drenaj sistemlerine çevrilebilir ancak bunun oldukça maliyetli bir işlem olduğu da unutulmamalıdır. Kontrollü drenajın uygulanabileceği yerler aşağıdaki 8 ana başlık altında toplanmıştır. Bu koşullar;

1. *Düz Araziler:* Düz araziler, kontrollü drenajın en etkili şekilde uygulanabildiği alanlardan biridir. Bu tür arazilerde suyun doğal akışı sınırlı olduğundan, drenaj sistemlerinin kontrol edilmesi daha kolaydır. ABD'nin Orta-batı bölgesinde, geniş düz arazilerde mısır ve soya fasulyesi üretiminde kontrollü drenaj sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler sayesinde, tarım alanlarında %10-15 arasında verim artışı sağlandığı rapor edilmiştir (Evans vd., 1995b). Benzer şekilde Güneydoğu Asya'daki çeltik tarlalarında, suyun kontrollü bir şekilde tutulması ve tahliyesi için kontrollü drenaj sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemler, su kullanımını optimize ederek üretimi artırır (Shao vd., 2014).
2. *Sulama Alanları:* Sulama yapılan bölgelerde, fazla suyun tahliyesi ve su kaynaklarının verimli kullanımı için kontrollü drenaj sistemleri oldukça faydalıdır. Harran Ovası'ndaki kontrollü ve kontrolsüz drenaj sistemlerinin su tablası hidrografiklerine etkileri incelenmiştir. Kontrollü drenaj sisteminin sulama suyu tasarrufu ve drenaj suyu miktarının azalmasına katkısı sağladığı belirlenmiştir (Bahçeci, 2016).
3. *Taban Suyunun Yüksek Olduğu Bölgeler:* Taban suyu seviyesi yüksek olan bölgelerde, kontrollü drenaj sistemleri, su seviyesinin kontrol edilmesine ve bitki kök bölgesinin oksijen erişiminin artırılmasına olanak tanır. Hollanda gibi düşük rakımlı ülkelerde, tarımsal alanlarda yeraltı su seviyesinin kontrol edilmesi için kontrollü drenaj sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, hem tarımsal verimliliği artırır hem de taşkın riskini azaltır.
4. *Tuzlu ve Alkali Topraklar:* Tuzlu ve alkali topraklarda, fazla suyun kontrollü bir şekilde tahliye edilmesi, tuz birikiminin önlenmesi ve toprak verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşır. Örneğin Harran ovasında yapılan bir çalışmada; ova topraklarının tuz ve sodyum içeriklerine kontrollü drenaj sisteminin etkisi incelenmiş ve kontrollü drenaj sisteminin toprakların tuzlanma ve besin element kayıplarını azalttığı gözlemlenmiştir (Bahçeci, 2016).

5. *Yağışlı Bölgeler:* Yağışın yoğun olduğu bölgelerde, bitki kök bölgesindeki fazla su, kontrollü drenaj sistemleri ile tahliye edilir. Özellikle kurak dönemlerde bu sular bitkisel üretimde kullanılarak hem bitkisel üretim kalite ve miktar açısından artırılabilir hem de su kaynaklarının korunmasına önemli katkılar sağlanabilir.
6. *Sulak Alanların Yönetimi:* Sulak alanların tarıma kazandırılması veya doğal ekosistemlerin korunması için kontrollü drenaj sistemleri kullanılabilir. İstenilen bölgelerde ve zamanlarda su çıkışına izin verilerek ister sulak alanların korunmasına ister bu alanların tarıma kazandırılmasına katkı sağlanabilir. Ayrıca, sulak alan bölgelerinin yakınlarındaki tarım alanlarının taban su seviyeleri yönetilerek üretim potansiyelinin artırılmasına katkı sağlanabilir. Benzer şekilde sulak alanların korunması ve su kalitesinin iyileştirilmesi içinde kullanılabilir. Örneğin ABD'nin Kuzey Karolina bölgesinde, sulak alanların korunması ve su kalitesinin iyileştirilmesi için kontrollü drenaj sistemleri kullanılmaktadır (Gilliam vd., 1978).
7. *Karasal İklim Bölgeleri:* Yoğun kar yağışı alan bölgelerde, özellikle ilkbahar ve yaz mevsimi başında oluşan yoğun kar erimelerinde, kök bölgesindeki fazla suyun yönetimi için kontrollü drenaj sistemleri kullanılabilir. Dünyanın farklı bölgelerinde farklı uygulamalar ister yüzey ister yüzey altı drenaj sistemlerinde kontrollü olarak taban suyu seviyesinin yükseltilmesi ya da düşürülmesi söz konusu olabilmektedir. Özellikle yağışa dayalı üretim sistemlerinin yoğun kullanıldığı bölgelerde sıklıkla bu sistemler kullanılmaktadır.
8. *Çevresel Koruma Projeleri:* Kontrollü drenaj sistemleri, çevresel koruma projelerinde su kalitesini artırmak ve tarımsal faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltmak için kullanılmaktadır. Örneğin, ABD'nin Chesapeake Körfezi'nde, tarımsal drenajın neden olduğu azot ve fosfor kirliliğini azaltmak için kontrollü drenaj sistemleri kullanılmaktadır (Ritter vd., 2002). Benzer şekilde Baltık Denizi Havzasında da Baltık Denizi'ne kıyısı olan ülkelerde, tarımsal drenajın neden olduğu su kirliliğini azaltmak için kontrollü drenaj sistemleri yaygın olarak uygulanmaktadır (Nefco, 2024).

7. SONUÇ

Kontrollü drenaj uygulamalarını optimize etmek için, drenaj sistemleriyle ilişkili besin ve pestisit hareketinin dinamikleri hakkında daha

fazla araştırma ve daha detaylı bilgilere ihtiyaç vardır. Bu, çevresel etkileri en aza indirirken faydaları en üst düzeye çıkarmak için yerel iklim koşulları, toprak tipleri ve bitki türleri gibi faktörlerin dikkate alınmasını gereklidir. Kontrollü drenaj, yalnızca ürün verimliliğine odaklanan geleneksel drenaj hedeflerinden, çevre kontrolü ve sürdürülebilirliği de içeren daha kapsamlı bir yaklaşıma geçişi temsil etmektedir.

Çeşitli araştırmacılar, drenaj suyu yönetiminin tarım alanlarından kimyasal taşınımı azalttığını tespit etmiştir (Munster vd., 1995; Kalita ve Kanwar, 1993; Drury vd., 1996; Cooper vd., 1991; Algoazany vd., 2005; Cooke vd., 2006). Ayrıca, taban suyunun yükseltilmesiyle birlikte yan parselin de bundan olumsuz şekilde etkilenebileceği unutulmamalıdır. Bu tamamen parsellerde yetiştirilen bitkilere ve diğer koşullara bağlıdır. Eğer olumsuz bir etki söz konusu ise uygulamanın yapılmaması daha doğru bir yaklaşım olabilir.

Kontrollü drenaj sistemleri, agronomik verimliliği optimize ederken hidrolojik döngüyü düzenleyen entegre su yönetim teknolojisidir. Konvansiyonel drenaj sistemlerine kıyasla, kontrollü drenaj sistemleri hidrolik gradient kontrolü ile taban suyu seviyesinin hassas bir şekilde yönetimini sağlayarak, su-bitki-toprak ilişkilerini optimize etmektedir. Araştırmalar, bu sistemlerin geleneksel drenaja kıyasla ortalama drenaj çıkışında %30.5 ve nitrat yükünde %33.61 oranında azalma sağladığını göstermektedir (Evans vd., 2019).

Kontrollü drenaj sistemleri, toprağın su seviyesini ve akışını düzenli olarak kontrol ederek çalışır. Bu sistemler, toprağın yüzeyi ile yeraltı suyu arasındaki bölgede suyu dengeli bir şekilde tutarak, bitki köklerinin bulunduğu alanda uygun bir nem düzeyi sağlar. Bu özellik, özellikle kurak dönemlerde bitkilerin sağlıklı büyümesi için çok önemlidir. Bunun yanında, aşırı yağmur yağdığında topraktaki havanın dolaşımını koruyarak, köklerin oksijensiz kalmasını ve çürümelerini önler.

Sistemin agroekosistem hizmetleri açısından en önemli katkısı, besin elementi döngüsünün optimizasyonudur. Kontrollü drenaj sistemleri, nitrat ve fosfor gibi makrobelerin yeraltı ve yüzey sularına taşınımını minimize ederek, hem ekonomik kayıpları önlemekte hem de akuatik ekosistemlerde ötrofikasyon riskini azaltmaktadır. Araştırmalar, sistemin denitrifikasyon süreçlerini teşvik ederek $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin toprak profilinden uzaklaştırılmasında

%25-35 oranında etkinlik sağladığını göstermektedir (Smith ve Kellman, 2011).

Ekonomik perspektiften değerlendirildiğinde, kontrollü drenaj sistemleri işletme maliyetlerinin optimizasyonunda önemli rol oynamaktadır. Sistem, sulama suyu kullanım etkinliğini artırırken, besin elementi kayıplarını minimize ederek girdi maliyetlerini düşürmektedir. Uzun vadeli analizler, sistemin toprak fiziksel özelliklerini iyileştirerek sürdürülebilir tarımsal üretkenliği desteklediğini göstermektedir.

İklim değişikliği senaryoları kapsamında, kontrollü drenaj sistemleri adaptif su yönetimi stratejilerinin kritik bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Sistemin hidrolojik esnekliği, ekstrem iklim olaylarının tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmekte ve agroekosistemlerin direncini artırmaktadır. Bu bağlamda, kontrollü drenaj sistemleri yaygınlaştırılması, sürdürülebilir tarımsal üretim ve ekosistem hizmetlerinin optimizasyonu için stratejik öneme sahiptir.

Kontrollü drenaj sisteminin benimsenmesi önemlidir. Bu konuda yapılacak çalışmalarda dikkate alınması gerek temel 8 başlık aşağıda verilmiştir. Bunlar:

1. Kontrollü drenaj sistemlerinin tarımsal alanlarda kullanımını teşvik etmek için devlet destekli projeler geliştirilmelidir.
2. Çiftçilere, kontrollü drenaj sistemlerinin faydaları ve kullanımı hakkında eğitimler verilmelidir.
3. Bölgesel su yönetim stratejileri, kontrollü drenaj uygulamalarını içerecek şekilde yeniden düzenlenmelidir.
4. İzleme ve değerlendirme çalışmalarının yapılmalıdır (su kalitesi parametrelerinin düzenli izlenmesi, verim ve ekonomik performans verilerinin toplanması, çevresel etki değerlendirmelerinin yapılması ve adaptif yönetim stratejilerinin geliştirilmesi)
5. Kontrollü drenaj sistemlerinin maliyetini düşürmek için yeni teknolojiler geliştirilmelidir.
6. Yasal ve düzenleyici çerçevenin oluşturulması (kontrollü drenaj sistemlerinin yasal çerçevesinin oluşturulması, su kalitesi standartlarının belirlenmesi, izleme ve denetim mekanizmalarının kurulması, ve çevresel etki değerlendirme kriterlerinin belirlenmelidir).

7. Araştırma ve Geliştirme faaliyetlerinin artırılması ve hızlandırılması (yerel koşullara uygun sistem tasarımlarının geliştirilmesi, maliyet-fayda analizlerinin yapılması, yeni teknolojilerin adaptasyonu ve test edilmesi, sistem performansının sürekli iyileştirilmesi).

KAYNAKÇA

- Abouziena, H. F., & Haggag, W. M. (2016). Weed Control in Clean Agriculture: A Review1. *Planta Daninha*, 34(2), 377–392. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582016340200019>
- Adil, M., Lu, S., Yao, Z., Zhang, C., Lu, H., Bashir, S., Maitah, M., Gul, I., Razzaq, S., & Qiu, L. (2024a). No-tillage enhances soil water storage, grain yield and water use efficiency in dryland wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) cropping systems: a global meta-analysis. *Functional Plant Biology*, 51(5). <https://doi.org/10.1071/fp23267>
- Adil, M., Lv, F., Chen, Y., Qiu, L., Gul, I., Li, T., Lu, H., & Lu, S. (2024b). Long-term effects of management practices on soil water, yield and water use of dryland wheat: A global meta-analysis. *European Journal of Soil Science*, 75(4). <https://doi.org/10.1111/ejss.13541>
- Algoazany, A., Kalita, P. K., Mitchell, J. K., Cooke, R. A. C., & Hirschi Professor, M. C. (2005). A long-term monitoring of agricultural chemical transport from a flat tile-drained watershed. Paper presented at 2005 ASAE Annual International Meeting, Tampa, FL, United States.
- Alharbi, S., Al-Dakhil, M., Felemban, A., & Abdelrahim, A. (2024). Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water-Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas. *Water*, 16(13), 1842. <https://doi.org/10.3390/w16131842>
- Ayars, J. E., Christen, E. W., & Hornbuckle, J. W. (2006). Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 86(1-2), 128-139.
- Azarbad, H. (2022). Conventional vs. Organic Agriculture-Which One Promotes Better Yields and Microbial Resilience in Rapidly Changing Climates? *Frontiers in Microbiology*, 13(fiaa098). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.903500>
- Bahçeci, İ. (2016). Harran Ovası'nda Kontrollü ve Kontrolsüz Drenaj Uygulamalarının Su Tablası Hidrografiklerine Etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(1), 20-29.

- Bajwa, A. A., Chauhan, B. S., & Mahajan, G. (2015). Nonconventional Weed Management Strategies for Modern Agriculture. *Weed Science*, 63(4), 723–747. <https://doi.org/10.1614/ws-d-15-00064.1>
- Ballantine, D., & Tanner, C. (2013). Controlled drainage systems to reduce contaminant losses and optimize productivity from New Zealand pastoral systems. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 56(2), 171–185. <https://doi.org/10.1080/00288233.2013.781509>
- Beaudoin, N., Saad, J. K., Van Laethem, C., Machet, J. M., Maucorps, J., & Mary, B. (2005). Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils, and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111(1–4), 292–310.
- Bhargavi, K., & Anusha, O. (2023). Significance of Mulching on Soil Conservation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 1156–1164. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203913>
- Bjorneberg, D. L., Kanwar, R. S., & Melvin, S. W. (1996). Seasonal changes in flow and nitrate-N loss from subsurface drains. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 39, 961–976.
- Bodner, G., Nakhforoosh, A., & Kaul, H.-P. (2015). Management of crop water under drought: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 401–442. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0283-4>
- Burchell, B., Evans, R. O., & Poole, C. (2018). Controlled drainage – An important practice to protect water quality that can enhance crop yields. NC State Extension Publications. <https://content.ces.ncsu.edu/controlled-drainage>
- Burridge, J. D., Grondin, A., & Vadez, V. (2022). Optimizing crop water use for drought and climate change adaptation requires a multi-scale approach. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 824720. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.824720>
- Carstensen, M. V., Børgesen, C. D., Ovesen, N. B., Poulsen, J. R., Koch, J., Rasmussen, N. H., & Audet, J. (2019). Controlled drainage as a targeted mitigation measure for nitrogen and phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 48(3), 677–685.
- Castellano, M. J., Helmers, M. J., Six, J., Archontoulis, S. V., & Poffenbarger, H. J. (2019). Sustainable intensification of agricultural drainage. *Nature*

- Sustainability, 2(10), 914–921. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>
- Causapé, J., Quílez, D., & Aragüés, R. (2004). Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II: Salt and nitrate loads in irrigation return flows. *Agricultural Water Management*, 70, 211–228.
- Causapé, J., Quílez, D., & Aragüés, R. (2006). Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 451–461.
- Cooke, R. A., Sands, G. R., & Brown, L. C. (2006). Drainage water management: A practice for reducing nitrate loads from subsurface drainage systems. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/2006_8_24_msbasin_symposia_ia_session2.pdf
- Cooper, R. L., N. R. Fausey, and J. G. Streeter. (1991). Yield potential of soybeans grown under a subirrigation/drainage water management system. *Agronomy J.* 83(5): 884–887.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45–65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>
- De Pascale, S., Vallone, S., Costa, L. D., Barbieri, G., & Maggio, A. (2011). Increasing Water Use Efficiency in Vegetable Crop Production: From Plant to Irrigation Systems Efficiency. *HortTechnology*, 21(3), 301–308. <https://doi.org/10.21273/horttech.21.3.301>
- Delaune, P. B., & Mubvumba, P. (2020). Winter cover crop production and water use in Southern Great Plains cotton. *Agronomy Journal*, 112(3), 1943–1951. <https://doi.org/10.1002/agj2.20149>
- Demo, A. H., & Asefa Bogale, G. (2024). Enhancing crop yield and conserving soil moisture through mulching practices in dryland agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 6. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1361697>
- Devin, S. R., Prudencio, Á. S., Mahdavi, S. M. E., Rubio, M., Martínez-García, P. J., & Martínez-Gómez, P. (2023). Orchard Management and Incorporation of Biochemical and Molecular Strategies for Improving Drought Tolerance in Fruit Tree Crops. *Plants*, 12(4), 773. <https://doi.org/10.3390/plants12040773>

- Dixit, M., Dutta, D., Ghoshal, D., & Kumar, S. (2024). Enhancing Agriculture through Strategic Tillage and Soil Management: Unleashing Potential for Sustainable Farming. Intechopen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113038>
- Dou, X., Shi, H., Li, R., Miao, Q., Yan, J., & Tian, F. (2023). Evaluating the effects of controlled drainage on nitrogen uptake, utilization, leaching, and loss in farmland soil. *Agronomy*, 13(12), 2936. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122936>
- Drury CF, Tan CS, Welacky TW, Reynolds WD, Zhang TQ, Oloya TO, McLaughlin NB, Gaynor JD. (2014). Reducing nitrate loss in tile drainage water with cover crops and water-table management systems. *Journal of Environmental Quality*, 43(2), 587-598.
- Drury, C. F., Tan, C. S., Reynolds, W. D., Welacky, T. W., Oloya, T. O., & Gaynor, J. D. (2009). Managing tile drainage, subirrigation, and nitrogen fertilization to enhance crop yields and reduce nitrate loss. *Journal of Environmental Quality*, 38(3), 1193-1204.
- Du, C., Effah, Z., & Li, L. (2022). Effects of Straw Mulching and Reduced Tillage on Crop Production and Environment: A Review. *Water*, 14(16), 2471. <https://doi.org/10.3390/w14162471>
- El-Beltagi, H. S., Ghazzawy, H. S., Alkhateeb, A. A., Shalaby, T. A., Ramadan, K. M. A., Basit, A., Kamel, E. A. R., Ali, I., Mohamed, H. I., & Ullah, S. (2022). Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review. *Agronomy*, 12(8), 1881. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081881>
- Evans, R. O., Gilliam, J. W., & Skaggs, R. W. (1996a). Controlled drainage management guidelines for improving drainage water quality (Publication No. AG 443). North Carolina Cooperative Extension Service.
- Evans, R. O., Gilliam, J. W., Skaggs, R. W., & Lemke, W. L. (1987). Effects of agricultural water management on drainage water quality. In *Drainage design and management: Fifth National Drainage Symposium* (pp. 210–219). American Society of Agricultural Engineers.
- Evans, R. O., Skaggs, R. W., & Gilliam, J. W. (2010). Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(6), 381-392.

- Evans, R. O., Wayne Skaggs, R., & Wendell Gilliam, J. (1995). Controlled versus Conventional Drainage Effects on Water Quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121(4), 271–276. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1995\)121:4\(271\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1995)121:4(271))
- Evans, R., Gilliam, J. W., & Skaggs, W. (1996b). Controlled drainage management guidelines for improving drainage water quality (Publication No. AG 443). North Carolina Cooperative Extension Service.
- Fang, Q. X., Malone, R. W., Ma, L., Jaynes, D. B., Thorp, K. R., Green, T. R., & Ahuja, L. R. (2012). Modeling the effects of controlled drainage, N rate and weather on nitrate loss to subsurface drainage. *Agricultural Water Management*, 103, 150-161.
- FAO. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Feleke, H. G., Brandt, C., Amdie, T. A., Rasche, F., & Mersha, S. Y. (2025). Climate on the Edge: Impacts and Adaptation in Ethiopia's Agriculture. *Sustainability*, 17(11), 5119. <https://doi.org/10.3390/su17115119>
- Fouss, J. L., Skaggs, R. W., Fausey, N. R., & Pitts, D. J. (2004). Implementing controlled-drainage technology to reduce nitrate loss in drainage water. In *Drainage VIII*, 21-24 March 2004 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Frankenberger, J., Kladivko, E., Sands, G., Jaynes, D., Fausey, N., Helmers, M., Cooke, R., Strock, J., Nelson, K., & Brown, L. (2006). Questions and answers about drainage water management for the Midwest. Purdue University Cooperative Extension Service. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/wq/wq-44.pdf>
- Frimpong, F., Asante, M. D., Peprah, C. O., Amankwaa-Yeboah, P., Danquah, E. O., Ribeiro, P. F., Aidoo, A. K., Agyeman, K., Asante, M. O. O., Keteku, A., & Botey, H. M. (2023). Water-smart farming: Review of strategies, technologies, and practices for sustainable agricultural water management in a changing climate in West Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1110179>

- Gao, W.-T., & Su, W.-H. (2024). Weed Management Methods for Herbaceous Field Crops: A Review. *Agronomy*, 14(3), 486. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030486>
- Garba, I. I., Williams, A., & Bell, L. W. (2022). Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00760-0>
- Gilliam, J. W., Skaggs, R. W., & Weed, S. B. (1978). An evaluation of the potential for using drainage control to reduce nitrate loss from agricultural fields to surface waters (Report No. 128). Water Resources Research Institute of The University of North Carolina.
- Gonçalves, J. M., Filipe, O., Teixeira, M., Oliveira, F., Nunes, M., Amador, P., Gonçalves, M., Duarte, I. M., Vasconcelos, T., Eugénio, R., Damásio, H., & Ferreira, S. (2020). Developing Irrigation Management at District Scale Based on Water Monitoring: Study on Lis Valley, Portugal. *AgriEngineering*, 2(1), 78–95. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2010006>
- Goss, M. J., Colburn, P., Harris, G. L., & Howse, K. R. (1988). Leaching of nitrogen under autumn sown crops and the effects of tillage: Nitrogen efficiency in agricultural soils. In *Nitrogen efficiency in agricultural soils* (pp. 269–282). Elsevier Applied Science.
- Groening, K. J., Wolters, V., Döring, T. F., & Sauer, T. J. (2014). Soil conservation with controlled drainage and subirrigation systems in organic agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(2), 142-153.
- Guerchi, A., Mnafigui, W., Jabri, C., Merghni, M., Sifaoui, K., Mahjoub, A., Ludidi, N., & Badri, M. (2024). Improving productivity and soil fertility in *Medicago sativa* and *Hordeum marinum* through intercropping under saline conditions. *BMC Plant Biology*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04820-3>
- Hao, Y., Mao, J., Bachmann, C. M., Hoffman, F. M., Koren, G., Chen, H., Tian, H., Liu, J., Tao, J., Tang, J., Li, L., Liu, L., Apple, M., Shi, M., Jin, M., Zhu, Q., Kannenberg, S., Shi, X., Zhang, X., Wang, Y., Fang, Y., & Dai, Y. (2025). Soil moisture controls over carbon sequestration and

- greenhouse gas emissions: a review. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00888-8>
- Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 103. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- Helmets, M., Christianson, R., Breneman, G., Lockett, D., & Pederson, C. (2012). Water table, drainage, and yield response to drainage water management in southeast Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(6), 495-501.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Academic Press.
- Javan, K., Hamidi, S. A., Mirabi, M., Darestani, M., Altaee, A., & Zhou, J. (2023). Enhancing Environmental Sustainability in a Critical Region: Climate Change Impacts on Agriculture and Tourism. *Civil Engineering Journal*, 9(11), 2630–2648. <https://doi.org/10.28991/cej-2023-09-11-01>
- Jaynes, D. B., Colvin, T. S., Karlen, D. L., Cambardella, C. A., & Meek, D. W. (2001). Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1305–1314.
- Kader, M. A., Khan, F. H., Singha, A., Khan, N. I., Jewel, A., & Begum, M. A. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture: review article. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7>
- Kalita, P. K. and R. S. Kanwar. (1993). Effect of water table management practices on the transport of nitrate-N to shallow groundwater. *Transactions of the ASAE* 36(2): 413-422.
- Kanimozhi, A.K., & Vadivel, R. (2024). Optimized water management for precision agriculture using IoT-based smart irrigation system. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 802–811. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0682>
- Kertolli, E., Prosperi, P., Harbouze, R., Moussadek, R., Echchgadda, G., & Belhouche, H. (2024). The water–energy–food–ecosystem nexus in North Africa dryland farming: a multi-criteria analysis of climate-resilient innovations in Morocco. *Agricultural and Food Economics*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-024-00327-5>

- Kęsicka, B., Stasik, R., & Kozłowski, M. (2022). Effects of modelling studies on controlled drainage in agricultural land on reduction of outflow and nitrate losses—a meta-analysis. *PLoS ONE*, 17(4), e0267736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267736>
- Kladivko, E. J., Frankenberger, J. R., Jaynes, D. B., Meek, D. W., Jenkinson, B. J., & Fausey, N. R. (2004). Nitrate leaching to subsurface drains as affected by drain spacing and changes in crop production system. *Journal of Environmental Quality*, 33(5), 1803–1813.
- Knutson, C. L., Hayes, M. J., Graf, L., Widhalm, M., Nothwehr, J., Haigh, T., & Kleinschmidt, M. (2011). Farmer perceptions of sustainable agriculture practices and drought risk reduction in Nebraska, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26(3), 255–266. <https://doi.org/10.1017/s174217051100010x>
- Kumar, J., Chawla, R., Sahoo, S., Katiyar, D., Ali, A., Chouriya, A., Nath, D., & Singh, B. V. (2023). Optimizing Irrigation and Nutrient Management in Agriculture through Artificial Intelligence Implementation. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 4016–4022. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i103077>
- Lafond, G. P., Brandt, S. A., Boyetchko, S. M., Clayton, G. W., & Entz, M. H. (1996). Influence of changing tillage practices on crop production. *Canadian Journal of Plant Science*, 76(4), 641–649. <https://doi.org/10.4141/cjps96-114>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Li, H., Li, Y., Huang, G., & Sun, J. (2021). Probabilistic assessment of crop yield loss to drought time-scales in Xinjiang, China. *International Journal of Climatology*, 41(8), 4077–4094. <https://doi.org/10.1002/joc.7059>
- Logan, T. J., Randall, G. W., & Timmons, D. R. (1980). Nutrient content of tile drainage from cropland in the North Central Region. North Central Regional Research Publication, 268. Ohio Agricultural Research and Development Center.
- Madramootoo, C. A., Ayars, J. E., Fausey, N. R., Johnston, W. R., & Evans, R. O. (2007). Agricultural drainage management, quality and disposal issues in North America. *Irrigation and Drainage*, 56(S1), S35–S45. <https://doi.org/10.1002/ird.343>

- Madramootoo, C.A., Johnston, W.R. and Willardson, L.S. (1997). Management of Agricultural Drainage Water Quality. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Marthandan, V., Kumutha, K., Ramalingam, J., Karthikeyan, A., Renganathan, V. G., & Geetha, R. (2020). Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8258. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>
- Maurya, S. K., Kumar, M., Maurya, D. K., Chaubey, C., Verma, V. K., Tiwari, A., & Kalhapure, A. (2024). Irrigation Scheduling and Cultivar Management for Increasing Water Productivity under Dryland Condition: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(1), 461–470. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i13856>
- Modanesi, S., Camici, S., Brocca, L., Amarnath, G., & Massari, C. (2020). Do Satellite Surface Soil Moisture Observations Better Retain Information About Crop-Yield Variability in Drought Conditions? *Water Resources Research*, 56(2). <https://doi.org/10.1029/2019wr025855>
- Mohammed, S., Bashir, B., Széles, A., Harsanyi, E., Elbeltagi, A., Enaruvbe, G. O., Alsafadi, K., & Alsalman, A. (2022). Assessing the impacts of agricultural drought (SPI/SPEI) on maize and wheat yields across Hungary. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12799-w>
- Munster, C.L., R.W. Skaggs, V.R. Pemmireddy. (1995). Effect of water table management on the fate of the pesticide aldicarb. *Transactions of the ASAE*. Vol. 39(1):55-66.
- Nefco (2024). Controlled drainage helps reduce nutrient losses in the Baltic Sea. Web sayfası. Erişim Tarihi 10.11.2024. Adres: <https://www.nefco.int/case-stories/controlled-drainage-helps-reduce-nutrient-losses-in-the-baltic-sea/>
- Patra, S. K., Sengupta, S., Bhattacharya, P., Poddar, R., Biswas, B., Pal, P., Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Barek, V., Acharjee, P. U., Bam, N., & Ondrisik, P. (2022). Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>

- Peng, Z., Ting, W., Haixia, W., Min, W., Xiangping, M., Siwei, M., Rui, Z., Zhikuan, J., & Qingfang, H. (2015). Effects of straw mulch on soil water and winter wheat production in dryland farming. *Scientific Reports*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/srep10725>
- Poole, C. A., Skaggs, R. W., Cheschier, G. M., Youssef, M. A., & Crozier, C. R. (2013). Effects of drainage water management on crop yields in North Carolina. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(6), 429-437.
- Postel, S. L. (1999). *Pillar of sand: Can the irrigation miracle last?* W.W. Norton & Company.
- Rahman, T., Iqbal, N., Ye, L., Liu, X., Gao, R., Yang, W., Liu, W., Du, J., & Yang, F. (2016). Water use efficiency and water distribution response to different planting patterns in maize–soybean relay strip intercropping systems. *Experimental Agriculture*, 53(2), 159–177. <https://doi.org/10.1017/s0014479716000260>
- Ramos, T. B., Pereira, L. S., & Darouich, H. (2024). Mulching effects on soil evaporation, crop evapotranspiration and crop coefficients: a review aimed at improved irrigation management. *Irrigation Science*, 42(3), 525–539. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00924-8>
- Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). *The use of saline waters for crop production*. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ritter, W. F., & Shirmohammadi, A. (2002). *Agricultural nonpoint source pollution: Watershed management and hydrology*. CRC Press.
- Rosero, A., Šamaj, J., Cerkal, R., Šamajová, O., Granda, L., & Berdugo-Cely, J. A. (2020). A Dual Strategy of Breeding for Drought Tolerance and Introducing Drought-Tolerant, Underutilized Crops into Production Systems to Enhance Their Resilience to Water Deficiency. *Plants*, 9(10), 1263. <https://doi.org/10.3390/plants9101263>
- Ross, J. A., Herbert, M. E., Sowa, S. P., Georgetown, J. R., & Frankenberger, J. R. (2016). A review and synthesis of controlled drainage in the United States Midwest. *Agricultural Water Management*, 178, 350-363.
- Safdar, M., Shahid, M. A., Raza, A., Rasul, F., Tahir, M., Sabir, R. M., & Yang, C. (2024). *Climate Smart Agriculture and Resilience* (pp. 28–52). Igi Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4864-2.ch002>

- Sarma, H. H., Nath, H., Borah, S. K., Das, B. C., Sultana, N., & Dutta, N. (2024). Innovative Approaches for Climate-Resilient Farming: Strategies against Environmental Shifts and Climate Change. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(9), 217–241. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i94407>
- Schultz, B., & De Wrachien, D. (2002). Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, 51(4), 311–327. <https://doi.org/10.1002/ird.67>
- Shangguan, Z. P., Shao, M. A., Lei, T. W., & Fan, T. L. (2002). Runoff water management technologies for dryland agriculture on the Loess. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 9(4), 341–350. <https://doi.org/10.1080/13504500209470129>
- Shao, G.-C., Deng, S., Liu, N., Yu, S.-E., Wang, M.-H., & She, D.-L. (2014). Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice. *European Journal of Agronomy*, 53, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.005>
- Skaggs, R. W., & Gilliam, J. W. (1981). Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. *Transactions of the ASAE*, 24(4), 929–934.
- Skaggs, R. W., Breve, M. A., & Gilliam, J. W. (1994). Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 24(1), 1-32. <https://doi.org/10.1080/10643389409388459>
- Skaggs, R. W., Fausey, N. R., & Evans, R. O. (2012). Drainage water management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(6), 167A-172A. <https://doi.org/10.2489/jswc.67.6.167A>
- Skaggs, R. W., Tabrizi, A., & Foster, G. R. (1982). Subsurface drainage effects on erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 37, 167–172.
- Smith, E.L., Kellman, L.M. (2011) Nitrate loading and isotopic signatures in subsurface agricultural drainage systems. *Journal of Environmental Quality*, 40(4): 1257–1265. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2010.0489>
- Soares, P. R., Harrison, M. T., Kalantari, Z., Zhao, W., & Ferreira, C. S. S. (2023). Drought effects on soil organic carbon under different agricultural systems. *Environmental Research Communications*, 5(11), 112001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad04f5>

- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., & Stephens, S. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<1181:TDM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<1181:TDM>2.3.CO;2)
- Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Udias, A., Pastori, M., Malago, A., Vigiak, O., Nikolaidis, N. P., & Bouraoui, F. (2018). Identifying efficient agricultural irrigation strategies in Crete. *Science of The Total Environment*, 633, 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.152>
- Vlotman, W. F., Jansen, H. J., & Snellen, W. B. (2002). Controlled drainage; an additional paradigm for integrated water management. In S. J. Visser (Ed.), *Proceedings of the 7th Netherlands National ICID Symposium* (pp. 65–84). Haskoning. <https://edepot.wur.nl/202698>
- Wahab, A., Muhammad, M., Naeem, M., Batool, F., Zaman, W., & Mikhlef, R. M. (2023). Current Knowledge, Research Progress, and Future Prospects of Phyto-Synthesized Nanoparticles Interactions with Food Crops under Induced Drought Stress. *Sustainability*, 15(20), 14792. <https://doi.org/10.3390/su152014792>
- Wang, J., Yin, M., Duan, Y., Wang, Y., Ma, Y., Wan, H., Kang, Y., Qi, G., & Jia, Q. (2024). Enhancing Water and Soil Resources Utilization via Wolfberry-Alfalfa Intercropping. *Plants (Basel, Switzerland)*, 13(17), 2374. <https://doi.org/10.3390/plants13172374>
- Wesström, I., & Messing, I. (2007). Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. *Agricultural Water Management*, 87(3), 229-240.
- Wesström, I., Joel, A., & Messing, I. (2014). Controlled drainage and subirrigation – A water management option to reduce non-point source pollution from agricultural land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 198, 74-82.
- Wheaton, E., & Kulshreshtha, S. (2017). Environmental Sustainability of Agriculture Stressed by Changing Extremes of Drought and Excess

- Moisture: A Conceptual Review. *Sustainability*, 9(6), 970. <https://doi.org/10.3390/su9060970>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Williams, M. R., King, K. W., & Fausey, N. R. (2015). Drainage water management effects on tile discharge and water quality. *Agricultural Water Management*, 148, 43-51.
- Yu, C., Hall, J., Sun, Z., Wright, J. S., Xiao, Y., Yu, L., Huang, G., Huang, X., Zhang, J., Ciais, P., Chen, H., Ni, S., & Wang, X. (2018). Assessing the Impacts of Extreme Agricultural Droughts in China Under Climate and Socioeconomic Changes. *Earth's Future*, 6(5), 689–703. <https://doi.org/10.1002/2017ef000768>
- Yu, P., Zhang, Z., Qi, Z., Zhou, X., Li, A., Yin, Z., & Yang, T. (2024). Soil and water conservation effects of different tillage measures on phaeozems sloping farmland in northeast China. *Land Degradation & Development*, 35(5), 1716–1733. <https://doi.org/10.1002/ldr.5016>
- Zhang, H., Ali, A., Erbacher, A., & Ghahramani, A. (2023). Cover cropping impacts on soil water and carbon in dryland cropping system. *PLOS ONE*, 18(6), e0286748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286748>
- Zhao, Y., Li, S., Che, J., Huang, X., Ma, C., & Mao, X. (2023). A Review of Plastic Film Mulching on Water, Heat, Nitrogen Balance, and Crop Growth in Farmland in China. *Agronomy*, 13(10), 2515. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102515>
- Zou, Y., Chen, Y., Wang, Y., Feng, S., & Liu, Z. (2024). Crop Rotation and Diversification in China: Enhancing Sustainable Agriculture and Resilience. *Agriculture*, 14(9), 1465. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091465>

BÖLÜM 9

PEYZAJ DÜZENLEME ALANLARINDA KURAKLIK STRESİNE KARŞI GELİŞTİRİLEN STRATEJİLER

Peyzaj Mimarı Kaan ÇİÇEK¹

Doç. Dr. Hülya AKAT²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17229015>

¹ Muğla Sıtkı Koçaman Üniversitesi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Muğla, Türkiye. kaancicek048@gmail.com, orcid id: 0009-0005-0217-2003

² Muğla Sıtkı Koçaman Üniversitesi, Ortaca Meslek Yüksekokulu Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Peyzaj ve Süs Bitkileri Programı, Muğla-Ortaca, Türkiye. ahulya@mu.edu.tr, orcid id: 0000-0002-0927-8530

1. GİRİŞ

Küresel ısınma sonucu ortaya çıkan kuraklık, suyun etkin kullanımı ile korunmasını gündeme getirmekte ve su kaynaklarının her alanda verimli bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır (Maaşoğlu, 2018). Tarımsal amaçlı değerlendirilen suyun büyük çoğunluğunun özellikle açık yeşil alanlardaki süs bitkilerinin yaşamını devam ettirmesinde kullanıldığı ileri sürülmektedir (İlhan vd., 2024a). Son zamanlarda iklim değişikliği etkilerinin artması kent rekreasyon alanlarının planlama ilkelerini ve devamlılığını tehdit etmektedir. Geleneksel peyzaj çalışmaları; yoğun su kullanımının gerçekleştiği açık yeşil alanlar olup su kaynakları üzerinde baskının arttığı günümüz şartlarına uygun olmayan bir düzenleme yaklaşımı sunmaktadır. Peyzaj uygulamalarında sıklıkla tercih edilen egzotik ağaçlar, çalılar, çim alanlar ve mevsimlik çiçekler gibi su tüketimi yüksek türlerin kullanılması, kurak koşullarda bitkilerin sağlıklı gelişememesine ve canlılığını yitirmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir olmayan peyzaj düzenlemeleri ve yüksek su tüketimine bağlı ekolojik zararın yanı sıra maddi kayıpların da büyük boyutlarda olduğu bildirilmektedir (Çakar vd., 2018).

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinden kaynaklı ortaya çıkan stres faktörleri, tüm canlıları etkilemekte olup bitkileri de tesiri altına almaktadır (Köse vd., 2022). Stres faktörleri, canlı organizmaların zarar vermesiyle ortaya çıkan biyotik (patojenler, mikroorganizmalar vb.) veya çevresel koşullara bağlı ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal etmenlerden oluşan abiyotik kaynaklı stres faktörleri (sıcaklık, tuzluluk, kuraklık vb.) olarak sınıflandırılmaktadır. Bitkiler stres faktörlerine farklı tepkiler göstererek, gelişimde gerileme, boy kısalması, verim ile kalitede azalmalar ile kendini ortaya koymaktadır (Gürsoy, 2023). Kuraklık stresi, bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olmaktadır. Kuraklık stresi bitki boyu, kök uzunluğu, yaprak alanı, taze ve kuru biyokütleyle azaltmaktadır. Ayrıca nisbi nem içeriğinin azalmasına, stomaların kapanmasına, fotosentez ve klorofil içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Antioksidan enzimlerden glutatyon redüktaz (GR), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (ASC), glutatyon (GSH), katalaz (CAT) enzim aktiviteleri ile oksidatif stresin bir göstergesi malondialdehit (MDA) ve prolin seviyeleri de kurak koşullarda değişmektedir. Bununla birlikte bitki besin elementi alımı gerilediği veya engellendiği için bitki gübreleme ve mikroelementlerin remobilizasyonu önem taşımaktadır. Kurak koşullardaki

bitkiler, bazı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarla stres faktörlerine karşı direnç geliştirmekte ve kuraklık stresine bitkilerin tepkisi, gelişim aşaması, stres seviyesi ile süresi, bitkinin dayanım kapasitesi gibi bazı faktörlerden etkilenmektedir (Clua vd, 2009).

Kuraklık stresinde bitki dayanımını arttırmaya yönelik bazı uygulamaların etkili sonuçlar ortaya koyduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda bitkilerde kuraklık stresine karşı geliştirilen stratejilerin kullanılması kapsamında; öncelikle su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması, kurağa dayanıklı bitki türlerinin yetiştiriciliğine yönelinmesi ve uygun bakım tekniklerinin doğru zamanda gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yaşanan iklim değişikliğinin etkileri sürdürülebilir tasarım anlayışlarını da beraberinde getirmekte ve günümüz şartlarında sürdürülebilir tasarım arayışları kapsamında kurakçıl peyzaj uygulamalarına rağbetin giderek arttığı görülmektedir. Kurakçıl peyzaj yaklaşımı, klasik peyzaj tasarımlarına kıyasla doğal ve sınırlı kaynaklardan suyun kullanımına daha çok dikkat çekmektedir. Bu yaklaşım su kullanımını minimize ederek, maksimum tasarruf ve verimlilik elde etmeyi hedeflemektedir. Kurakçıl peyzajda kullanılacak bitkilerin su ihtiyacının düşük ve bölgenin doğal türlerinden olması büyük önem taşımaktadır. Bitkisel tasarım uygulamalarında su tüketim yoğunluğu yakın olan bitkilerin bir arada kullanılması ile su tasarrufu sağlanırken aynı zamanda bölgenin doğal türlerinin tercih edilmesiyle bakım maliyetleri açısından da avantajlar sağlanmaktadır (Aybey, 2024). Ayrıca daha çok meyveler, sebzeler ve tarla bitkileri başta olmak üzere bitki bazında kurağa dayanımı arttıran bazı uygulamaların peyzaj düzenleme alanlarında değerlendirilen süs bitkisi türlerinde de kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda absisik asit, salisilik asit, askorbik asit, sitokinin, giberellin, prolin, glisin betain, brassinosteroidler, jasmonatlar ve poliaminler gibi osmotik koruyucuların kullanımı, stres koşullarında bitkideki yoğunlukları artan reaktif oksijen türevlerinin (ROS) olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak kuraklığa dayanımı arttırdığı bilinmektedir (Yavaş vd., 2016). Bunlara ilaveten dışarıdan bitki büyümesini düzenleyen rizobakteriler (PGPR), mikorizalar, deniz yosunu özleri, alglerin uygulanması ile kalsiyum, potasyum ve bor gibi bazı bitki besin elementlerinin kullanımı da bitkilerin su stresine dayanımında etkili olmaktadır. Ayrıca kurak dönemlerde koruyucu olarak toprak işlemenin gerçekleştirilmesinin de kuraklığa karşı etkili olduğu bilinmektedir.

Son yıllarda yaşanan iklim değişikliği ve artan su kıtlığına bağlı ortaya çıkan kuraklık, özellikle peyzaj düzenleme alanlarında önemli bir sorun haline gelmiştir. Peyzaj düzenlemelerinde bitkilerin sağlıklı kalabilmesi ve estetik görünümünü kaybetmeden sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi amacıyla bazı kuraklık stratejileri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda peyzaj düzenlemelerinde kuraklık stresine karşı geliştirilen stratejiler aşağıda değerlendirilmiştir.

1. Kuraklığa Dayanıklı Bitkilerin Kullanımı

Kurak koşullarda, su ihtiyacı düşük ve bu koşullara uyum sağlayabilen bitkilerin kullanılması önemlidir. Bu amaçla kurağa dayanıklı bitkiler tercih edilebildiği gibi bölgenin doğal koşullarına uyum sağlayan türlerde seçilebilmektedir. Bölgenin iklim koşullarına uyum sağlayabilen yerel bitkiler kullanıldığında hem su tüketimi düşmekte hem de kuraklığın yanı sıra diğer çevresel faktörlere dayanımı da artmaktadır. Ayrıca su isteği az olan derin köklü bitkilerin yanı sıra sukkulent yapıdaki türlerin tercih edildiği de bilinmektedir.

Çöp ve Akat (2021), kurak bölgelerdeki bitkisel tasarımlarda su tasarrufu sağlama noktasında en önemli adımlardan birinin doğru bitki seçimi olduğunu ve bölgeye özgü doğal bitkilere öncelik verilerek su isteği az türlerin değerlendirilmesi sonucu gerçekleştirilen peyzaj tasarımları ile sürdürülebilirliğin de sağlanabileceğini ileri sürmüştür. Kurak koşullardaki peyzaj tasarımlarında yanlış bitki seçimleri nedeniyle özellikle yaz aylarında bitkiler kurumakta ve ilerleyen süreçlerde ise canlılığını yitirmektedir (Çetin ve Mansuroğlu, 2018). Bitkilerin tercihinde, geniş alanlar için çim türleri ile mevsimlik türlerin sınırlı miktarda tutulması su kaynaklarındaki baskıyı önemli oranda azaltabilmektedir. Peyzaj tasarımlarının önemli unsurlarından olan çim alanlar boyutuna bağlı olarak suyu yoğun tüketerek fazla bakım gerektirdiğinden kurak bölgeler için alternatif olarak yer örtücü türlerin kullanımı bazı araştırmacılar tarafından önerilmektedir (Akat ve Çöp, 2019; Çetinkale ve Akat, 2017).

2. Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) Yaklaşımının Tercih Edilmesi

Su kaynaklarındaki baskının hafifletilmesi için çevrenin planlanması, tasarlanması ve korunması bağlamında “Su Etkin Peyzaj Düzenlemeleri” altında “Suyun Akılcı Kullanımı, Doğal Peyzaj Düzenleme ve Kurakçıl Peyzaj” konularındaki çalışmalar gündeme gelmiştir (Barış, 2007). Sürdürülebilir su

kullanımı çerçevesinde, suyun çevre ile uyumlu olacak şekilde tek bir damlasının bile israf edilmeden etkin kullanımının sağlanması oldukça önemlidir (Çakar, 2022). Özellikle kurak bölgelerde su etkin peyzaj tasarımlarının kullanılması, su tasarrufuna katkı sağlamanın yanında sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır (Atik ve Karagüzel, 2007; Çorbacı vd., 2011). Suyun yoğun kullanıldığı peyzaj düzenlemelerinde son yıllarda doğayla uyumlu ve sürdürülebilir uygulamalar kapsamında su tasarrufunu benimseyen bir yaklaşım olarak kurakçıl peyzaj çalışmaları dikkat çekmektedir. Kurakçıl peyzaj düzenlemeleri; sudan tasarruf sağlayan, çevreyle uyumlu, görsel kalite ve estetik görünümünden ödün vermeyen, bakım masrafları ve işlemlerini minimize eden, bölge ekolojisine uyum sağlamış doğal bitkilerin seçilmesiyle daha az kimyasal kullanımını mümkün kılan tasarımlardır (Bayramoğlu vd., 2013; Çakar vd., 2018; Çorbacı vd., 2011; Çakar ve Akat Saraçoğlu, 2024).

Kuraklık stresine karşı kullanılabilecek stratejiler içinde yer alan kurakçıl peyzaj yaklaşımında; bölge ekolojisine uygun doğal bitkiler ile az su tüketen türlere öncelik verilerek orta düzeyde su isteyen bitkilerin seçilmesi durumda ise aynı sulama bölgelerinde (zon) birbirine yakın yerleştirilmesi, çim alanların sınırlı tutulması ya da tasarımda tercih edilmemesi, sudan tasarruf sağlayan sulama sistemleriyle desteklenmesi ve malç materyallerinin kullanımının değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Çorbacı vd., 2011; Wade ve Midcap, 2007; Akat Saraçoğlu, 2023a).

3. Su Tasarrufu Sağlayan Sulama Sistemleri ve Kısıntılı Sulama Uygulamaları

Peyzaj düzenlemelerinde bitkinin ihtiyaç duyduğu miktardaki suyun, doğru zamanda ve uygun sistemle otomatize edilerek verilmesi önemlidir (Altunkasa, 1998). Otomatik sulama sistemlerinde nem sensörleri ve zamanlayıcılar kullanılarak sulamanın yapılması suyun etkin kullanımına katkı sağlamaktadır (Akat Saraçoğlu vd., 2022). Ayrıca sulama işlemlerinin sabah erken veya akşam saatlerinde gerçekleştirilmesi suyun buharlaşmasını önlemede etkin yöntemler arasında yer almaktadır (Akat Saraçoğlu, 2021).

Su kaynaklarının etkin kullanımı amacıyla peyzaj çalışmalarında su tasarrufu sağlayan yağmurlama ve damla sulama sistemlerinin kullanımı yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Akat Saraçoğlu vd., 2022; Akat

Saraçoğlu ve Çakar, 2023; Akgedik, 2024). Buna ilaveten kısıntılı sulama uygulamaları da su kaynaklarının etkin kullanımı adına büyük önem taşımaktadır. Sürekli veya planlı düzenlenen kısıntılı sulama uygulaması; suyun az ve pahalı olduğu ülkelerde bitkilerin su eksikliğine dirençli olduğu dönemlerinde gelişimini sıkıntıya sokmayacak kısmının verilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Bayramoğlu vd., 2013; Akat Saraçoğlu, 2023b). Sürekli kısıntılı sulama uygulamasında; su miktarı azaltılarak, sulama aralıkları uzatılmakta ve bitki sırasının bir tarafı belirli aralıklarla sulanmaktadır. Planlı kısıntılı sulamada ise; bitkilerin susuzluğa en dayanıklı olduğu dönemlerinde sulama yapılmamaktadır (Çakmak ve Gökalp, 2011). Kısıntılı sulama uygulamalarında su kullanımının azaltılması sonucu sudan tasarruf sağlanırken verim ve kalitede düşüşler de yaşanabilmektedir (Prichard vd., 2004; Zhang vd., 2004). Son yıllarda bu durumun ortadan kaldırılabilmesi amacıyla kısıntılı sulamayı model alan yeni geliştirilmiş yarı ıslatmalı sulama yaklaşımı gündeme gelmiştir (Bayramoğlu vd., 2013). Yarı ıslatmalı sulama uygulaması ile geleneksel sulamalarda uygulanan su miktarı belli oranda düşürülerek kök yoğunluğunun yarısı ve takip eden süreçte ise diğer yarısı sulanmaktadır. Bu yöntem, kısıntılı sulamaya kıyasla su kullanım randımanı daha yüksek olmakta ve su daha etkin bir şekilde kullanılabilir (Çakmak ve Gökalp, 2011; Chaffey 2001; Kang vd. 1998).

4. Toprak İşleme Uygulamaları

Kurak bölgelerde bitki kayıpları ve verim azalmasının ortadan kaldırılabilmesi adına geleneksel toprak işleme yerine alternatif olarak koruyucu toprak işleme yönteminin uygulanması etkili sonuçların alınmasını sağlamaktadır (Yavaş vd., 2016). Romero-Perezgrovas vd. (2014), kurak koşullarda mısır yetiştiriciliğinde geleneksel ve alternatif toprak işleme sistemlerinin etkisini incelediği çalışmada; ilk yılda kurak koşullardaki koruyucu toprak işlemenin verimde %26'lık artış sağladığını belirtmiştir. Bu bağlamda, peyzaj düzenlemelerinde koruyucu toprak işleme uygulamalarının değerlendirilmesi ile etkili sonuçların alınabileceği düşünülmektedir.

5. Toprak Düzenleyici Maddelerin Kullanımı

Toprak düzenleyiciler, toprağın suyu emme ve bünyesinde tutabilme kapasitesini iyileştirmektedir. Kurak koşullarda toprak düzenleyicilerin kullanımı ile bitkilerin sudan daha kolay faydalanmasına olanak tanınarak

büyüme ve gelişmenin arttırılması sağlanmaktadır. Bu bağlamda kullanılabilecek maddeler aşağıda irdelenmiştir.

a. Polimer maddeler

Kuraklık koşullarında ticari anlamda bitki yetiştiriciliğini gerçekleştirebilmek ve sürdürülebilirliğini sağlayabilmek amacıyla alternatif bazı kimyasal uygulamalara başvurulmaktadır. Bu kimyasallardan su tutma kapasitesi yüksek su tutucu polimerlerin (Super Absorbent Polymer: SAP) bitki yetiştiriciliğinde kuraklık stresine uygulanması son yıllarda dikkat çekmektedir (Ghehsareh vd., 2010). Kurak koşullarda su tutucu polimer maddeler, kendi bünyelerinde suyu tutarak köklerin suya ihtiyaç duyduğu durumlarda yararlanmasını sağlayarak büyüme ve gelişmeye olumlu katkılar sunmaktadır (El-Hady ve Wanas, 2006). Bu doğrultuda su tutucu polimerler; süs bitkileri yetiştiriciliğinin yanı sıra tarımsal alanlar arasında su tüketiminin yüksek olduğu peyzaj düzenleme sahalarında da kullanılabildiği ve etkili sonuçların alındığı birçok araştırmada ileri sürülmüştür (Ghasemi ve Khoshkhuy, 2006; Ljubojevic vd., 2017).

Ghasemi ve Khoshkhuy (2006), su tutucu polimer maddelerin kuraklık stresi koşullarında *Chrysanthemum* sp. türünde, bitki gelişimi, verim, çiçeklenme ve kalite üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Khalili vd. (2015), kuraklık stresinde *Cynodon dactylon* türünde, sulama periyodu azaldıkça çimlerin yüksekliği ve homojenitesi, kök uzunluğu, görsel kalitesi, kök-yaprak yaş ile kuru ağırlığı ve klorofil içeriği azalırken, SAP dozunun artması ile ölçülen değerlerin olumlu yönde etkilendiğini belirtmiştir. Akat (2020), farklı dozlardaki SAP uygulamasının Anadolu Sığla Ağacı ve Biberiye türlerindeki etkisini incelediği çalışmada, tüm dozların kontrole kıyasla bitki gelişim parametrelerini olumlu yönde etkilediği ve en yüksek değerlerin %0.6 SAP uygulamasında meydana geldiği tespit etmiştir.

b. Biyokömür

Tarımsal atıkların karbonize edilmesi ile oluşan gözenekli yapıdaki biyokömür; toprak nem içeriğini ve katyon değişim kapasitesini iyileştirerek bitki gelişimini olumlu etkilemektedir (Brüggemann vd., 2018; Liang vd., 2008). Bu materyalin toprağa uygulanması ile bitki besin elementlerinin daha etkili kullanımını sağlama, toprak verimliliğini artırma, karbon tutma yeteneği

ve su tutma kapasitesini iyileştirme gibi özellikleri nedeniyle sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağladığı bilinmektedir (Özcan ve Tuncer, 2024). Kammann vd. (2011), *Chenopodium quinoa* türünde kurak koşullarda üç farklı dozda biyokömür (0, 100 ve 200 t ha⁻¹) uygulamasının bitki gelişimi ve su kullanımını artırarak kuraklığın olumsuz etkilerini azalttığını tespit etmiştir. Hafeez vd. (2017), kurak koşullardaki soya fasulye türünde 20 t ha⁻¹ biyokömür uygulamasının; tohum canlılığı, çimlenme yüzdesi ve klorofil içeriğinde kuraklığın meydana getirdiği olumsuzlukları azalttığını bildirmiştir.

c. Vermikompost

Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan verмикompost; solucanlar tarafından üretilen ve yararlı mikroorganizmalar barındıran, toprak düzenleyici ve gübre olarak değerlendirilebilen organik bir materyaldir (Çıtak vd., 2011). Kök bölgesine yerleşip bitki rizosferine üreaz, fosfataz ve β -glikosidaz gibi bazı enzimleri, antibiyotikleri ve oksin, sitokinin, giberellik asit gibi bitki gelişim düzenleyicilerini salgılayarak bitkilerin patojenlere direncini artırmakta, kuraklığa toleransını desteklemekte, besin elementlerinin yarıyışlılığını sağlayıp gelişim, verim ve kalitelerini artırmaktadır (Doan 2014; Muscolo vd., 2007; Sharma ve Banik, 2014).

Saberi vd. (2015), Petunya türünde verмикompostun kuraklığa dayanımı artırdığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde çeltikte yapılan araştırmada verмикompost uygulamasının bitkilerin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirerek kurağa toleransı arttırdığı bildirilmiştir (García vd., 2012). Kıran (2019), kuraklık koşullarındaki kıvrıkcık salatada verмикompostun besin elementi içerikleri üzerine etkilerini incelediği çalışmada; kuraklık ile köklerdeki Fe, Mn, Zn ve Cu içeriklerinde önemli kayıplar ile yapraklarda N, P ve K içeriklerinde ise önemli artışlar tespit etmiştir. Vermikompost uygulamasının kuraklık stresi altındaki bitki besin elementi içeriklerini önemli ölçüde arttırmasının kuraklığa toleransın desteklemesinde kullanılabilecek bir strateji olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6. Mikrobiyal Gübreler

Sürdürülebilir tarım kapsamında çevre dostu yöntemlerden mikrobiyal gübreler; besin elementlerinin topraktan alınmasında canlı mikroorganizmaların kullanıldığı ticari formdaki materyallerdir (Kandil, 2020). Bitkilerin büyüme ve veriminin arttırılmasında, toprak yapısı ve

verimliliğinin iyileştirilmesinde, organik artıkların parçalanmasında, hastalık ve zararlılara dayanımın sağlanması ile stres koşullarının olumsuz etkilerinin iyileştirilmesinde mikrobiyal gübrelerin etkili olduğu bilinmektedir (Karaçal ve Tüfenkçi, 2010; Nishio, 1996).

a. Mikorizalar

Mikoriza; bazı bitki kökleri ile toprak mikroorganizmaları arasında simbiyotik yaşam geliştiren mantarlardır (Smith ve Read, 2008). Mikorizalar, besin maddelerinin alınımına destek olurken stres faktörlerine karşı toleransını da arttırmaktadır (Çelik ve ar., 2019). Arbusküler mikorizal funguslar (AMF) birçok türde, bitki-su arasındaki ilişkiyi iyileştirerek abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı direnç geliştirmeye olanak tanımaktadır (Smith ve Read, 2008).

Sandal Erzurumlu ve Erman Kara (2014), kuraklık stresinde kişniş türünde mikoriza ve fosfor uygulamasının; uçucu yağ içeriği, kök gelişimi, meyve verimi, besin elementlerinin alımı ile su kullanım etkinliğini arttırdığını saptamıştır. Mikorizaların kesme çiçeklerde kalite, vazo ömrü, besin maddelerinin alımı, kuraklık ve tuz stresine etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Akat vd., 2020; Olgaç vd., 2022). Asrar ve Elhindi (2011), kurak koşullardaki *Tagetes erecta* türünde mikorizanın etkisini incelediği çalışmada; kuraklık seviyelerinin bitki boyu, sürgün kuru ağırlığı, çiçek çapı, yaş-kuru ağırlığı azalttığı ve mikoriza uygulanan bitkilerin, uygulanmayanlara kıyasla önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiklerini belirlemiştir.

b. Rizobakteriler (PGPR)

Bitkinin stresten korunması ve gelişiminin teşvik edilmesinin yanı sıra toprak canlılığının sürdürülmesi amacıyla rizobakteriler kullanılabilir (Ahemad ve Khan, 2012; Nadeem vd., 2014). Rizobakterilerin; su ve mineral alınımını artırma, azotu bağlama, fosfor ve bazı ağır metalleri çözme, hormon üretme, enzim aktivitesini artırma ve kök gelişimini destekleme gibi büyümeye olumlu etkilerinin bulunduğu bilinmektedir (Djordjevic vd., 1987; Şahin vd., 2010).

Kurak koşullardaki petunya ve sardunya türlerinde rizobakteri uygulamasının, membran dayanıklılık indeksini %54 seviyesinde artırarak kuraklığa direnç geliştirmesinde etkili olduğu bildirilmiştir (Nordstedt ve Jones, 2020). Çirka vd. (2022), kuraklık stresindeki *Phaseolus vulgaris* türünde

rizobakteri uygulamasının yaprak alanı, iyon sızıntısı ve MDA değerlerini iyileştirerek kuraklığın olumsuz etkilerinin azaltılmasında fayda sağladığını tespit etmiştir.

c. Mikroalgler

Biyogübre, biyostimülan ve biyopestisit olarak ilgi gören mikroalg ve bakteri uygulamalarının verim artışının yanı sıra sürdürülebilirliği olumlu etkilediği bilinmektedir (Okutan, 2024). Mikroalgler, içerdiği makro-mikro besin elementleri, bazı büyüme düzenleyicileri, poliaminler, doğal enzimler, karbonhidratlar, proteinler, vitaminler ile verim ve bitki gelişiminde önemlidir (Abd El-moniem ve Abd-allah, 2008). Azot açısından çiftlik gübresine yakın özellikteki algler, toprak neminin korunmasında etkin uygulamalardır (Akar ve Cebeci, 2010).

Yer fıstığında su kısıtlaması (%40, %60 ve %80) koşulunda, mavi ve yeşil alg uygulaması ile klorofil, fotosentetik pigment, verim ve karbonhidrat içeriklerinin olumlu etkilendiği saptanmıştır (Saied vd., 2020). Begonyada mikroalg uygulaması (*Spirulina platensis*) sonucu yaprak büyüklüğünün arttığı ve gelişimin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Mendi vd., 2009). Kusvuran (2021), kurak koşullardaki brokolide mikroalg kullanımının besin elementi alımı, ikincil metabolitler ve antioksidatif savunma sistemine etkisinin olumlu olduğunu belirleyerek mikroalglerin, gelişim ve kurağa toleransın artırılmasında etkili olduğu sonucuna varmıştır.

d. Deniz Yosunu Özleri

Makro alg grubunda bulunan deniz yosunu özleri, uygulama yöntemi ve süresine bağlı olarak içerdiği mineral, oksin, sitokinin ve vitaminler ile bitki gelişimini destekleyerek fungus, bakteri ve virüslere karşı direnç sağlayıp fotosentetik aktiviteyi, verim ve kaliteyi arttırmaktadır (Kusvuran and Kusvuran 2021). Biyostimülant olarak kullanılan deniz yosunu özlerinin tohum çimlenmesinde (Khan vd., 2009) ve stres faktörlerinin meydana getirdiği olumsuzlukların giderilmesinde etkili olduğu birçok araştırmada bildirilmiştir (Mahima vd., 2018).

Karaboğa (2022), serin iklim çim türleri karışımında, farklı deniz yosunu özlerinin kuraklığa toleransı artırmaya etkilerini incelediği çalışmada; kuraklığın çimin kalite parametrelerinde olumsuzluklara yol açtığını ve deniz yosunu özlerinin bu olumsuzlukların sınırlandırılmasında önemli oranda etkin

olduğunu tespit etmiştir. Mansori vd. (2016), deniz yosunu özlerinin adaçayı türünde kuraklık stresinin oluşturduğu olumsuzlukları sınırlandırdığı ve bitkinin savunma sisteminde etkin olan fenolik madde içeriğinin artmasına destek sağladığını belirtmiştir.

7. Bitki Büyüme Düzenleyicileri ve Osmotik Koruyucuların Kullanımı

a. Salisilik Asit Uygulamaları (SA)

Salisilik asit, söğüt kabuğundan ekstrakte edilmiş, bitkilerin fizyolojik olaylarının düzenlenmesine destek sağlayan yardımcı fenol bileşiklerden olan içsel bitki büyüme düzenleyicilerindendir (Bergmann et al. 1994; Shakirova et al. 2003). Bitkilerin tüm fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerinin düzenlenmesinde iyileştirici etkilerinin yanı sıra salisilik asidin, biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı etkili bir büyüme düzenleyici olarak değerlendirildiği de birçok çalışmada ileri sürülmüştür (Rivas-San Vicente ve Plasencia, 2011; Gururani vd., 2015). Salisilik asidin en etkin kullanım alanlarından bazıları kuraklık, tuzluluk, sıcaklık, ağır metal ve don stresi gibi olumsuz şartlarda bitkinin dirençli olmasını sağlamaktır (Baktır, 2010).

Rahmani vd. (2015), salisilik asidin yaprak nem içeriğini arttırmada etkili olduğunu ve kuraklığa karşı bitki su alım oranını iyileştirerek bitkinin strese dayanıklılığını arttırdığını belirtmiştir. Nasırcılar vd. (2020), salisilik asidin, kurak koşullardaki turp tohumlarının çimlenmesini arttırıcı bir etkisinin olduğunu saptamıştır. Buğday türünde farklı sulama seviyelerinde salisilik asit uygulamasının gelişim ve fizyolojik özelliklere etkisinin belirlendiği çalışmada; kontrole kıyasla salisilik asit kullanımının kuraklığa toleransı arttırdığı ve bitki gelişiminin pozitif yönde etkilendiği ortaya konulmuştur (Öztürkci ve Arpalı, 2019).

b. Humik Asit (HA)

Ülkemiz topraklarının yaklaşık %75'inin organik madde bakımından yetersiz olduğu ve bu durumun yüksek verim alınmasını etkilediği bilinmektedir (Eyüpoğlu, 1998). Aşırı kimyasal gübreleme ile topraktaki organik madde miktarı azalmaktadır. Tarımsal üretimde organik madde kullanımı, verim, kalite ve ekonomik kazancın artırılmasının yanı sıra çevre kirliliğinin azaltılması ve toprak verimliliğinin sürdürülebilirliğine katkı

sağlama açısından oldukça önemlidir (Akıncı, 2023; Kibar, 2022). Humik asit, toprak yapısını fiziksel açıdan iyileştirerek toprağın su tutma ve havalanma kapasitesini artırıp bitki gelişimi ve kalitesi üzerine olumlu etki etmektedir (Benz vd., 1998). Ayrıca %30-36 oranında içerdiği doğal karbon ile topraktaki yararlı mikroorganizmaların çoğalmasını da teşvik etmektedir (Özkan, 2007).

Su stresi, bitkilerde büyüme ve gelişmeyi negatif yönde etkileyerek ürün kalitesi ve miktarını düşürmektedir. Humik asit ise kuraklığa karşı bitkinin toleransını arttırmada etkili bir ekolojik araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Muscolo vd. 2007). Korkmaz vd. (2022), kuraklık stresinin, çilek yetiştiriciliğinde; yaprak alanı, bitki yaş-kuru ağırlığı, yaprak oransal su içeriği, stoma iletkenliği, klorofil miktarı ve yaprak N, P, K, Ca ile Mg içeriklerinde değişen oranlarda düşüşlere neden olurken, membran geçirgenliği, yaprak sıcaklığı, prolin ve lipid peroksidasyon düzeylerinde ise artışlar meydana getirdiğini bildirmiştir. Humik asit uygulamalarının incelenen tüm parametrelerde su stresinin çilek bitkileri üzerinde yarattığı olumsuzlukları iyileştirici yönde olumlu etkilerin meydana geldiği vurgulanmıştır. Benzer şekilde Güzelsarı (2023), humik asidin pamuk türünde su stresinin verim ile kalite kaybına neden olduğunu ve uygun dozlarda humik asit kullanımının bitki üzerinde pozitif etkisinin bulunduğunu ileri sürmüştür.

c. Poliaminler (PA)

Poliaminler (PA); prokaryotik ve ökaryotik canlıların hücrelerinde doğal olarak bulunan, düşük moleküler ağırlıkta, alifatik, amin içeren azotlu bileşikler olup (Galston, 1983) tohum çimlenmesi, çiçek kalitesi, meyve gelişimi, yaşlanma, hücre bölünmesi ve farklılaşması, protein sentezi, DNA replikasyonu, gen ekspresyonu, somatik embriyogenez gibi bazı büyüme ve fizyolojik süreçlerde önemli roller üstlenmektedir (Tabor ve Tabor, 1984). Ayrıca poliaminlerin, strese toleransı arttırmak amacıyla bitki savunma mekanizmasında sinyal molekülleri olarak da görev yaptığına dair birçok çalışma bulunmaktadır (Zhou vd., 2020; Şahin ve Örgeç, 2022).

Çömlekcioglu ve Arıkan (2017), *Isatis tinctoria* türünde kuraklığa karşı poliaminin etkisini araştırdığı çalışmada; kurak geçen gün sayısı uzadıkça indigo ve büyüme değerlerinin azaldığını, poliamin uygulaması ile durumun tersine gelişerek indigo miktarının artmasına bağlı fide ağırlığı ve verim değerlerinde iyileşmeler meydana geldiğini bildirmiştir.

d. Giberellik asit (GA3)

Kuraklık; stresin şiddetine, süresine, bitkinin genotipine ve gelişim dönemine bağlı olarak mekanik, metabolik ve oksidatif birçok değişikliğe neden olmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005). Giberellik asit (GA3); tohum çimlenmesi, meyve gelişimi, yaprak büyümesi, gövde uzaması ve çiçeklenmeyi kontrol eden bitki hormonu olarak işlev görmektedir (Alacı vd., 2021). Bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanılması ile abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkilerinin yavaşlatılması son yıllarda yaygınlaşan uygulamalar arasındadır. GA3 kullanımı ile stoma iletkenliği, iyon alımı, fotosentez hızı ve hormon dengesi düzenlenerek su kullanım etkinliği ve antioksidan kapasitesi artırılıp kuraklık stresinin olumsuz etkileri azaltılmaktadır. GA3, bitki bünyesinde diğer hormonlar ile etkileşime girerek bazı metabolik süreçleri hızlandırıp abiyotik stresin etkilerinin azaltılmasında da aktif rol almaktadır (Rady, 2021).

Kaymaz (2023), kurak koşullarındaki karpuz türünde gelişimin negatif yönde etkilendiğini ve GA3 uygulamasının kuraklık stresinin etkileri hafifletilip savunma mekanizmalarını olumlu yönde iyileştirdiğini bildirmiştir. Çömlekçioğlu ve Şimşek (2014), yüksek sıcaklık ve farklı kuraklık koşullarındaki domates türünde GA3 uygulamasının, yüksek sıcaklık ve kuraklıktan kaynaklı bitki gelişim parametrelerindeki düşüşlerin telafi edilebildiğini ve verim konusunda en düşük sulama seviyesinde önemli oranda artışların meydana geldiği tespit etmiştir.

e. Glisin Betain (GB)

Bitkiler eksterm koşullarda tolerans mekanizmaları geliştirerek düşük molekül ağırlığında toksik olmayan organik çözünen bileşiklerin sentezini gerçekleştirip abiyotik streslere tepkiler oluşturmaktadır (Ashraf ve Foolad, 2007; Bakır vd., 2022). Bu bileşenler hücrel osmotik ayarlamaya, reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonuna, membran bütünlüğünün sağlanmasına ve enzim ile proteinlerin stabilizasyonuna destek sağlayarak osmoprotektanlar olarak bitkileri stres koşullarına karşı korumaktadır (Ashraf ve Foolad, 2007; Bohnert ve Jensen, 1996). Bu bileşikler arasında bitkilerde en çok bulunan ve etkili olanlar arasında glisin betain (GB) gelmektedir (Nahar vd., 2016). Glisin betain; kuraklık stresinin meydana getirdiği oksidatif hasarın azaltılmasında koruyucu olarak rol oynamaktadır (Aydın vd., 2022).

Donat (2022), iki buğday çeşidinde (kurağa duyarlı Selçuklu, kurağa dayanıklı Demir-2000) glisin betain uygulamasının kuraklık stresindeki etkisini araştırdıkları çalışmada; Selçuklu çeşidinde glisin betain uygulamasının kuraklık stresinin negatif etkilerini azaltıp fizyolojik parametreleri iyileştirdiği ve diğer çeşide kıyasla daha etkili sonuçların elde edildiğini belirlemiştir. Aydın vd. (2022), yapraktan uygulanan glisin betainin kısıtlı su stresi altındaki Avrupa armutlarına *Pyrus communis* etkisini incelediği araştırmada; glisin betain uygulamasının su stresinin olumsuzluklarını hafifletmede etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

f. Prolin (Pro, P)

Prolin, proteinlerin yapısında bulunan, beş karbon atomu taşıyan özellikle strese toleransın artırılmasında hücre membran bütünlüğünün ve ozmotik dengenin sağlanmasına katkı sunan bir aminoasittir (Forlani vd., 2019). Kuraklık, bitkilerin karbohidrat, protein ve lipid metabolizmalarını olumsuz etkileyerek stoma iletkenliği, zar kararlılığı, transpirasyon üzerinde fizyolojik bozukluklar meydana getirip kaliteyi düşürmektedir (Verbruggen and Hermans, 2008). Bitkiler hücre hasarlarını onarabilmek adına farklı stres koşullarında değişik oranlarda prolin miktarlarını artırmaktadır (Akat vd., 2020; Akat ve Özzambak, 2013).

Farklı kuraklık seviyelerinin *Astrya carpinifolia* türündeki prolin değişimleri incelendiğinde; şiddetli kuraklık seviyesinde %140 oranında prolin artışı olduğu belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2022). Benzer şekilde kuraklık stresi altındaki *Pinus sylvestris* (Kulaç, 2010), *Oryza sativa* (Dien vd., 2019), *Populus euphratica* (Zhao vd., 2021) ve *Pinus brutia* (Kandemir vd., 2016) türlerinde, prolin miktarlarında farklı oranlarda artışların sergilendiği ortaya konulmuştur.

g. Sitokinin (CK)

Sitokininler; bitki gelişimi ve stres koşulları gibi biyolojik süreçlerde aktif rol oynamaktadır (Kieber and Schaller, 2018). Son yıllarda araştırmalarda; sitokininin sinyal iletimini düzenleyerek kuraklık stresine karşı adaptasyonda etkin olduğu belirtilmiştir (Li et al., 2016).

Frery (2016), kuraklık koşullarında sitokinin uygulamasının domates türünde kuraklık stresine karşı toleransın artırılmasında etkin rol oynadığını bildirmiştir. Deliavcı (2017), kuraklık stresinin *Arabidopsis thaliana* türünde bazı sitokinin sinyal bileşenlerinin reaktif oksijen türleri (ROS) düzenlemesi

üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada, sitokinin miktarının düşmesi ile gövde uzaması kısıtlanarak daha fazla suyun bitki tarafından alınabilmesi amacıyla kök gelişimini arttırdığını belirtmiştir. Ayrıca sitokinin sinyali baskılamada stoma açıklığı azalır antioksidan savunma mekanizması güçlenerek hücrenin membran bütünlüğü sağlanıp bazı potansiyel metabolitler üretilerek kuraklığa adaptasyonunun sağlanabildiği de ileri sürülmüştür.

h. Absisik Asit (ABA)

Absisik asit; bitki büyümesi ve strese tepki gibi bazı fizyolojik olayları düzenleyen bitki büyüme inhibitörlerindendir (Neill ve Burnett,1999). ABA, tohumlarda dormansiye teşvik etmekte, RNA ve protein sentezini engellemekte, bitki büyüme ve gelişiminde baskılayıcı etkiler yapmaktadır (Garciaarrubio vd. 2003). Bitkiler çevresel stres koşulları ile karşılaştıklarında öncelikle stomalarını kapatarak stres ile ilgili birçok geni aktive etmektedir (Yang vd., 2021). Kuraklık stresine yanıt olarak bitkilerin vejetatif dokularında stres hormonu olarak da bilinen ABA sentezlenerek miktarı artmaktadır (Gonai vd. 2004; Matsuoko vd., 2015).

Güzel (2006), kuraklığa duyarlı *Lycopersicon esculentum* ve kurağa toleranslı *Lycopersicon chilense* türlerinde kuraklıkla yaprak nem içeriğinde belirgin azalmaların olduğu ve kurağa toleranslı türde ABA uygulamalarının bitkilerin antioksidan savunma sistemini kontrol ederek ortaya çıkacak zararların engellemesinde etkili olduğunu ileri sürmüştür.

i. Askorbik Asit (AsA)

Askorbik asit, bitkilerin hücre bölünmesi, fotosentez, senesens, büyüme ve gelişmenin düzenlenmesi gibi bazı fizyolojik olayların sinyal mekanizmalarında rol oynayarak antioksidan işlevi gören bir bileşiktir (Pavet vd., 2005; Horemans vd., 2000). Bunlara ilaveten kuraklık gibi birçok stres koşulunda fotosentetik reaksiyonların olumsuz etkilerinden kaynaklanan fazla enerjinin dağıtımını ve hücresel yapıların korunmasını sağlayan bir mekanizma olarak da karşımıza çıkmaktadır (Smirnoff, 2000). AsA, reaktif oksijen türevlerinden (ROT) kaynaklanan hasarı önlemede aktif rol alarak hücrede fazla miktarda bulunan ve en güçlü enzimatik olmayan antioksidanlardandır (Foyer vd., 1995). Bitkilerin birçok metabolik ve fizyolojik sürecine etki eden AsA'nın; bitki savunma sisteminde önemli bir rolü de hücrenin metabolik

süreçlerini düzenleyerek ROT'lara karşı korumaktır (Asada, 1999; Smirnov, 2011).

j. Brassinosteroidler (BR)

Brassinosteroidler, bitkilerin endojenik sentezleyebildiği büyüme ve gelişmeyi teşvik eden steroid yapıya sahip altıncı grup bitki hormonları arasındadır (Sezgin ve Kâhya, 2023). BR, vasküler oluşum, hücre genişlemesi, tohum çimlenmesi, çiçek ve meyve oluşumu gibi birçok gelişimsel olayda rol almaktadır (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Bitkinin kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres faktörlerine karşı toleranslarının artırılmasında brassinosteroidlerin pozitif yönde etkilerinin olduğu birçok araştırmada bildirilmiştir (Divi et al. 2010; Miransari ve Smith 2014).

Behnamnia vd. (2009), kuraklık stresindeki domateste 24-epiBL uygulamasının, lipid peroksidasyonu ve su içeriğini azalttığını ve protein içeriği, prolin, antioksidatif enzim aktivitesini ise arttırdığını tespit etmiştir. *Sorghum vulgare* türünde ozmotik stres altında 28-homoBL ile 24-epiBL uygulanarak prolin içeriği ve çözülebilir protein miktarıyla bağlantılı tohum çimlenmesi ve gelişimin olumlu etkilendiği belirlenmiştir (Vidya ve Rao, 2003).

k. Jasmonatlar (JA)

Jasminum grandiflorum türünden ilk olarak elde edilen jasmonatlar; jasmonik asit (JA) ve onun metil esteri olan metil jasmonatlar (MeJA), bitki bünyesinde doğal oluşarak bazı fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesinde düzenleyici görevi üstlenmektedir (Fan vd., 1998). Jasmonatların birçoğu kök, yaprak, çiçek ve henüz olgunlaşmamış meyveler tarafından sentezlenebilmektedir (Baktır, 2010). Jasmonatların uygulanması sonucu köklerde büyüme, fotosentez, çiçek tomurcuğu oluşumu, polen çimlenmesi, embriyogenesis, hastalık ve zararlıların gelişimi, dinlenmede olmayan tohumların çimlenmesini engelleyici özelliklerinin yanı sıra adventif kök oluşumu, stomaların kapanması, protein sentezi, dinlenme ihtiyacının giderilmesi, dinlenmedeki tohumların çimlenmesi ve meyve olgunlaşmasını teşvik edici özelliklerinin olduğu da belirtilmiştir (Algül vd., 2016; Yıldız ve Yılmaz, 2001).

Abiyotik stres koşullarında JA ve MeJA uygulamalarının, savunma mekanizmalarını harekete geçirerek stresin olumsuz etkilerini engelleyip

bitkilerin toleransını iyileştirdiği ve yaşanan stresin etkilerini hafiflettiği bilinmektedir (Dar vd., 2015; Ahmad vd., 2016). Walia vd. (2007), bitkide sinyal molekülü işlevini gören jasmonik asitin bitkilere yapraktan uygulanmasıyla fizyolojik modüle karşı geliştirilmiş abiyotik stres koşullarına direnç sağladığını ileri sürmüştür.

l. Nanopartiküller (NP)

Nanoteknolojik uygulamalar doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğin sağlanması bağlamında çevre sorunlarına etkili çözümler oluşturma potansiyeline sahiptir. Nanopartiküller, verimi artırma, çimlenmeyi hızlandırma, hastalıkları baskılama ve stres faktörlerine direnç geliştirmede etkin çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır (Oscoy et al., 2013).

Silisyum (Si) bitkilerin büyüme ve gelişiminde önemli rol oynayan kuraklık başta olmak üzere bitkileri stres faktörlerinden koruyan elementler arasındadır. Bitkiler silisyumu yüksek konsantrasyonlarda bünyelerinde biriktirerek büyüme ve gelişimlerini olumlu yönde arttırmaktadır. Ayrıca bitkilerin su kaybını azaltarak mantar hastalıklarına ve böcek zararlarına karşı dayanıklılığın sağlamasında da etkili olmaktadır (Qados, 2015). Silisyum yaprak kutikulasında birikerek transpirasyonu azaltıp kuraklığa karşı direnç geliştirmeye katkı sağlamaktadır (Syu et al., 2014). Bu doğrultuda prinç türünde yürütülen bir çalışmada; kurak koşullarda Si uygulaması transpirasyonun %30 oranında azalmasına neden olarak normal koşullardaki bitkiler ile kıyaslandığında gelişimi daha fazla etkilediği belirlenmiştir (Ma vd., 2001). SiO₂ nanopartiküllerinin su kaybını azaltmak amacıyla kurak koşullardaki arpa türünde kullanımının bitki gelişimi, yaprak oransal su içeriği, lipid peroksidasyonuna pozitif yönde katkı sağladığı ve kuraklığa dayanımını artırabileceği belirlenmiştir (Yıldız, 2018).

m. Dopamin (DA)

Dopamin, fitohormonlar ile etkileşime girerek bitki gelişimini destekleyen hormonlardandır (Jung vd., 2000). Dopamin uygulaması ile abiyotik stres faktörlerinin etkilerinin azaltılmasında olumlu sonuçlar alındığı bilinmektedir. Ayrıca dopamin uygulamasının besin elementi alımı, taşınması ve düzenlenmesini etkileyerek bitki büyüme ve gelişimi üzerine fayda sağlayıp yaşlanmayı geciktirici etkilerinin olduğu da bildirilmiştir (Kulma ve Szopa, 2007).

Kuraklık ve tuzluluk koşullarındaki domates türünde gövde uzunluğu, bitki kuru ağırlığı ve su içeriğinin azaldığı, buna karşılık dopamin uygulaması ile stres koşullarında gövde kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığının önemli düzeyde arttığı ve iyon sızıntısı ile MDA içeriğinde ise azalmalara neden olduğu tespit edilmiştir. Dopaminin, kuraklık ve tuz streslerinin meydana getirdiği olumsuz etkileri iyileştirici özelliklerinin olduğu bildirilmiştir (Gençay, 2021).

n. Triptofan (TRP)

Bitki gelişimiyle ilgili önemli fitohormonlardan birisi de Triptofandır. Bazı bitkilerin bünyesinde doğal yer almakta ve stresle mücadelede etkin aminoasitler arasında sayılmaktadır.

Aybek (2024), kurak koşullardaki biber yetiştiriciliğinde 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1 mM triptofan uygulamasının prolin, malondialdehid, hidrojen peroksit ve enzim aktiviteleri açısından olumlu etkiler gösterdiğini, klorofil ve karotenoid içeriklerinde önemli bir etkisinin olmadığını, protein içeriklerini azaltırken, antioksidan enzim aktivitelerini ise arttırdığını belirtmiştir.

o. Melatonin

Melatonin, birçok bitki türünde var olup bitki gelişimini düzenlemenin yanı sıra verim ile kaliteyi arttırmaktadır (Janas ve Posmyk, 2013). Stres koşullarındaki bitkilerin bünyesindeki melatonin miktarının arttığı ve yeterli melatonin taşımayan bitkilerde ise dışarıdan melatonin uygulanarak strese karşı direncin sağlanabildiği ileri sürülmektedir (Yakupoglu vd., 2018).

Wang vd. (2013), kuraklık stresi altındaki elma türünde melatonin uygulamasının, yaprak yaşlanmasını geciktirdiğini ve buna bağlı olarak da yapraklardaki klorofil parçalanmasının önemli miktarda önlendiğini tespit etmiştir. Li vd. (2015), kurak koşullarda *Malus hupehensis* türünde melatoninin uygulaması ile stomaların uzun süreli daha geniş bir şekilde açık kalarak stoma iletkenliği ve fotosentez hızını arttırdığını belirtmişlerdir.

p. Progesteron (P4)

Progesteron, bitkide doğal bulunan ve gelişimin iyileştirilmesinde aktif rol alan steroid bileşiklerdendir (Janeczko 2012). Yoğunluk ve miktarına bağlı olarak progesteron, sürgün ve köklerin büyümesini teşvik veya inhibe etmektedir (Bhattacharya ve Gupta, 1981).

Progesteron uygulamasının ayçiçeği türünde çimlenme ve büyümeyi olumlu etkilediği (Erdal vd., 2010; Erdal ve Dumlupınar, 2011), kışlık buğday ve *Arabidopsis thaliana* türlerinde çiçeklenme üzerinde pozitif etkilerinin olduğu saptanmıştır (Janeczko ve Filek, 2002; Janeczko vd., 2003). Bununla birlikte stres koşulları altındaki bitkiler üzerinde yapılan araştırmalarda; progesteron kullanımının fizyolojik özellikleri iyileştirici etkilerinin bulunduğu da belirtilmektedir (Ylstra vd., 1995; Erdal ve Dumlupınar, 2010). Koç (2021), kuraklık ve tuzluluk streslerinin domates türünde gövde ve kök kuru ağırlığını önemli ölçüde azalttığını, progesteron uygulamasının ise bu değerleri tersine çevirerek pozitif yönde etkilediğini ve kuraklık+progesteron uygulamasıyla prolin miktarında azalmaların olduğunu ortaya koymuştur. Elde ettikleri bulgular doğrultusunda; progesteron uygulamasının kuraklık stresinin oluşturduğu tüm olumsuzlukları azaltıcı yönde etkiler meydana getirdiğini saptamıştır.

8. Bitki Besin Elementi Uygulamaları

Gübreleme işlemleri, stresle mücadelede yaygın kullanılan uygulamalardandır. Kuraklık stresi koşullarında membran geçirgenliğinin bozulması ve terleme hızının düşmesiyle tüm bitki besin elementlerinin alımı olumsuz yönde etkilemektedir (Yasar vd., 2014). Stresle mücadelede, bitki besin elementlerinin tamamlayıcı olarak yapraktan uygulanması bitkilerde büyüme ve verim üzerindeki olumsuz etkilerin hafifletilmesinde etkin yaklaşımlardandır (Sevilmiş ve Sevilmiş, 2019). Kuraklık stresine karşı bitkilerin direncinin arttırılmasında potasyum, kalsiyum, bor, çinko, mangan, silisyum ve selenyum uygulanması büyük önem taşımaktadır.

a. Potasyum (K)

Potasyum, stoma mekanizasyonunun çalışması, transpirasyon, ozmoregülasyon, fotosentez ve protein sentezi gibi olaylarda rol oynayan makro besin elementlerindendir. Potasyum eksikliğinde büyüme yavaşlamakta ve verim düşmektedir (Gupta vd., 2015). Bu element, su dengesini sağlayarak bitkilerin kurağa dayanımlarını artırmaktadır (Çolpan vd., 2013).

Temur (2022), potasyumlu gübrelerin (K_2SO_4 , KNO_3 ve KCl) yapraktan uygulamasının kuraklık koşullardaki domatestede; verim ve kaliteye olumlu etkileri olduğunu tespit etmiştir. Schilling vd. (2016), kuraklık stresi koşullarındaki buğday, arpa, mısır, şeker pancarı ve patates türlerinde 5, 69,

133, 261 kg/ha topraktan potasyum uygulamasının, kuraklıktan kaynaklanan verim azalmalarını tür bazında değişik oranlarda iyileştirdiğini bildirmiştir. Aown vd. (2012), kurak koşullarda yaprakdan potasyum uygulaması ile buğday bitkilerinin gelişimi üzerinde kuraklığın yarattığı olumsuz etkilerin azaldığını ve verim artışının olduğunu saptamıştır. Benzer şekilde Wei vd. (2013), uygun miktarlarda dışarıdan potasyum uygulamasının buğday türünün kuraklık stresinden etkili bir şekilde korunmasına katkı sağladığını belirtmiştir.

b. Kalsiyum (Ca)

Bitki gelişimindeki birçok olayı düzenleyen kalsiyum; tohum çimlenmesi, bitki gelişimi, fotosentez ve su ilişkileri konularında önemli rol oynamaktadır (Bulut vd., 2019). Kalsiyum; abiyotik stres faktörlerine karşı bitkilerin direncini artırmak amacıyla hücre zarı stabilizasyonu, besin alımı, enzimatik ve hormonal düzenlemelerde etkin işleve sahip sinyal molekülü olarak görev yapan makro besin elementlerindendir (Ahmad vd., 2015; Parvin vd., 2015).

Yavaş vd. (2016), kalsiyum uygulaması ile yaprak yaşlılığının geciktirilmesinin yanı sıra endojen poliamin miktarındaki düşüşe bağlı kuraklığa toleransın arttırılabildiğini belirtmiştir. Patane vd. (2018), kurak koşullardaki biber türünde kalsiyum uygulamasının, daha fazla sayıda çiçek oluşumuna neden olarak verim ve meyve ağırlığını arttırdığını bildirmiştir. Kaczmarek vd. (2017), kuraklık stresindeki *Hordeum vulgare* türünde tohum astarlama materyali olarak 50 mM Ca^{2+} kullanılması sonucu tohum çimlenmesinin olumlu etkilendiğini tespit etmiştir.

c. Bor (B)

Bor elementi doğal olarak toprakta yer almasına rağmen yoğun yağış alan ve coğrafik koşulları nedeniyle bazı bölgelerde bitkiler tarafından faydalanılamayacak oranlara düşmektedir. Özellikle bora yüksek oranda ihtiyaç duyan türlerde (mısır, pamuk, soya fasulyesi vb.) 0.2-4.0 kg/ha oranlarında borun uygulanması gerekmektedir (Bishnoi vd 2005; Choi vd 2007). Düşük miktarlarda Bor; bitkilerde çiçeklenme aşamasının kontrolünde, polen üretiminde, köklere şeker taşınması, tohum ve meyve gelişiminde oldukça önemlidir (Akçam vd., 2004).

Shehzad vd. (2018), ayçiçeği yetiştiriciliğinde kuraklığın etkisini hafifletmede yaprakdan bor (0, 15, 30, 45 mg/l) uygulamasının etkisini

inceledikleri araştırmada; borun su ile ilişkili tüm parametreleri (yaprak nispi su içeriği, turgor basıncı, ozmotik potansiyel ve su potansiyeli ve vb.), yaprak klorofil a ve b pigment içeriklerini belirgin bir şekilde arttırdığını tespit etmiştir. Ayçiçeği türünde kuraklık toleransını arattırmada yapraktan 30 mg/l B uygulamasının, büyüme ve gelişme üzerinde faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Hassan vd. (2011), ayçiçeği bitkilerini generatif safhada kuraklığa maruz bırakarak tekli ve kombinasyon halinde bor (B) ve kalsiyum (Ca) uygulaması sonucu tohum yağ içeriği ve tohum ağırlığının arttığını belirleyerek kurağa toleransın iyileştirilmesinde etkili olduğunu saptamıştır.

d. Çinko (Zn)

Çinko; bitkilerde karbonhidrat taşınması, membran geçirgenliği, klorofil oluşumu ve reaktif oksijen türevlerine karşı etkili bitki besin elementlerindendir (Marschner ve Çakmak, 1989; Kacar ve Katkat, 2007). Çinko eksikliği, yaygın olarak özellikle yarı kurak bölgelerdeki tahıl yetiştiriciliği yapılan alanlarda daha fazla ortaya çıkmaktadır (Welch ve Graham, 1999).

Baniabbass vd. (2012), kuraklık stresi altında ayçiçeğinde yapraktan çinko uygulamasının verim ve bazı fizyolojik özelliklere etkisini incelediği araştırmada; %1 çinko sülfatın, tohum verimini, tohum ağırlığını, yağ içeriğini arttırdığını ve büyüme ile verim parametrelerindeki kuraklığın negatif etkilerinin giderilmesinde uygun bir strateji olarak kullanılabileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde Yavaş vd. (2016), aynı türde yapraktan çinko uygulamasının, kuraklığa toleransı sağlamada ve çiçeklenme ile tane dolum döneminde kuraklıktan kaynaklı verim kayıplarını iyileştirmede etkili olduğunu ileri sürmüştür.

e. Silisyum (Si)

Silisyum; sucul bitkilerin birçoğu, şeker kamışı ve çeltik türleri için mutlak gerekli olan, bazı bitkiler için ise potansiyel gerekli besin elementlerindendir (Takahashi vd., 1990; Singh vd., 2005). Silisyum; yapraklarda transpirasyonu azaltarak kuraklık toleransını arttırmakta, hücre duvarını kalınlaştırarak biyotik zararlılara karşı dayanıklılık sağlamakta, toprak çözeltisinde Al, Fe, Mn elementleri ile kompleksler oluşturup ağır metal toksisitesini engelleyerek bitki gelişimini olumlu etkilemektedir (Sistani vd., 1997; Horuz vd., 2017).

Ma (2004), silisyumun buğday türünde kuraklık zararını iyileştirmede önemli rol oynadığını belirterek bitkilerin su içeriği ve kuru madde birikiminde olumlu etkilediğini ve kuraklık stresinde silisyum uygulamasının transpirasyonu düşürerek su kayıplarının azaltılmasında etkin görev üstlendiğini ileri sürmüştür. Trenholm vd. (2004), kurak koşullarda çim türünde silisyum uygulaması ile bitkilerin kuraklık stresine daha iyi dayandığını, bitki kalitesi ile renginin olumlu yönde etkilendiğini ve yaprak yoğunluğunun %23.5 arttığını bildirmiştir.

f. Selenyum (Se)

Selenyum, bitkiler için mutlak gerekli bir besin elementi olmayıp, silisyum gibi bitkilere yararlı mikro elementlerdendir (Seppänen vd., 2003). Bitkilerin antioksidan kapasitelerini iyileştirerek büyüme ve gelişimini arttırıp stres faktörlerine karşı yararlı etkiler oluşturmaktadır (Ríos vd., 2008). Selenyum uygulamasının bazı bitki türlerinde, tuzluluk, kuraklık ve ağır metal streslerine direncin artırılmasında etkili olduğu bilinmektedir (Cartes vd., 2010; Yao vd., 2009).

Kurak şartlarda selenyum kullanımı, köklerin su alımını arttırdığından bitki su seviyesinin düzenlenmesinde önemli bir potansiyel taşımakta ve peroksidaz aktivitesini azaltıp stres faktörlerinden kaynaklanan prolin birikimini de engellemektedir (Kuznetsov vd., 2003). Tekiş (2016), kuraklık stresinde mısır türünde selenyumun etkilerinin belirlendiği araştırmada, kuraklığın; RWC, ozmotik potansiyel, klorofil miktarını azalttığı ve glisin betain, prolin, lipid peroksidasyonunu arttırdığını, kuraklık stresinde selenyum uygulamasının ise bitkideki zararların kaldırılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

9. Malç Kullanımı

Malç uygulamaları, toprak yüzeyini kaplayarak buharlaşmayı azaltıp topraktaki nemin korunması, su kayıplarının engellenmesi, yabancı ot çıkışlarının önlenmesi ve toprak sıcaklığının dengede tutulmasını sağlamaktadır (Ertop, 2009; Çakar vd. 2019). Peyzaj düzenleme çalışmalarında malç kullanımı, suyun etkin kullanımını arttıran uygulamalardandır. Ağaç kabukları, çam ibreleri, odun talaşı, meyve kabukları, budama artıkları; organik malçlar ile cüruf, pomza, çakıl ve dolomit taşları ise inorganik malçlar olarak değerlendirilmektedir (Barış, 2007). Malç kullanımı, kurakçıl peyzaj

çalışmalarında fonksiyonel ve estetik açıdan katkılar sunmaktadır (İlhan vd., 2024b). Ayırışma ve çürümelerine bağlı iyileştirici etkileri bulunan organik malçların besin içeriğini düzenlemesinin yanı sıra mikroorganizma faaliyetlerini de arttırarak toprak verimliliğinde faydalı oluklarından peyzaj düzenlemelerinde daha yaygın tercih edildiği bilinmektedir (Akat ve Çöp, 2019; Akgedik, 2024).

İlhan vd. (2024a), çim yüzeylerin su tüketiminin sınırlandırılması amacıyla yer örtücü bitkilerin yanı sıra özellikle bitki gelişimini arttırıcı etkisi nedeniyle vurgu yaratılmak istenen bitkilerin alt kısımlarında organik malç materyallerine ek olarak inorganik malç materyallerinin kullanılmasının da su tasarrufunu olumlu yönde etkilediğini bildirmiştir.

10. Bakım Uygulamaları

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu zamanlarda bakım işlemlerinin gerçekleştirilmesi sudan tasarruf sağlamada oldukça önemlidir. Bitkinin gübreleme işlemlerinin dengeli yapılması suyun bitki tarafından etkin kullanımını olumlu yönde etkilemektedir. Aşırı gübreleme ile bitkilerin su ihtiyacı artacağından bitkinin gelişim dönemine uygun olacak şekilde bitki besleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde bitkilerde düzenli budama işlemlerinin yapılması da su kaybının önüne geçmede katkı sağlayan diğer bir bakım işlemidir. Ayrıca bitki üzerinde yer alan yarı kurumuş sürgün ve dalların budanması estetik görünümün iyileştirilmesinin yanı sıra bitkinin su tüketiminin azaltılmasında da etkili olmaktadır.

11. Atık Suların Kullanımı

Açık yeşil alanlardaki kuraklık stresi ile mücadelede bitkilerin su isteklerinin karşılanması amacıyla atık suların yeniden değerlendirilmesi, su kaynaklarının korunmasının yanı sıra sudan tasarruf elde edilmesinde etkili sonuçlar ortaya koymaktadır (Çorbacı ve Özyavuz, 2024). Farklı ülkelerde (ABD, Suudi Arabistan Avustralya ve Çin vb.) arıtılmış atık suların, tarımsal alanlar ile açık yeşil alanlardaki bitkilerin su isteğinin karşılanmasında tekrardan değerlendirilebildiği bilinmektedir (EPA, 2004; Chang ve Ma, 2012). Ağaçlar, çalılar ve mevsimlik süs bitkilerinde arıtılmış atık suların yeniden kullanımı konusunda birçok çalışma yapılarak bitki gelişiminde herhangi bir sıkıntı yaratmadan sudan tasarruf sağlanması ve su kaynaklarının

sürdürülebilirliği noktasında olumlu sonuçların alındığı ortaya konmuştur (Bozdoğan, 2015; Bozdoğan ve Söğüt, 2013; Kitiş vd., 2009; Akat Saracoglu, 2023c).

Kahraman vd. (2017), atık su arıtma suyunun Gazanya türünde bitki kardeşlenmesini, çiçek ve petal sayısını, kök uzunluğunu, kök ve üst aksam ağırlığını arttırarak diğer parametreler açısından musluk suyu ile arasında önemli bir farkın meydana gelmediğini tespit etmiştir. Atık su arıtma suyunun süs bitkilerinde tekrar kullanımının yanı sıra hassas türlerde diğer su kaynaklarıyla değişik miktarlarda karıştırılarak değerlendirilebileceğini de ileri sürmüştür. Benzer şekilde, Akat Saracoglu (2023c), topraksız marul yetiştiriciliğinde drene olan atık su ile üç farklı tuz konsantrasyonuna sahip sulama suyu kullanılarak gerçekleştirilen süs lahanası yetiştirildiğinde; geri dönüştürülmüş drenaj suyunun uygun şekilde yönetilmesiyle süs lahanası üretiminde alternatif bir su kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

12. Yağmur Bahçeleri

Yağmur bahçeleri, su kaynaklarının yönetimine katkı sağlayan ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kullanılan güçlü araçlardır (Bray et al., 2014). Yağmur bahçelerinin işlevi; çatılar ve diğer yüzeylerden toplanan yağmur sularının, bitkilerin su ihtiyacının giderilmesinde tekrar değerlendirilmesi ile su tasarrufu sağlamaktır (Jaber et al., 2012; Müftüoğlu ve Perçim, 2015). Ekosisteme katkı sunan yeşil altyapı unsurlarından yağmur bahçeleri, kentlerin çevresel sağlığını korumakla kalmayıp, aynı zamanda su kaynaklarının sürdürülebilirliğine de katkıda bulunmaktadır. Bu bahçeler yeraltı su kaynaklarını koruyarak su kıtlığını azaltmakta ve sürdürülebilir kent gelişimi hedeflerini destekleyerek insanların doğayla daha yakın temas kurmalarını teşvik etmektedir (Çakar ve Akat Saraçoğlu, 2023).

Müftüoğlu ve Perçin (2015), kentsel alanlarda yağmur suyu yönetimi modelleri kapsamında kullanılan çözümlerin başında yağmur bahçeleri, yağmur hendekleri, geçirimli döşemeler, kuru kuyular, sızma çukurları, çatı bahçeleri, yağmur varilleri ve sarnıçlarının geldiğini belirterek yağmur bahçelerinin hem estetik hem de işlevsel açıdan önemli yararlar sağladığını belirtmiştir.

SONUÇ

Peyzaj düzenleme alanlarında kuraklık stresine karşı incelenen tüm bu stratejiler, bitkilerin kuraklık stresine dirençli olmasını sağlamasının yanında su tasarrufunu ve peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğini destekleyerek çevre dostu bir yönetim yaklaşımı sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abd El Moniem, E.A., Abd-Allah, A.S.E., 2008. Effect of Green Alga Cells Extract as Foliar Spray on Vegetative Growth, Yield and Berries Quality of Superior Grapevines. J. Amer. Eur. Agric. Environ. Sci., 4(4):427-433.
- Ahemad, M., Khan, M.S., 2012. Effect of Fungicides on Plant Growth Promoting Activities of Phosphate Solubilizing *Pseudomonas Putida* Isolated from Mustard (*Brassica campestris*) Rhizosphere. Chemosphere, 86(9):945-950.
- Ahmad, P., Abd Allah E., Hashem, A., Sarwat, M., Gucel, S., 2016. Exogenous Application of Selenium Mitigates Cadmium Toxicity in *Brassica juncea* L (Czern & Cross) by Up-Regulating Antioxidative System and Secondary Metabolites. J. Plant Growth Regul., 35:936-950.
- Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N.A., Wani, M.R, Kazi, A.G., Tran, L.P., 2015. Alleviation of Cadmium Toxicity in (*Brassica juncea* L.) (Czern. & Coss.) by Calcium Application Involves Various Physiological and Biochemical Strategies. Plos One, 10(1): 1-17.
- Akat Saraçoğlu, Ö., 2021. Sulama Uygulamaları. Pratik Tarım Uygulamaları (Eds.: İ., Yokaş, H., Akat), Bölüm 7:358-393. Efil Yayınevi, Ankara.
- Akat Saraçoğlu, Ö., 2023a. Sürdürülebilir Peyzaj Uygulamaları Kapsamında Bazı Parklardaki Süs Bitkilerinin Kurakçıl Peyzaj Açısından İrdelenmesi: “Muğla İli Ortaca İlçesi Örneği”. V. International Turkic World Congress on Science And Engineering, 15-17 Sept.,2023. Bishkek-Kyrgyzstan, Book of Proceeding, 440-460.
- Akat Saraçoğlu, Ö., 2023b. Kesme Çiçek Yetiştiriciliğinde Sulama Uygulamaları ve Karşılaşılan Problemlere Çözüm Önerileri. Cumhuriyet 9th International Conference On Applied Sciences, Proceeding Book, 205-217, August 30, 2023, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Akat Saracoglu, O., 2023c. Use of Waste Nutrition Solution in Soilless Ornamental Kale Cultivation under Saline Conditions. Journal of Agricultural Science and Technology, 25(5): 1167-1177.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Çakar, H., 2023. Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) Uygulamalarında Kullanılan Sulama Sistemlerinin İrdelenmesi, Ziraat ve Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırma ve

- Değerlendirmeler, Serüven yayınevi, Cilt 1, Aralık-2023, (Ed. Prof. Dr. K. Özrenk), Bölüm: 15.253-278, Ankara.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Köse, M., Çakar, H., 2022. Yeşil Alanlarda Kullanılan Sulama Sistemleri Uygulamalarda Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Peyzaj Mimarlığı Çalışmalarında Güncel Yaklaşımlar I. İksad Yayınevi, (Ed: Yazıcı, K.), Bölüm 7:135-155.
- Akat, H. ve Çöp, S., 2019. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Yerleşkesinin Yeşil Alanlarının “Xeriscape” Yaklaşımı (Kurakçıl Peyzaj) Açısından Değerlendirilmesi. International Congress on Agriculture and Forestry Research, 8-10 April 2019, 78-97s., Marmaris/Turkey.
- Akat, H., Özzambak, M.E., 2014. The Effects of Ca Application on Some Stress Parameters under Salinity Conditions in the Open Field Growing of *Limonium sinuatum*. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 51(1):59-68.
- Akat, H., 2020. Su Tutucu Polimer (SAP) Uygulamalarının Anadolu Sığla Ağacı (*Liquidambar orientalis* Mill.) ve Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) Türlerinde Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(3):721-727.
- Akat, H., Akat Saraçoğlu, Ö., Çakar, H., 2020. Yield Response of *Limonium sinuatum* Cultivars under Salinity Stress. Journal of Environmental Biology, (Special Issue), 41(2):302-309.
- Akat, H., Altunlu, H., Akat Saraçoğlu Ö., Yağmur B., 2020. Tuzlu Koşullarda Mikoriza Uygulamalarının *Cupressus arizonica* "Glauc" Çeşidinde Bitki Gelişimi ve Bazı Stres Parametreleri Üzerine Etkisi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 57(4):511-517.
- Akçam Oluk, E., Demiray, H., 2004. Bor Elementinin Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Çeşidinin Büyümesi Üzerine Etkileri. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 41(1):181- 190.
- Akgedik, S.A., 2024. Kentsel Yeşil Alanlarda Suyun Etkin Kullanımının Değerlendirilmesi: “Muğla-Köyceğiz Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla. 109s.
- Akıncı, Ş., 2023. Contribution from Nature to Agricultural Ecosystems: Humic Substances. Ecol. Conserv. Sci., 3(1):555-602.
- Aktar, S., Cebe, G.E., 2010. Alglerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi. Ankara Ecz. Fak. Derg., 39(3):237-264.

- Alacı, Baytin R., Kaymaz Ö., Üzal Ö., Yaşar, F., 2021. Drought Stress in Plants and Its Relationship With Plant Hormones. *Agricultural Studies on Different Subjects*. (Ed. A. Çığ). İksad Yayınevi, pp. 257-291, Ankara, Türkiye.
- Algül, B.E., Tekintaş, F.E., Dalkılıç, G.G., 2016. Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Kullanımı ve İçsel Hormonların Biyosentezini Arttırıcı Uygulamalar. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2):87-95.
- Altunkasa, M.F., 1998. Peyzaj Mühendisliği, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 123, Ders Kitapları Yayın No: A-36, Adana, 364s.
- Aown, M., Raza, S., Saleem, M.F., Anjum, S.A., Khaliq, T., Wahid, M.A., 2012. Foliar Application of Potassium under Water Deficit Conditions Improved the Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 22(2):431-437.
- Asada, K., 1999. The Water-Water Cycle in Chloroplasts: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50:601-639.
- Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of Glycine Betaine and Proline in Improvin, Plant Abiotic Stress Resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2):206-216.
- Asrar, A.W.A., Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of Drought Stress of Marigold (*Tagetes erecta*) Plants by Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Saudi J Biol Sci.*, 18(1):93-98.
- Atık, M., Karagüzel, O., 2007. Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Su Tasarrufu Olanakları ve Süs Bitkisi Olarak Doğal Türlerin Kullanım Önceliği. *Tarımın Sesi TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi Yayını*, 15:9-12.
- Aybek, N.M., 2024. Biberde Triptofan Uygulamasının Kuraklık Stresi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat. 45s.
- Aybey, R., 2024. Bursa İli Nilüfer İlçesi'nde Yer Alan Bazı Parkların Kurakçıl Peyzaj Tasarımı İlkeleri Bakımından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 191s.
- Aydınli, M., Gür, İ., Türkeli, B., Altındal, M., Küçükşumuk, C., 2022. Yapraktan Uygulanan Glisin Betainin Kısıtlı Su Stresi Altındaki Avrupa Armutlarına (*Pyrus communis* L.) Etkisi. *Meyve Bilimi*, 10(2):184-189.

- Bakır, A.G., Bolat, I., Korkmaz, K., Hasan, M.M., Kaya, O., 2022. Exoögenous Nitric Oxide and Silicon Applications Alleviate Water Stress in Apricots. *Life*, 12(9):14-54.
- Baktır, İ., 2010. Bitki Büyüme Düzenleyicileri Özellikleri ve Tarımda Kullanımları. Hasad Yayıncılık, İstanbul, 110 s.
- Baniabbass Shahri, Z., Zamani, G.R., Sayyari Zahan, M.H., 2012. Effect of Drought Stress and Zinc Sulfate Foliar Application on Yield and Yield Components of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Env. Stresses Crop Sci.*, 4(2):165-172.
- Barış, M.E., 2007. Yeşil Alanlarımızın Tükenişini Engellemek İçin Kurakçıl Peyzaj. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 478:22-27.
- Bayramoğlu, E., Ertek, A., Demirel, Ö., 2013. Su Tasarrufu Amacıyla Peyzaj Mimarlığı Uygulamalarında Kısıntılı Sulama Yaklaşımı. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 3(7):45-53.
- Behnamnia, M., Kalantari, K., Ziaie, J., 2009. The Effects of Brassinosteroid on the Induction of Biochemical Changes in *Lycopersicon esculentum* under Drought Stress. *Turkish Journal of Botany*, 33(6):417-428.
- Benz, M., Schink, B., Brune, A., 1998. Humic Acid Reduction by *Propionibacterium Freudenreichii* and Other Fermenting Bacteria Appl. *Environ. Microb.*, 64:4507-4512.
- Bergmann, H.L., Maachelett, V., Gerbel, B., 1994. Increase of Stress Resistance in Crop Plants by Using Phenolic Compounds. *Acta Hort.*, 381:390-395.
- Bhattacharya, B., Gupta, K., 1981. Steroid Hormone Effects on Growth and Apical Dominance of Sunflower. *Phytochem.*, 20(5):989-991.
- Bishnoi, S.K., Kumar, B.N., Rani, C., Data, S., Kumari, P., Sheoran, S., Angrish, R., 2005. Changes in Protein Profile of Pigeonpea Genotypes in Response to NaCl and Boron Stres. *Biol. Plant.*, 50(1):135-137.
- Bohnert, H.J., Jensen, R.G., 1996. Strategies for Engineering Water-Stress Tolerance in Plants. *Trends Biotechnol.*, 14(3):89-97.
- Bozdoğan, E., 2015. Possible Use of Treated Wastewater as Irrigation Water at Urban Green Area. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 3(1): 35-39.

- Bozdoğan, E., Söğüt, Z., 2013. Determination of Reuse Potential of Treated Wastewater at Urban Green Area. ICOEST, p:835-845, June 18-21, Urgup, Turkey.
- Bray, B., Gedge, D., Grant, G., Leuthvilay, L., 2014. Rain Garden Guide, p.12, Reset Development, USA.
- Brüggemann, N., Kuzyakov, Y., Bol, R., Blagodatskaya, E., 2018. Effect of Biochar Origin and Soil pH on Greenhouse Gas Emissions From Sandy and Clay Soils. Appl. Soil Ecol., 129: 121-127.
- Bulut, A., Sevgin, N., Akhoundnejad, Y., 2019. Kuraklık Stresinde Kalsiyum'un (Ca) Bitkiler Üzerindeki Etkisi. Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(2): 59-65.
- Cartes, P., Jara, A.A., Pinilla, L., Rosas, A., Mora, M.L., 2010. Selenium Improves the Antioxidant Ability Against Aluminium-Induced Oxidative Stress in Ryegrass Roots. Ann. Appl. Biol., 156(2): 297-307.
- Chaffey, N., 2001. Restricting Water Supply Enhances Crop Growth. Trends Plant Sci., 6(8):346.
- Chang, D., Ma, Z., 2012. Wastewater Reclamation and Reuse in Beijing: Influence Factor Sand Policy Implications. Desalination, 297:72-78.
- Choi, E., Kolesik, P., McNeill, A., Collins, H., Zhang, Q., Huynhi, B., Graham, R., Stangoulis, J., 2007. The Mechanism of Boron Tolerance for Maintenance of Root Growth in Barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Cell Environ., 30(8):984-993.
- Clua, A., Paez, M., Orsini, H., Beltrano, J., 2009. Incidence of Drought Stress and Rewatering on Lotus Tenuis. Effects on Cell Membrane Stability. Lotus Newsletter, 39(1): 21- 27.
- Çakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., Kılıç, C.C., Akat, H., Yücel, Ö., 2019. The Performance Analysis of Geotextile Materials Used for Irrigation Water and Weed Control in Stone Garden Landscape Design, Tekstil ve Konfeksiyon, 29(3):237-245.
- Çakar, H., 2022. İzmir İli Koşullarında Bahçeli Bir Sitenin Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 9(2):446–452.
- Çakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., 2023. Yağmur Bahçeleri: Sürdürülebilir Su Yönetimi ve Gelecekteki Potansiyeli. Kentleşme Perspektifinden Peyzaj

- Mimarlığına Bakış, (Ed. Kübra Yazıcı), İksad Publications, Bölüm: 5, 121-145.
- Çakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., 2024. Çatı Bahçelerinde Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımının Değerlendirilmesi. Peyzaj Mimarlığı, (Ed. M. Özyavuz), Yaz Yayınları, Bölüm 2:20-41, Afyonkarahisar.
- Çakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., Akat, H., 2018. Xeriscape Yaklaşımı ile Kurak Ortamda Sürdürülebilir Peyzaj: Ege Üniversitesi Bayındır MYO Bahçesi Örneği. Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük, (1):214-221, 28-30 Haziran 2018. Anadolu Üniversitesi – Eskişehir.
- Çakmak, B., Gökalp, Z., 2011. İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 1:87-95.
- Çelik, Y., Yarşi, G., Özarslandan, A., 2019. Mikorizaların Bitkilerde Stres Mekanizması Üzerine Etkileri. Dünya Sağlık ve Tabiat Bilimleri Dergisi, 2(1):1-11.
- Çetin, N., Mansuroğlu, S., 2018. Akdeniz Koşullarında Kurakçıl Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanılabilecek Bitki Türlerinin Belirlenmesi: Antalya/Konyaaltı örneği. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 55(1):11-18.
- Çetinkale Demirkan, G., Akat, H., 2017. Kurak Bölgelerde Su Etkin Peyzaj Düzenlemeleri Yaklaşımıyla ‘Xeriscape’. 3rd ASM International Congress of Agriculture and Environment, 9-18 s., 16-18 November 2017, Antalya-Turkey.
- Çıtak, S., Sönmez, S., Koçak, F., Yaşın, S., 2011. Vermikompost ve Ahır Gübresi Uygulamalarının Ispanak *Spinacia oleracea* Bitkisinin Gelişimi ve Toprak Verimliliği Üzerine Etkileri, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 28(1):56-69.
- Çirka, M., Kulaz, H., Tunçtürk, R., 2022. Rizobakteri Uygulamalarının Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) Bitki Gelişimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(2):354-364.
- Çolpan, E., M. Zengin, A. Ozbahçe., 2013. The Effects of Potassium on the Yield and Fruit Quality Components of Stick Tomato. Hort. Environ. Biotechnol., 54(1):20-28.

- Çorbacı, Ö. L., Özyavuz, M., 2024. Kentsel Açık Yeşil Alanlarda Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) Çalışmaları. Kentsel Yeşil Alanların Sürdürülebilir Yönetimi, 109-171 s.
- Çorbacı, Ö.L., Özyavuz, M. Yazgan, M.E., 2011. Peyzaj mimarlığında suyun akıllı kullanımı: Xeriscape Water-Wise in Landscape Architecture: Xeriscape. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4(1):25-31.
- Çömlekçioğlu, N., Arıkan, S., 2017. Fizyolojik Stres ve Eksojen Poliaminlerin (*Isatis Tinctoria* L.) Yapraklarındaki İndigo Miktarı ve Fide Gelişimi Üzerine Etkisi. Mediterr. Agric. Sci., 30(3):261-267.
- Çömlekçioğlu, N., Şimşek, M., 2014. Yüksek Sıcaklık Koşullarında ve Farklı Su Seviyesinde Gibberellik Asidin (GA3) Sanayi Domatesinde Meyve Tutumuna Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24(3):270-279.
- Çöp, S., Akat, H., 2021. Kurakçıl Peyzaj Çalışmalarında Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Sarıgerme Halk Plajı Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi., 12(2):263-277.
- Dar, T.A., Uddin, M., Khan, M.M.A., Hakeem, K.R., Jaleel, H., 2015. Jasmonates Counter Plant Stress: A Review. Environmental and Experimental Botany, 115:49-57
- Deliavcı, O., 2017. Arabidopsiste Kuraklık Stresinin Negatif Düzenleyicilerinden Olan Bazı Sitokinin Sinyal Bileşenlerinin Reaktif Oksijen Türleri (ROS) Düzenlemesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. İzmir Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 89s.
- Dien, D.C., Mochizuki, T., Yamakawa, T., 2019. Effect of Various Drought Stresses and Subsequent Recovery on Proline, Total Soluble Sugar and Starch Metabolisms in Rice (*Oryza sativa*) Varieties. Plant Prod. Sci., 22:530–545.
- Divi, U.K., Rahman, T., Krishna, P., 2010. Brassinosteroid-Mediated Stress Tolerance in Arabidopsis Shows Interactions with Absciscic Acid, Ethylene and Salicylic Acid Pathways. BMC Plant Biology, 10: 1-14.
- Djordjevic, M.A., Gabriel, D.W., Rolfe, B.G., 1987. Rhizobium the Refined Parasite of Legumes. Annual Review of Phytopathology, 25(1): 145-168.
- Doan, T.T, Bouvier, C., Bettarel, Y., Bouvier, T., DesTureaux, H., Janeau, J.L., Lamballe, P., Van, Nguyen B., Jouquet, P., 2014. Influence of Buffalo Manure, Compost, Vermicompost and Biochar amendments on Bacterial

- and Viral Communities in Soil and Adjacent aquatic Systems. *Appl. Soil Ecol.*, 73:78– 86.
- Donat, S., 2022. Kısa Süreli Kuraklık Stresi Altındaki Buğdayda Metilglioksal (mg) Miktarı Üzerine Glisin Betain'in Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale 55s.
- El-Hady, O.A, Wanas, S.A., 2006. Water and Fertilizer Use Efficiency by Cucumber Grown under Stress on Soil Treated with Acrylamide Hydrogels. *J. of Applied Sci. Research*, 2(12):1293-1297.
- EPA, 2004. Guidelines for Water Reuse. U. S. Environmental Protection Agency, EPA/625/R- 04/108, Washington.
- Erdal, S. Dumlupinar, R., 2010. Progesterone and β -estradiol Stimulate Seed Germination in Chickpea by Causing Important Changes in Biochemical Parameters. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65(3-4):239-244.
- Erdal, S., Dumlupinar, R., 2011. Mammalian Sex Hormones Stimulate Antioxidant System and Enhance Growth of Chickpea Plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3): 1011-1017.
- Ertop, G., 2009. Küresel Isınma ve Kurakçıl Peyzaj Planlaması.
- Sandal Erzurumlu, G., Kara, E.E., 2014. Mikoriza Konusunda Türkiye'de Yapılan Çalışmalar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7(2): 55-65.
- Eyüpoğlu, F., 1998. Türkiye topraklarının bitkiye yararlı bazı mikro elementler (Fe, Cu, Zn, Mn) bakımından genel durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Fan, X., Matheis, J.B., Fellman, J.K., 1998. A Role for Jasmonates in Climacteric Fruit Ripening. *Planta abstract*, 204(4):444-449.
- Forlani, G., Bertazzini, M., Cagnano, G., 2019. Stress- Driven Increase in Proline Levels and not Proline Levels Themselves, Correlates with the Ability to Withstand Excess Salt in a Group of 17 Italian Rice Genotypes. *Plant Biol. J.*, 21:336-342.
- Foyer, C.H., Souriau, N., Perret, S., Lelandais, M., Kunert, K.J., Pruvost, C., 1995. Overexpression of Glutathione Reductase but not Glutathione Synthetase Leads to Increases in Antioxidant Capacity and Resistance to Photoinhibition in Poplar Trees. *Plant Physiol.*, 109(3):1047-57.
- Frary, A., 2016. Sitokinin Sentezlemesini Aşırı İfadeleyen Domates Bitkilerinde Kuraklık Stresine Karşı Toplam Yaprak ve Nükleer Proteom Tepkisi. Proje Raporu, Proje No: 114Z563, 75s.

- Galston, A.W., 1983. Polyamines as Modulators of Plant Development. *Biosci.*, 33(6):382-388.
- Garcia Martinez I, Cruz SF, Saavedra AL, Hernandez MS., 2012. Extraction of Auxin-like Substances from Compost. *Crop Research*, 24:323-327.
- Garciaarrubio, A., Legaria, J.P. and Covarrubias, A.A., 2003. Absciscic Acid Inhibits Germination of Mature Arabidopsis Seeds by Limiting The Availability of Energy and Nutrients. *Planta.*, 2:182-187.
- Gençay, R., 2021. Tuzluluk ve Kuraklık Stresi Altındaki Domateste Dopamin Uygulamasının Belirli Fizyolojik ve Moleküler Düzeydeki Etkilerinin Belirlenmesi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta 58s.
- Ghasemi, M., Khoshkhuy, M., 2006. The Impact of Superabsorbent Polymer on Irrigation Cycle and Plant Growth. *Hort. Sci. Tech.*, 8(2):65-82.
- Ghehsareh, M.G., Khosh-Khui, M., Abedi-Koupai, J., 2010. Effects of Superabsorbent Polymer on Water Requirement and Growth Indices of *Ficus benjamina* L. 'Starlight'. *J. Plant. Nutr.*, 33:785-795.
- Gonai, T., Kawahara, S., Tougou, M., Satoh, S., Hashiba, T., Hirai, N., Kawaide, H., Kamiya, Y., Yoshioka, T., 2004. Absciscic Acid in the Thermoinhibition of Lettuce Seed Germination and Enhancement of its Catabolism by Gibberellin. *J. Exp. Bot.*, 55:111-118.
- Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K., Singh, V., 2015. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture. *J. Microb. Biochem. Technol.*, 7: 96–102.
- Gururani, M.A., Mohanta, T.K., Bae, H., 2015. Current Understanding of the Interplay Between Phytohormones and Photosynthesis under Environmental Stress, *Int. J. Mol. Sci.*, 16(8):19055-19085.
- Gürsoy, M., 2023. Kuraklık Stresinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri. 6. International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress, 22-23 September, Gence, Azerbaycan.
- Güzel, A., 2006. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Domates Bitkilerinde Bazı Fizyolojik ve Büyüme Parametreleri Üzerine Absisik Asit (ABA) ve Kalsiyum'un (Ca^{2+}) Etkisinin İncelenmesi. MEÜ Fen Bil. Enst.,Yüksek Lisans Tezi, Mersin 90 s.

- Güzelsarı, U., 2023. Kısıntılı Sulama ve Farklı Hümik Asit Dozlarının Bazı Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Kalite Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bil.Enst., Konya, 214s.
- Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S., Rasul, F., 2017. Effect of Biochar Application on Seed Germination and Seedling Growth of *Glycine max* (L.) Merr. under Drought Stress. Pak. J. Bot., 49:7–13.
- Hassan, N.M., El-Sayed, A.K., Ebeid, H.T., Alla, M.M.N., 2011. Molecular Aspects İn Elevation of Sunflower Tolerance to Drought by Boron and Calcium Foliar Sprays. Acta Physiol. Plant., 33(2):593-600.
- Horemans, N., Foyer, C.H., Asard, H., 2000. Transport and Action of Ascorbate at the Plant Plasma Membrane. Trends Plant Sci., 5:263-267.
- Horuz, A., Akınoğlu, G., Akorkmaz, A., 2017. The Role of Silicon in Abiotic and Biotic Stress Conditions. YYU J Agr. Sci., 27(4):657-664.
- İlhan, Ö., Akat, H., Saraçoğlu, Ö. A., 2024b. Kurakçıl Peyzaja Dönüşüm Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Ortaca İlçesi Örneği. International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 11(104):570-582.
- İlhan, Ö., Akat, H., Saraçoğlu, Ö.A., 2024a. Muğla İli Ortaca İlçesindeki Kültür Park'ın Kurakçıl Peyzaj Açısından İrdelenmesi. OKÜ Fen. Bil. Enst. Derg., 7(4):1754-1774.
- Jaber, F., Woodson, D., Lachance, C., York, C., 2012. Stormwater Management: Rain Gardens, 20, The Department of Soil and Crop Sciences and Texas A&M, USA 20.
- Janas, K.M., Posmyk, M.M., 2013. Melatonin, an Underestimated Natural Substance with Great Potential for Agricultural Application. Acta Physiol. Plant., 35(12):3285-3292.
- Janeczko, A., 2012. The Presence and Activity of Progesterone in the Plant Kingdom. Steroids, 77(3):169-173.
- Janeczko, A., Filek, W., 2002. Stimulation of Generative Development in Partly Vernalized Winter Wheat by Animal Sex Hormones. Acta Physiol. Plant., 24(3):291-295.
- Janeczko, A., Filek, W., Biesaga-Kościelniak, J., Marcińska, I., Janeczko, Z., 2003. The İnfluence of Animal Sex Hormones on the İnduction of

- Flowering in *Arabidopsis thaliana*: Comparison with the Effect of 24-pi Brassinolide. *Plant cell, Tissue and Organ Culture*, 72(2):47-151.
- Jung, S., Kim, J.S., Cho, K.Y., Tae, G.S., Kang, B.G., 2000. Antioxidant Responses of Cucumber (*Cucumis sativus*) to Photoinhibition and Oxidative Stress Induced by Norflurazon Under High and Low Ppfd. *Plant Sci.*, 153(2):145-154.
- Kacar, B., Katkat, A. V., 2007. Gübreler ve Gübreleme Tekniği. Nobel Yayın Dağıtım.
- Kaczmarek, M., Fedorowicz-Strońska, O., Głowacka, K., Waskiewicz, A., Sadowski, J., 2017. CaCl₂ Treatment Improves Drought Stress Tolerance In Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Physiol. Plant.*, 39:41.
- Kahraman, Ö., Akçal, A., Kırıt, N., 2017. Atıksu Arıtma Suyunun Gazanya Yetiştiriciliğinde Tekrar Kullanılabilirliği. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.*, 5(2):27-35.
- Kalefetoğlu, Ekmekçi, Y., 2005. The Effects of Drought on Plants and Tolerance Mechanisms. *G.U. J. Sci.*, 18(4):723-740.
- Kammann, C.I., Linsel, S., Gößling, J.W., Koyro, H.W., 2011. Influence of Biochar on Drought Tolerance of *Chenopodium Quinoa* Wild and on Soil-Plant Relations. *Plant and Soil*, 345(1-2):95-210.
- Kandemir, G., Önde, S., Temel, F., Kaya, Z., 2016. Population Variation in Drought Resistance and Its Relationship With Adaptive and Physiological Seedling Traits in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *Turkish Journal of Biology*, 41: 256-267.
- Kandil, S., 2020. Mikrobiyal Gübre Kullanımının Patlıcan (*Solanum melongena* L.) ve Lahana (*Brassica oleraceae* var. *Capitata*) Fidelerinde Büyüme ve Gelişme Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, AKDÜ, Fen Bil.Enst., Antalya, 53s.
- Kang, S., Liang, Z., Hu, W., Zhang, J., 1998. Water Use Efficiency of Controlled Alternate Irrigation on Root-Divided Maize Plants. *Agric. Water Manag.*, 38(1):69-76.
- Karaboğa, Y., 2022. Çim Karışımının Kuraklığa Toleransı Üzerine Deniz Yosunu Gübrelerinin Etkisi. ÇAKÜ Fen Bil.Enst., Yüksek Lisans Tezi, Çankırı 45s.
- Karaçal, İ., Ş, Tüfenkçi., 2010. Bitki Beslemede Yeni Yaklaşımlar ve Gübre-Çevre İlişkisi. VII Teknik Kongre, 257-268.

- Kaymaz, Ö., 2023. Kuraklık Stresi Uygulanan Karpuz (*Citrillus lanatus* L.) Bitkisine Giberellik Asit (GA3) Hormonu Uygulamasının Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Van YYÜ Fen Bil.Enst., Van, 153s.
- Khalili, Darini, A., Naderi R, Khalilghi, A., Taheri, M., 2015. Effect of Superabsorbent Polymer on Lawn Under Drought Stress Condition. Agr. Sci. Development, 4(2):22-26.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., 2009. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. J. Plant Growth Regul., 28:386-399.
- Kıran, S., 2019. Vermikompost Uygulamalarının Kuraklık Stresi Altındaki Kıvırcık Salatanın (*Lactuca sativa* var. Crispa) Mineral İçerikleri Üzerine Etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 22: 133-140.
- Kibar, B., 2022. Farklı Dozlarda Hüyük Asit Uygulamalarının Taze Soğan ve Marulda Bitki Gelişimi ve Kalite Üzerine Etkileri. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8(1):12-24.
- Kieber, J. J., Schaller, G.E., 2018. Cytokinin Signaling in Plant Development, 145(4): 49-344.
- Kitiş, M., Yiğit, N., Köseoğlu, H., Bekaroğlu, Ş.Ş., 2009. Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri- Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları.
- Koç, F.Z., 2021. Tuzluluk ve Kuraklık Stresi Altındaki Domateste Progesteron Uygulamasının Belirli Fizyolojik ve Moleküler Düzeydeki Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, ISUBÜ Fen Bil.Enst., Isparta, 70s.
- Yılmaz, F. G., Korkmaz, A., Harmankaya, M., Gezgın, S., 2022. Kuru ve Sulu Koşullarda Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Azotlu Gübre Gereksinimlerinin Tahmin Edilmesinde Mitscherlich-Bray Eşitliğinin Uygulanması. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 10(2):150-158.
- Korkmaz, K., Bolat, I., Karakas, S., Dikilitas, M., 2022. Responses to Single and Combined Application of Humic Acid and Silicon under Water Stress on Strawberry. Erwerbs-Obstbau, 64:523-533.
- Köse, M., Çakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., 2022. İklim Değişikliği ile Mücadelede Peyzaj Mimarlığı Çalışmaları. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar. (Ed. Prof Dr. Taner AKAR) Haziran-2022, Serüven Yayınevi, Bölüm: 2:19-36.

- Kulaç, Ş., 2010. Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Fidanlarında Bazı Morfolojik Fizyolojik ve Biyokimyasal Değişimlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bil.Enst., Trabzon. 158s.
- Kulma, A., Szopa, J., 2007. Catecholamines are Active Compounds in Plants. *Plant Sci.*, 172(3):433-440.
- Kumlay, A., Eryiğit, T., 2011. Bitkilerde Büyüme ve Gelişmeyi Düzenleyici Maddeler: Bitki Hormonları. *IĞDÜ Fen Bilimleri Enst. Der.*, 1(2):47-56.
- Kuşvuran, S., 2021. Microalgae (*Chlorella vulgaris* Beijerinck) Alleviates Drought Stress of Broccoli Plants by Improving Nutrient Uptake, Secondary Metabolites, and Antioxidative Defense System. *Horticultural Plant Journal*, 7(3):221-231.
- Kuşvuran, A., Kuşvuran, Ş., 2021. Biyostimulantların Abiyotik Stres Toleransı Üzerindeki Etkileri. Sebzelelerde Stres Toleransı ve Islah Stratejileri. (Ed. Ellialtıoğlu, Ş.Ş., Daşgan, H.Y., Kuşvuran, Ş.), Gece Kitaplığı, 430-466 s, Ankara.
- Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P., Kuznetsov, V.V., Yagodin, B.A., 2003. Selenium Regulates the Water Status of Plants Exposed to Drought. *Doklady Biol. Sci.*, 390: 266–268.
- Li, C., Tan, D.X., Liang, D., Chang, C., Jia, D., Ma, F., 2015. Melatonin Mediates the Regulation of ABA Metabolism, Free-Radical Scavenging, and Stomatal Behavior in two *Malus* Species under Drought Stress. *Journal of Experimental Botany*, 66: 669–680
- Li, W., Herrera-Estrella, L., Tran, L. S. P., 2016. The Yin–Yang of Cytokinin Homeostasis and Drought Acclimation Adaptation. *Trends Plant Sci.*, 21(7):548-550.
- Liang, H., Yin, B., Zhang, H., Zhang, S., Zeng, Q., Wang, J., Jiang, X., Yuan, L., Wang, C-Y., Li, Z., 2008. Blockade of Tumor Necrosis Factor (TNF) Receptor Type 1-Mediated TNF- α Signaling Protected Wistar Rats from diet-induced Obesity and Insulin Resistance. *Endocrin. J.*, 149: 2943-2951.
- Ljubojevic, M., Ognjanov, V., Maksimovic, I., Cukanovic, J., Dulic, J., Szabo, Z., Szabo, E., 2017. Effects of Hydrogel on Growth And Visual Damage of Ornamental *Salvia* Species Exposed to Salinity. *Clean- Soil, Air, Water*, 45(2): 1-8.

- Ma, J.F., 2004. Role of Silicon in Enhancing the Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. J. Soil Sci. Plant Nutr., 50(1):11-18.
- Ma, J.F., Miyake, Y., Takahashi, E., 2001. Silicon as a Beneficial Element for Crop Plants. 111 Silicon in Agriculture, Ed. LE Datnoff, GH Snyder, ve GH Korndorfer, p.17-39, Elsevier Science, Amsterdam.
- Maşoğlu A., 2018. Kilis Kent Parklarının Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) Tasarım İlkeleri Çerçevesinde Değerlendirilmesi, Kilis 7 AÜ Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, Kilis 159s.
- Mahima, B., Bordoloi, B. C., Singha, D.D., Ojha, N.J., 2018. Role of Seaweed Extract on Growth, Yield and Quality of Some Agricultural Crops: A review. Agric. Rev., 39(4):321-326.
- Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou and D., El Kaoua, M., 2016. Effect of Seaweed Extract (*Ulva rigida*) on the Water Deficit Tolerance of *Salvia officinalis* L. J. Appl. Phycol., 28(2):1363-1370.
- Marschner, H., Cakmak, I., 1989. High Light Intensity Enhances Chlorosis and Necrosis in Leaves of Zinc, Potassium, and Magnesium Deficient Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plant. J. Plant Physiol., 134:308-315.
- Matsuoko, D., Yasufuku, T., Furuya, T., Nanmori, T., 2015. An Absciscic Acid Inducible Arabidopsis Regulates Leaf Senescence Via its Kinase Activity. Plant Mol., Biol., 87:565-575.
- Mendi, Y.Y., Eldogan, S., Unek, C., Uslu, L., Torun, A., Curuk, P., Isik, O., 2009. The Usage of Spirulina on Acclimatization of Invitro Begonia (*B. semperflorens*) Plantlets. Proocceedings of the 23rd International Eucarpia Symposium Section Ornamentals, Colorful Breeding and Genetics, Acta Hortic., 836. (Ed. J.M. VanTuyl). Netherlands.
- Miransari, M., Smith, D.L., 2014. Plant Hormones and Seed Germination. Environmental and Experimental Botany, 99:110-121.
- Muscolo, A., Sidari, M., Attinà, E., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S., 2007. Biological Activity of Humic Substances is Related to their Chemical Structure. Soil Science Society of America Journal, 71: 75-85.
- Müftüoğlu, V., Perçin, H., 2015. Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi. İNÜ Sanat ve Tasarım Dergisi, 5(11):27-37.
- Nadeem, S.M, Ahmad, M., Zahir, Z.A, Javaid, A., Ashraf, M., 2014. The Role of Mycorrhizae and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in

- Improving Crop Productivity under Stressful Environments. *Biotechnol. Adv.*, 32(2):429-448.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Fujita, M., 2016. Roles of Osmolytes in Plant Adaptation to Drought and Salinity. *Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies*, 37-68.
- Nasircılar, A.G., Ulukapı, K., Kurt, Z., 2020. Kuraklık Stresi Koşullarında Dışarıdan Uygulanan Salisilik Asitin Turp (*Raphanus sativus* L.) Çeşitlerinin Çimlenme ve Vejetatif Büyüme Özellikleri Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(11): 2293-2299.
- Neill, S-J., Burnett, E-C., 1999. Regulation of Gene Expression During Water Deficit Stress. *Plant Growth Reg.*, 29: 23-33.
- Nishio, M., 1996. *Microbial Fertilizers in Japan*. Japan: ASPAC Food Fertilizer Technology Center, 12p.
- Nordstedt, N.P., Chapin, L.J., Taylor, C.G., Jones, M.L. 2020. Identification of *Pseudomonas* spp. That Increase Ornamental Crop Quality During Abiotic Stress. *Front. Plant Sci.*, 10: 1754.
- Ocsoy, I., Paret, M. L., Ocsoy, M. A., Kunwar, S., Chen, T., You, M., Tan, W., 2013. Nanotechnology in Plant Disease Management: DNA-directed Silver Nanoparticles on Graphene Oxide as an Antibacterial Against *Xanthomonas Perforans*. *ACS Nano*. 7(10):8972-8980.
- Okutan, R., 2024. Nizip Nanesi (*Mentha spicata*) Bitkisinin Gelişiminde *Cladophora glomerata* ve *Arthrospira platensis* (Spirulina) Alglerinin, Biyogübre Olarak Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi. HRÜ Fen Bil. Enst., Urfa. 65s.
- Olgaç, Y., Kasım, R., Kasım, M.U., 2022. Süs Bitkilerinde Arbüsküler Mikoriza Kullanımı. *Bursa BUÜ Zir. Fak. Derg.*, 36(2):479-497.
- Özcan, A., Tuncer, A., 2024. Tarımda Biyokömür: Toprak İyileştirmesi ve Ürün Verimliliği İçin Sürdürülebilir Bir Yaklaşım. *J. Agric. Food Ecol.*, 1(1):7-13.
- Özkan, S. Türk Linyitlerinden Hümik Asit ve Gübre Üretimi., 2007. Yüksek Lisans Tezi, AÜ Fen Bil. Enst., Ankara, 90s.
- Öztürkç, Y., Arpalı, D., 2019. The Effects of Salicylic Acid on the Growth and Some Physolog Cal Properties of Bread Wheat Varieties Under Drought Stress. *İGDÜ Fen Bil. Enst.*, 9(3): 737-1746.

- Parvin, K., Ahamed, K., U., Islam, M. M., Haque, M. N., Hore, P. K., Siddik, M. A., Roy, I., 2015. Reproductive Behavior of Tomato Plant Under Saline Condition With Exogenous Application of Calcium. Middle-East J. Scires., 23(12):2920–2926.
- Patane, C., Pellegrino, A., Silvestro, I.D., 2018. Effects of Calcium Carbonate Application on Physiology, Yield and Quality of Field-Grown Tomatoes in a Semiarid Mediterranean Climate. Crop Pasture Sci., 69:411–418.
- Pavet, V., Olmos, E., Kiddle, G., Mowla, S., Kumar, S., Antoniw, J., Alwarez, Me., Foyer, Ch., 2005. Ascorbic Acid Deficiency Activates Cell Death and Disease Resistance Responses in Arabidopsis, Plant Physiol., 139(3):1291- 1303.
- Prichard, T., Hanson, B., Schwankl, L., P. Verdegaal., R. Smith., 2004. Deficit Irrigation of Quality Wine Grapes Using Micro-Irrigation Techniques. Publications of University of California Co-operative Extension, Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis. 5p.
- Qados, A. M. A., 2015. Mechanism of Nanosilicon-Mediated Alleviation of Salinity Stress in Faba Bean (*Vicia faba* L.). Plants Am. J. Exp. Agric., 7(2):78-95.
- Rady, M. M., Boriek, S. H., Abd El-Mageed, T. A., Seif El-Yazal, M. A., Ali, E. F., Hassan, F. A., Abdelkhalik, A., 2021. Exogenous Gibberellic Acid or dilute bee Honey Boosts Drought Stress tolerance in Vicia Faba by Rebalancing Osmoprotectants, Antioxidants, Nutrients, and Phytohormones. Plants, 10(4):748.
- Rahmani, I., Ahmadi, N., Ghanati, F., Sadeghi, M., 2015. Effects of Salicylic Acid Applied Pre-or Post-Transport on Post-Harvest Characteristics and Antioxidant Enzyme Activity of Gladiolus Cut Flower Spikes. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 43(4):94-305.
- Ríos, J.J., Rosales, M.A., Blasco, B., Cervilla, L.M., Romero, L., Ruiz, J.M., 2008. Biofortification of Se and Induction of the Antioxidant Capacity in Lettuce Plants, Scientia Horticulturae, 116(3): 248-255.
- Rivas-San Vicente, M., Plasencia, J., 2011. Salicylic Acid Beyond Defence: its Role in Plant Growth and Development. Journal of Experimental Botany, 62(10): 3321-3338.

- Romero-Perezgrovas, R., Verhulst, N., De La Rosa, D., Hern'andez, V., Maertens, M., Deckers, J., Govaerts, B., 2014. Effects of Tillage and Crop Residue Management on Maize Yields and Net Returns in The Central Mexican Highlands under Drought Conditions. *Pedosphere*, 24(4): 476–486.
- Saberi, M., Nezhad, F.M., Etemadi, N.A., 2015. Interactive Effects of Vermicompost and Salicylic Acid on Chlorophyll and Carotenoid Contents of Petunia Hybrid under Drought Stress. *J Earth Environ Health Sci*; 1: 52-7.
- Saied, El-Sayed, Amany, Abd El-Mohsen, Ramadan and Farid Hellal., 2020. Drought Stress Mitigation by Application of Algae Extract on Peanut Grown under Sandy Soil Conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 19: 230-239.
- Schilling, G., Eibner, H., Schmidt, L., Peiter., E., 2016. Yield Formation of Five Crop Species under Water Shortage and Differential Potassium Supply. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 234-243.
- Seppänen, M., Turakainen, M., Hartikainen, H., 2003. Selenium Effects on Oxidative Stress in Potato. *Plant Sci.*, 165: 311–319.
- Sevilmiş, U., Sevilmiş, D., 2019. Gübre Uygulamalarının Ayciçeğinin Kuraklık Toleransına Etkisi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 1(2): 228-235.
- Sezgin, M., Kâhya, M., 2023. Bitki Streoid Hormonu: Brassinosteroidler. *International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-I. Turkish Republic of Northern Cyprus*, April 28-30: 1842-1858.
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the Hormonal Status of Wheat Seedlings Induced by Salicylic Acid and Salinity. *Plant Sci*, 164: 317–322.
- Sharma, R.C., Banik, P., 2014. Vermicompost and Fertilizer Application: Effect on Productivity and Profitability of Baby Corn (*Zea mays* L.) and Soil Health. *Compost Science Utilization*, 22: 83–92
- Shehzad, M.A., Maqsood, M., Nawaz, F., Abbas, T., Yasin, S., 2018. Boron-Induced Improvement in Physiological, Biochemical and Growth

- Attributes in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Exposed to Terminal Drought Stress. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8): 943-955.
- Singh, K.K., Singh, K., Singhl, R.S., Singh, R., Chandel, R.S., 2005. Silicon Nutrition in Rice- a Review. *Agricultural Reviews*, 26(3): 223-228.
- Sistani, K.R., Savant, N.K., Reddy, K.C., 1997. Effect of Rice Hull Ash Silicon on Rice Seedling Growth. *J. Plant Nutr.*, 20(1):195 –201.
- Smirnoff, N., 2000. The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. *New Phytologist*, 125:27-58.
- Smirnoff, N., 2011. Vitamin C: The Metabolism and Functions of Ascorbic Acid in Plants. *Advances in Botanical Research*. In: Rebeille F, Douce R, editors. *Biosynthesis of Vitamins in Plants: Vitamins B6, B8, B9, C, E, K, Part 2*. 1st edn. USA: Academic Press; 107-177.
- Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic press., 1-9.
- Syu, Y.Y., Hung, J.H., Chen, J.C., Chuang, H.W., 2014. Impacts of size and Shape of Silver Nanoparticles on Arabidopsis Plant Growth and Gene Expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83:57-64.
- Şahin, E., Karagöz, K., Çakmakçı, R., Tosun, M., 2010. Azot Fiksasyonu ve Fosfat Çözücü Bitki Gelişimini Teşvik Edici Bakteri Aşılımlarının Arpa Gelişimine Etkisi. *Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu*, Erzurum.
- Şahin, G., Ögeç, M., 2022. Güncel Bir Bakış Açısıyla Poliaminlerin Bitki Büyüme ve Gelişimi Üzerine Etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(2):255-264.
- Tabor, C.W., Tabor, H., 1984. Polyamines. *Ann. Rev. Biochem.*, 53:749-790.
- Takahash, E, Ma J.F, Miyake Y., 1990. The Possibility of Silicon as an Essential Element for Higher Plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry*, 2:99-122.
- Tekiş, S.A., 2016. Kuraklık Stresi Altındaki Mısır Fidelerine (*Zea Mays* L.) Dışarıdan Selenyum (Se) Uygulamalarının Büyüme Parametreleri, Su Durumu ve Lipid Peroksidasyonu Üzerine İyileştirici Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bil. Enst., Konya. 60s.
- Temur, B., 2022. Potasyumlu gübrelerin yaprak uygulamasının kuraklık stresi altındaki domates bitkisi üzerindeki etkileri. *ŞÜ Fen Bil. Enst.*, Yüksek Lisans Tezi, 102s.

- Trenholm, L.E., Datnoff, L.E., Nagata, R.T., 2004. Influence of Silicon on Drought and Shade Tolerance of St. Augustinegrass. Hort Technology, 14:487-490.
- Verbruggen, N. and Hermans, C., 2008. "Proline Accumulation in Plants: a Review" Amino Acids., 35:753-759.
- Vidya Vardhini, B., Seeta Ram Rao, S., 2003. Amelioration of Osmotic Stress by Brassinosteroids on Seed Germination And Seedling Growth of Three Varieties of Sorghum. Plant Growth Regul., 41:25-31.
- Wade, G. L. Midcap, T.J., 2007. Xeriscape a Guide to Developing a Water Wise Landscape, University of Georgia Environmental Landscape Department, 40p.
- Walia, H., Wilson, C., Condamine, P., Liu, X., Ismail, A.M. ve Close, T.J., 2007. Large-scale Expression Profiling and Physiological Characterization of Jasmonic Acid-Mediated Adaptation of Barley to Salinity Stress, Plant, Cell & Environment, 30(4):410-421.
- Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D., Ma, F., 2013. Long-Term Exogenous Application of Melatonin Delays Drought-Induced Leaf Senescence in Apple. J. Pineal Res., 54:292–302.
- Wei, J., Li, C., Li, Y., Jiang, G., Cheng, G., Zheng, Y., 2013. Effects of External Potassium (K) Supply on Drought Tolerances of Two Contrasting Winter Wheat Cultivars. PLoS ONE, 8(7):1-11.
- Welch, R.M., Graham, R.D., 1999. A New Paradigm for World Agriculture: Meeting Human Needs-Productive, Sustainable, Nutritious. Field Crops Res., 60:1-10.
- Yakupoğlu, G., Köklü, Ş., Korkmaz, A., 2018. Bitkilerde Melatonin ve Üstlendiği Görevler. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi., 21(2): 264-276.
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., Chen, S., 2021. Response Mechanism of Plants to Drought Stress. Hortic., 7(3):50.
- Yao, X., Chu, J., Wang, G., 2009. Effects of Selenium on Wheat Seedlings under Drought Stress. Biol. Trace Elem. Res., 130(3):283-290.
- Yasar, F., Uzal, O., Yasar, O., Ellialtioglu, S.S., 2014. Root, Stem, and Leaf Ion Accumulation in Drought Stressed Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Treated With Peg-6000. Fresenius Environ. Bull., 23(10a): 656-2662.

- Yavaş, İ., Nail, H., Ünay, A., 2016. Bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını artırmaya yönelik uygulamalar. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 4(1):48-57.
- Yıldız, K., Yılmaz, H., 2001. Jasmonatlar (Jasmonic acid ve Methyl jasmonate) Yeni Bir Hormon Grubu Olabilir mi. Derim. Batı Akdeniz Tarımsal Araş. Enst., 18(2):89-95.
- Yıldız, Ş., 2018. Kuraklık stresi altındaki arpa bitkilerinin yapraklarına SiO₂ nanopartikül uygulamasının etkilerinin incelenmesi. MEÜ Fen. Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, 54s.
- Ylstra, B., Touraev, A., Brinkmann, A.O., Heberle-Bors, E. Tunen, A.J.V., 1995. Steroid Hormones Stimulate Germination and Tube Growth of in Vitro Matured Tobacco Pollen. Plant physiol., 107(2):639-643.
- Zhang, Y., Yu, Q., Liu, C., Jiang, J., Zhang, X., 2004. Estimation of Winter Wheat Evapotranspiration Under Water Stress with a Semiempirical Approach. J. Agron., 96:159–168.
- Zhao, C. Y., Si, J. H., Feng, Q., Yu, T. F., Luo, H., Qin, J., 2021. Ecophysiological Responses to Drought Stress in *Populus euphratica*. Sci. Cold Arid Reg., 13(4):326-336.
- Zhou, T., Wang, P., Gu, Z.X., Ma, M., Yang, R.Q., 2020. Spermidine Improves Antioxidant Activity and Energy Metabolism in Mung Bean Sprouts. Food Chem., 309:125 759.

BÖLÜM 10

ENDÜSTRİYEL HAMMADDELERİN MODERN TARIMDAKİ ROLÜ: VERİMLİLİK, RİSKLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Dr. Yasemin AKTAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17229042>

¹ Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tekkeköy/Samsun, Türkiye.
Yasemin.aktas@tarimorman.gov.tr, orcid id: 0009-0002-2412-2953.

1. GİRİŞ

Tarım, insanlık tarihinin en eski ekonomik faaliyetlerinden biri olup, yerleşik hayata geçişin temelini oluşturmuştur. Avcı-toplayıcı yaşam biçiminden tarıma dayalı üretime geçiş, sadece beslenme alışkanlıklarını değil, aynı zamanda toplumsal yapıları, ekonomik ilişkileri ve çevresel düzenlemeleri de köklü bir şekilde değiştirmiştir. Tarihsel süreçte buğday, arpa, mısır ve pirinç gibi temel tahıl ürünlerinin yetiştirilmesiyle birlikte nüfus artışı ve kentleşme süreci başlamış, bu da tarımın yalnızca gıda üretimi değil, aynı zamanda medeniyetlerin gelişmesinde de belirleyici bir faktör olduğunu göstermiştir.

Günümüzde ise tarım sektörü, hâlâ insan yaşamının devamlılığı açısından vazgeçilmez bir konumda yer almaktadır. Ancak modern çağın getirdiği pek çok değişken, geleneksel tarım yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Özellikle dünya nüfusunun hızla artması, iklim değişikliklerinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri, doğal kaynakların sınırlı oluşu ve küresel ölçekte yaşanan gıda güvencesi problemleri, tarımda verimliliği ve sürdürülebilirliği yeniden düşünmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu çerçevede, tarımsal üretimde teknolojik yenilikler ve sanayi temelli çözümler giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Endüstriyel hammaddeler, bu dönüşüm sürecinde tarımın modernleşmesini sağlayan en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren artan kimyasal gübre ve pestisit kullanımı, tarımsal üretimde hızlı ve yüksek verimlilik elde edilmesine olanak tanımış, plastik temelli sulama sistemleri ve örtü materyalleri, iklimsel dalgalanmalara karşı üretimi koruma imkânı sunmuştur. Enerji kaynaklarının ve makineli tarımın yaygınlaşması ise iş gücünden zaman tasarrufu sağlarken, geniş arazilerde hızlı üretimi mümkün kılmıştır. Tüm bu gelişmeler, endüstriyel hammaddelerin tarım sektörü açısından sadece yardımcı araçlar değil, sistemin ayrılmaz bileşenleri haline geldiğini göstermektedir.

Öte yandan, bu hammaddelerin kontrolsüz ve aşırı kullanımı, çevresel kirlilik, toprak ve su kaynaklarının bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler gibi pek çok sorunu da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, endüstriyel girdilerin tarımda kullanımı yalnızca teknik bir mesele olarak değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve etik boyutlarıyla da ele alınması gereken çok yönlü bir konudur. Sürdürülebilir tarım

politikalarının oluşturulmasında, bu hammaddelerin nasıl, ne kadar ve hangi koşullarda kullanılacağıının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu makalede, endüstriyel hammaddelerin tarım sektöründeki rolü çok yönlü bir şekilde incelenecek; kimyasallar, plastikler, biyoteknolojik ürünler ve enerji kaynakları gibi çeşitli endüstriyel girdilerin kullanım alanları, sağladıkları avantajlar ve yol açtıkları potansiyel riskler analiz edilecektir. Böylece hem günümüz tarımının dinamikleri daha iyi anlaşılacak hem de gelecekte daha sürdürülebilir ve verimli tarımsal üretim modelleri geliştirme yolunda bir bakış açısı sunulacaktır.

1. Kimyasal Hammaddelerin Tarımda Kullanımı

Tarımda en yaygın kullanılan endüstriyel hammaddelerin başında kimyasal girdiler gelmektedir. Özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren "Yeşil Devrim" olarak adlandırılan süreçle birlikte, kimyasalların tarımsal üretimdeki rolü belirgin bir şekilde artmıştır (Tilman, vd., 2002). Bu kimyasal girdiler, tarımda verimliliği artırmak, hastalık ve zararlılara karşı direnç sağlamak ve bitki gelişimini optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Tarımsal kimyasallar; gübreler, pestisitler (böcek ilaçları), herbisitler (yabancı ot öldürücüler), fungusitler (mantar ilaçları) ve büyüme düzenleyicileri gibi çeşitli kategorilere ayrılmaktadır (FAO, 2017). Her biri bitkisel üretimin farklı bir sürecine etki ederek, modern tarımın vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir.

Gübreler, bitkilerin büyüme sürecinde ihtiyaç duyduğu makro ve mikro besin maddelerini sağlayan en temel kimyasal girdilerdir. Özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) içeren kimyasal gübreler, bitkilerin sağlıklı gelişim göstermesi ve yüksek verim elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Azot, bitkilerde protein sentezini ve yaprak gelişimini desteklerken; fosfor, kök gelişimi ve çiçeklenme üzerinde etkilidir. Potasyum ise bitkilerin su dengesini korumasına, hastalıklara karşı direnç geliştirmesine ve meyve kalitesinin artmasına yardımcı olur. (Altieri, 1995). Bu elementlerin eksikliği, bitki gelişimini olumsuz etkileyebileceğinden, kimyasal gübrelerin tarımsal üretimdeki yeri büyüktür.

Diğer yandan, pestisitler ve herbisitler de tarımsal üretimde sıklıkla kullanılan kimyasal maddelerdendir. Pestisitler, böcek, kurt, sinek ve diğer zararlılara karşı bitkileri koruyarak ürün kaybını en aza indirir. (Aktar, vd.,

2009). Herbisitler ise tarla bitkileriyle rekabet içinde olan yabancı otların yok edilmesini sağlar. Bu sayede, kültür bitkilerinin besin maddesi, su ve güneş ışığından daha fazla yararlanması mümkün hale gelir. Fungisitler de mantar hastalıklarına karşı koruma sağlayarak, özellikle nemli iklimlerde üretimin sürekliliğini garanti altına alır (Pimentel & Burgess, 2014). Tüm bu kimyasallar, geleneksel yöntemlerle başa çıkılması zor olan biyotik (canlı kaynaklı) stres faktörlerine karşı etkili çözümler sunmaktadır.

Ancak kimyasal girdilerin yoğun ve bilinçsiz kullanımı, uzun vadede ciddi çevresel ve ekolojik sorunlara yol açabilmektedir. Aşırı gübre kullanımı, toprakta tuzlanmaya ve verimliliğin zamanla düşmesine neden olabilir. Ayrıca, kullanılmayan ya da toprakta tutunamayan azot ve fosfor gibi elementler yer altı sularına karışarak su kirliliğine yol açabilir (FAO, 2017). Bu durum, içme sularının kalitesini düşürmekte ve özellikle sucul ekosistemlerde ötrofikasyon adı verilen aşırı besinlenme sorununa neden olmaktadır. Pestisit kalıntıları ise yalnızca zararlıları değil, aynı zamanda faydalı böcekleri ve tozlayıcıları da etkileyerek biyoçeşitliliği tehdit etmektedir (Aktar, vd., 2009). Ayrıca, pestisitlerin gıda ürünlerinde kalıntı bırakması insan sağlığı açısından da risk oluşturmakta; uzun vadede kanser, hormonal bozukluklar ve sinir sistemi hastalıkları gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceği düşünülmektedir (Pimentel & Burgess, 2014).

Bu nedenle, kimyasal hammaddelerin tarımda kullanımı, kontrollü ve entegre yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmalıdır. Organik gübreleme, biyolojik mücadele yöntemleri ve entegre zararlı yönetimi (IPM) gibi alternatif uygulamalarla kimyasal kullanımının azaltılması hem çevresel hem de ekonomik açıdan daha sürdürülebilir bir tarım anlayışına katkı sağlayacaktır (Altieri, 1995). Ayrıca, çiftçilerin bilinçlendirilmesi, toprak analizlerinin düzenli olarak yapılması ve gübreleme programlarının bilimsel veriler ışığında hazırlanması, kimyasal girdilerin daha verimli ve güvenli kullanımını mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak, kimyasal hammaddeler modern tarımda yüksek verim ve kalite elde etme noktasında büyük katkılar sunmaktadır. Ancak bu katkının uzun vadede sürdürülebilir olabilmesi için kullanım biçimlerinin çevresel etkilerle birlikte değerlendirilmesi ve doğayla uyumlu bir üretim modeli geliştirilmesi gerekmektedir.

2. Plastik Tabanlı Hammaddelerin Tarımda Kullanımı

Tarım sektöründe endüstriyel hammaddeler arasında önemli bir yere sahip olan plastik temelli malzemeler, özellikle modern tarım tekniklerinin uygulanmasında vazgeçilmez unsurlar arasında yer almaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte çeşitli polimer türlerinden üretilen plastik malzemeler hem maliyet avantajı sunmaları hem de kullanım kolaylıkları nedeniyle üreticiler tarafından yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Steinmetz, vd., 2016). Bu malzemeler, özellikle sulama sistemlerinde, seracılık faaliyetlerinde, fide üretiminde ve bitki koruma uygulamalarında işlevsel olarak kullanılmaktadır.

En yaygın kullanım alanlarından biri olan sulama sistemlerinde plastik boruların kullanımı, su kaynaklarının daha verimli değerlendirilmesini sağlamaktadır. Özellikle damlama sulama sistemlerinde kullanılan polietilen (PE) esaslı borular, suyun doğrudan bitki kök bölgesine iletilmesine olanak tanıyarak hem su tasarrufu sağlamakta hem de yabancı otların büyümesini engellemektedir (Gleick, 2003). Bu sistemler sayesinde suyun buharlaşma yoluyla kaybı minimuma indirgenmekte, aynı zamanda bitkilerin hastalıklara karşı direnci artmaktadır. Geleneksel salma sulama yöntemlerine göre %30 ila %70 arasında su tasarrufu sağlayan damlama sistemleri, plastik hammaddelerin tarımda ne denli kritik bir rol oynadığını açıkça göstermektedir (FAO, 2017).



Şekil 1. Modern tarımda plastiklerin temel bir kullanımı (injectionmouldingworld, 2025).

Seracılık faaliyetlerinde de plastik materyaller önemli bir yer tutmaktadır. Polietilen, polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat gibi polimerlerden üretilen sera örtüleri, bitkileri dış etkenlerden koruyarak yılın büyük bir bölümünde üretim yapılmasına olanak tanır. Bu örtüler, iç mekânda ısı ve nem kontrolü sağlayarak mikro iklim oluşturur, dolayısıyla üretim sezonunu uzatır ve verimliliği artırır (Lamont, 2005). Ayrıca ultraviyole

ışınlarına karşı dayanıklı olarak üretilen özel plastikler hem uzun ömürlü olmaları hem de bitkileri zararlı güneş ışınlarından korumaları açısından tercih edilmektedir. Bu uygulama, özellikle iklim koşulları elverişli olmayan bölgelerde tarım faaliyetlerinin sürdürülebilmesini sağlamaktadır.

Plastik kullanımının bir diğer önemli alanı da fide ve fidan üretimidir. Tohumların çimlendirilmesinde kullanılan plastik viyoller, saksılar ve tüpler, bitkilerin kontrollü bir ortamda yetiştirilmesini ve kök gelişimlerinin izlenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu sistemler sayesinde fide transferi sırasında yaşanan kök hasarları minimize edilmekte, böylece bitki kayıpları azaltılmaktadır (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Ayrıca malç plastikleri adı verilen siyah veya şeffaf polietilen örtüler, toprak yüzeyine serilerek yabancı otların çıkmasını önlemekte, toprak sıcaklığını düzenlemekte ve nemin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu da daha sağlıklı ve güçlü bitkilerin yetişmesini sağlamaktadır.

Tüm bu avantajlara rağmen, plastik malzemelerin çevresel etkileri de göz ardı edilmemelidir. Tarımda kullanılan plastiklerin çoğu tek kullanımlıktır ve kullanım ömrünü tamamladıktan sonra atık haline gelir. Özellikle kırsal bölgelerde bu atıkların doğaya kontrolsüz şekilde bırakılması, toprak ve su kirliliğine yol açmakta, biyolojik yaşamı tehdit etmektedir (Steinmetz et al., 2016). Mikroplastiklerin toprağa karışması, hem bitkilerin hem de toprakta yaşayan organizmaların sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bu atıkların yanmasıyla açığa çıkan toksik gazlar, hem çevre hem de insan sağlığı açısından ciddi tehlikeler oluşturmaktadır.

Geri dönüşüm süreçlerinin yeterince yaygınlaşmamış olması ve tarımsal plastik atıkların büyük ölçüde düzensiz şekilde bertaraf edilmesi, bu sorunun daha da büyümesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, biyobozunur plastiklerin kullanımı ve tarımsal plastik atıkların toplanması ve geri dönüşümüne yönelik teşviklerin artırılması büyük önem taşımaktadır (Sintim & Flury, 2017). Tarımda sürdürülebilirlik hedefleniyorsa, plastiklerin üretiminden kullanımına ve bertarafına kadar olan sürecin çevreyle uyumlu şekilde planlanması gerekmektedir.

Sonuç olarak, plastik temelli hammaddeler tarımda üretim verimliliğini artırma, doğal kaynakların daha etkin kullanımını sağlama ve iklimsel koşulları dengeleme açısından büyük katkılar sunmaktadır. Ancak bu katkının sürdürülebilir bir çerçevede devam edebilmesi için çevresel etkilerin dikkate

alınması, geri dönüşüm altyapısının güçlendirilmesi ve çiftçilerin bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

3. Tarımda Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Tarım sektöründe endüstriyel hammaddelerin önemli bir bileşeni olan enerji kaynakları, modern üretim tekniklerinin uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen unsurların başında gelmektedir. Özellikle sanayi devriminden bu yana tarımda makineleşmenin yaygınlaşması, üretim kapasitesini önemli ölçüde artırmış; bu süreçte kullanılan traktör, biçerdöver, ekim-dikim makineleri, balya makineleri ve benzeri ekipmanlar, fosil yakıtlar sayesinde işlevsellik kazanmıştır (FAO, 2011). Makineli tarımın temelinde yer alan bu enerji kaynakları, üretim sürecini hızlandırmakta, insan gücüne olan bağımlılığı azaltmakta ve büyük alanlarda verimli üretimi mümkün kılmaktadır.

Fosil yakıtlar—başta dizel, benzin ve LPG olmak üzere—modern tarım makinelerinin çalışmasını sağlayan temel enerji kaynaklarıdır. Traktörler toprak sürme, gübreleme ve hasat gibi birçok farklı işlevi yerine getirirken, biçerdöverler hasat işlemini daha kısa sürede, daha az kayıpla tamamlamaktadır. Bu makinelerin büyük bir bölümü dizel motorlarla çalışmakta ve özellikle geniş arazilere sahip bölgelerde, enerjiye olan ihtiyaç katlanarak artmaktadır (Fan, 2022). Bu durum, üretim maliyetlerini doğrudan etkilerken aynı zamanda tarımın karbon ayak izini de büyütmektedir. Özellikle dizel yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbon dioksit (CO₂) ve azot oksit (NO_x) gibi sera gazları, küresel ısınma ve iklim değişikliği sürecine katkı sunan başlıca etkenler arasında yer almaktadır (Lal, 2004).

Bunun yanı sıra, enerji ihtiyacı sadece makineleşmeyle sınırlı değildir. Tarımda kullanılan elektrik enerjisi de üretimin farklı aşamalarında önemli rol oynamaktadır. Özellikle sulama sistemleri—özellikle de elektrikle çalışan derin kuyu pompaları ve basınçlı sulama sistemleri—büyük miktarda enerji tüketmektedir (Burney et al., 2010). Aynı şekilde, soğuk hava depoları, kurutma tesisleri ve diğer tarımsal ürün işleme birimleri de enerjiye bağımlı olarak çalışmaktadır. Bu da tarımsal üretimin yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda teknolojik bir süreç olduğunu ve endüstriyel altyapı ile bütünleştiğini göstermektedir.



Şekil 2. tarım sektöründe yenilenebilir enerji kullanımı (Ecomena, 2025)

Ancak fosil yakıtların sınırlı rezervlere sahip olması, çevresel etkileri ve fiyat dalgalanmalarına açık oluşu, tarımda enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini ve sürdürülebilir alternatiflere yönelmeyi kaçınılmaz kılmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal faaliyetlerde kullanımı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır (FAO, 2011). Güneş enerjisi panelleriyle çalışan sulama sistemleri, rüzgâr türbinleriyle desteklenen enerji üretimi, biyogaz sistemleriyle elde edilen ısı ve elektrik gibi uygulamalar hem çevresel hem de ekonomik açıdan daha sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (IRENA, 2015).

Özellikle biyogaz sistemleri, hayvancılıkla uğraşan çiftliklerde organik atıkların (gübre, bitki artıklar vb.) değerlendirilerek enerjiye dönüştürülmesini sağlamakta; bu sayede hem atık yönetimi kolaylaşmakta hem de çiftliklerin enerji ihtiyacı büyük ölçüde karşılanabilmektedir (Mao et al., 2015). Güneş panelleri ise özellikle kırsal alanlarda elektrik altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde, bağımsız enerji üretimi için ideal bir çözüm sunmakta ve işletmelerin enerji maliyetlerini düşürmektedir (Burney et al., 2010). Ayrıca, tarımsal seralarda güneş enerjili ısıtma sistemlerinin kullanımı da yaygınlaşmakta; bu da mevsim dışı üretimin sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Tiwari & Ghosal, 2005).

Ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin tarımda yaygınlaştırılmasının önünde bazı zorluklar da bulunmaktadır. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek

oluşu, teknolojiye erişim kısıtları ve teknik bilgi eksikliği, bu sistemlerin özellikle küçük ölçekli çiftçiler tarafından benimsenmesini zorlaştırmaktadır (IRENA, 2016). Bu nedenle, devlet destekli teşvikler, teknik eğitimler ve finansman modelleri aracılığıyla yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, enerji kaynakları, modern tarımın temel taşlarından biridir. Fosil yakıtlar halen sistemin ana enerji girdisini oluştursa da, çevresel ve ekonomik nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş süreci hız kazanmaktadır. Bu dönüşüm, sadece enerji maliyetlerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda tarımın çevresel etkilerini de minimize ederek daha sürdürülebilir bir üretim modeline katkı sağlamaktadır.

4. Endüstriyel Biyoteknolojik Hammaddelerin Tarımda Kullanımı

Tarım sektöründe bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte ortaya çıkan en önemli gelişmelerden biri, endüstriyel biyoteknolojinin üretim süreçlerine entegre edilmesidir. Bu teknoloji, canlı organizmaların veya biyolojik sistemlerin tarımsal üretimde kullanılabilir hale getirilmesini sağlamış; özellikle genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO), sentetik hormonlar, büyüme düzenleyiciler ve mikrobiyal gübreler gibi biyoteknolojik ürünlerin geliştirilmesiyle, modern tarımda köklü değişimlere yol açmıştır (James, 2014). Bu hammaddeler sayesinde hem üretim kapasitesi artırılmakta hem de bitkilerin hastalıklara, zararlılara ve olumsuz çevre koşullarına karşı daha dirençli hale getirilmesi mümkün olmaktadır (Altieri, 2001).



Şekil 3. Biyoteknolojik Hammaddelerin Tarımda Kullanımı (solutionbuggy, 2025).

Günümüzde en çok tartışılan biyoteknolojik uygulamalardan biri genetiği değiştirilmiş organizmaların tarımda kullanımıdır. GDO'lu bitkiler, laboratuvar ortamında genetik yapıları değiştirilerek belirli özelliklerin kazandırıldığı canlılardır. Örneğin, zararlı böceklerle karşı dayanıklılığı artırmak için *Bacillus thuringiensis* (Bt) geninin mısır gibi bazı ürünlere aktarılması, bu bitkilerin zararlılara karşı kimyasal ilaç kullanılmadan korunmasına olanak tanımaktadır (Brookes & Barfoot, 2018). Aynı şekilde kuraklığa dayanıklı genlerin bitkilere aktarılması, iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadelede önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu tür biyoteknolojik müdahaleler, ürün kaybını azaltmakla kalmayıp, verimliliği ve üretim istikrarını da önemli ölçüde artırmaktadır (ISAAA, 2023).

Bir diğer önemli biyoteknolojik araç ise sentetik hormonlar ve büyüme düzenleyicileridir. Bitkisel üretimde kullanılan gibberellinler, sitokininler, absisik asit ve etilen gibi hormonlar, bitki gelişimini çeşitli yönlerden etkilemektedir. Bu maddeler, çimlenme, kök gelişimi, meyve olgunlaşması ve yaprak dökümü gibi fizyolojik süreçleri kontrol etmek için kullanılmaktadır (Taiz et al., 2015). Örneğin, meyve üretiminde olgunlaşmayı hızlandırmak amacıyla kullanılan etilen gazı, hasat sürecini kontrol altına alarak ticari planlamayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca büyüme düzenleyicileri, bitkilerde boy kısaltma, çiçeklenme zamanlaması ve dallanma gibi özelliklerin kontrolünde de etkili rol oynamaktadır. Bu tür biyoteknolojik hammaddeler sayesinde üreticiler, piyasaya uygun zamanlarda ürün sunabilir ve istenen kalite standartlarına ulaşabilir hale gelmektedir.

Ancak tüm bu biyoteknolojik gelişmelere rağmen, söz konusu ürünlerin kullanımı hem bilimsel hem de toplumsal düzeyde çeşitli tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Öncelikle GDO'ların insan sağlığı üzerindeki etkileri hâlâ net olarak ortaya konulamamış; uzun vadeli tüketimin alerjik reaksiyonlara, bağışıklık sistemi bozukluklarına veya genetik deformasyonlara yol açabileceği yönünde bazı bilimsel kaygılar dile getirilmiştir (Domingo & Bordonaba, 2011). Ayrıca GDO'ların doğal türlerle gen alışverişinde bulunarak biyolojik çeşitliliği tehdit etmesi, doğada geri dönüşü olmayan genetik kirlenmelere neden olabileceği yönündeki endişeleri artırmaktadır.

Etik açıdan bakıldığında ise, genetik mühendislik uygulamalarının doğaya müdahale biçimi ve “doğallık” kavramının yeniden tanımlanması, toplumların bu teknolojilere karşı tepkisini şekillendirmektedir. Birçok ülke,

GDO’lu ürünlerin üretimini veya ithalatını sıkı şekilde denetlemekte, bazıları ise tamamen yasaklamaktadır. Aynı zamanda, GDO’lara yönelik tüketici farkındalığının artması, bu ürünlerin etiketlenmesi ve şeffaf bilgi paylaşımı gibi uygulamaları zorunlu hale getirmiştir (EU Parliament, 2015).

Çevresel açıdan da biyoteknolojik hammaddelerin kullanımı karmaşık sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle tek tip genetik yapıya sahip ürünlerin yaygınlaşması, tarımsal üretimi monokültüre (tek tür tarımı) yönlendirmekte; bu durum, doğal ekosistemlerin dengesini bozmakta ve hastalık ile zararlıların evrimsel adaptasyonunu hızlandırarak yeni tehditler ortaya çıkarmaktadır (Andow, 2008). Ayrıca, büyüme düzenleyicilerinin aşırı kullanımı toprağın kimyasal dengesini değiştirebilir ve toprak mikroorganizmaları üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

Tüm bu nedenlerle, endüstriyel biyoteknolojik ürünlerin tarımda kullanımı dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Söz konusu teknolojilerin güvenli, etik ve çevreyle uyumlu bir biçimde uygulanabilmesi için ulusal ve uluslararası düzeyde düzenlemeler oluşturulmalı, bilimsel araştırmalar teşvik edilmeli ve kamuoyunun doğru bilgilendirilmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, endüstriyel biyoteknolojinin tarımda kullanımı, verimliliği artırma ve doğal koşullara karşı bitkisel direnci güçlendirme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin bilinçli, kontrollü ve şeffaf bir şekilde uygulanması; yalnızca üreticilerin değil, tüketicilerin ve doğal çevrenin de korunmasını sağlayacak bir yaklaşımın temelini oluşturmalıdır.

5. Doğal Endüstriyel Hammaddelerin Tarımda Kullanımı

Doğal ve tarımsal-endüstriyel **organik toprak düzenleyiciler**—örneğin kompost, vermikompost, biyochar (biyokömür), deniz yosunu atıkları ve gıda işleme artıklarının—toprak verimliliğini, yapısını ve ürün verimini artırmada önemli bir rolü vardır. Belediye, tarım veya gıda atıklarından elde edilen kompost, organik maddeyi artırır, azot, fosfor ve potasyum gibi besin maddelerinin kullanılabilirliğini yükseltir, mikrobiyal çeşitliliği geliştirir ve toprağın su tutma kapasitesini artırarak kimyasal gübre ihtiyacını azaltır (Agarwal vd., 2023). Organik artıkların solucanlar tarafından işlenmesiyle elde edilen vermikompost, toprakta katyon değişim kapasitesini artırır, besin maddesi sağlayarak havalanmayı iyileştirir ve çoğunlukla bitki gelişimini desteklerken tuzluluğu azaltır (Singh vd., 2022). Biyochar, biyokütlenin

oksijensiz ortamda yakılmasıyla elde edilen karbon açısından zengin bir üründür; toprakta uzun vadeli karbon depolamasına katkı sağlar, asiditeyi azaltır, su tutma kapasitesini ve besin elementlerinin tutulmasını artırır ve özellikle verimsiz veya besince fakir topraklarda ürün performansını iyileştirebilir (Springer, PMC).

Organik girdilerin yanı sıra, çeşitli **mineral ve endüstriyel yan ürünler** de sürdürülebilir tarım uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kaya tozları—örneğin kaya fosfatı ve silikat esaslı “tarımsal mineraller” —yavaş salınımlı makro ve mikro besin elementleri (örneğin fosfor, kalsiyum, potasyum, silisyum) sağlar ve yoksullaşmış veya asidik toprakları iyileştirebilir (Wikipedia). Uçucu kül, kâğıt fabrikası çamuru, biyokütle külü, arıtma çamuru ve zeytin işleme atıkları gibi bazı endüstriyel artıklar, kireçleme etkisiyle toprak pH’nı düzenleyebilir, toprağın yapısını ve katyon değişim kapasitesini geliştirebilir, aynı zamanda mikro besin elementleri sağlayabilir; ancak bu tür materyallerin kullanımı sırasında ağır metaller gibi kirleticilerin kontrol edilmesi gerekir (Kassam & Kassam, 2020).

Bentonit:

Bentonit temel mineral olarak montmorillonit ihtiva eden killer için kullanılan ticari bir terimdir ve montmorillonit içeriği en az %85 tir. Yumuşak kolloidal özellikli bir alüminyum hidrosilikattır. Bentonit, ticari olarak değerlendirildiğinde suyla temas ettiğinde şişebilen, asitle aktifleştirilebilen, sondaj çamurlarında koyulaşmayı sağlayan ve geniş yüzey alanı oluşturan bir kil mineralidir (Grim, 1968). Bentonitlerden yüksek şişme kapasitesi olanlar granül gübre üretiminde taşıyıcı malzeme olarak kullanılırken aynı zamanda bitkiye suyun dengeli olarak verilmesini, toprak havalandırmasını ve gübrenin sulama ile birlikte homojen olarak bitkiye verilmesini sağlayarak tarımda kullanım alanı bulmuştur (İpekoğlu ve ark.,1997).

Perlit

Perlit ocaktan çıkarılıp öğütüldükten sonra belirli bir tane büyüklüğüne gelince 760°C 982°C sıcaklıkta genişletildiği zaman hacmi artan asit karakterli volkanik bir camdır. Bu oluşumun hem doğal hammadde hali hem de işlenmiş hali perlit olarak adlandırılır (Ayberk,1995). Doğal bir volkanik cam olan perlit, modern tarım dünyasında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Yüksek gözeneklilik, mükemmel su tutma ve hafiflik gibi benzersiz özellikleri, onu

günümüz çiftçileri ve bahçıvanları için vazgeçilmez bir kaynak haline getirmektedir. Tarım, son on yıllarda önemli bir dönüşüme tanık olmuş ve perlit bu değişimin şekillenmesinde önemli bir rol oynamıştır (Perlite, 225).



Şekil 4. Perlitin bitkilerde kullanımı

İyi havalandırılmış bir toprak, bitki köklerinin optimum büyüme ve besin emilimi için hayati önem taşıyan yeterli oksijen almasını sağlar. Sağlıklı kökler, daha sağlıklı bitkiler anlamına gelir. Perlitin gözenekli yapısı, toprakla karıştırıldığında hava cepleri oluşturarak daha iyi havalandırma sağlar. Bu cepler, bitki köklerinin nefes almasını sağlayarak daha hızlı ve sağlıklı bir büyüme sağlar. Bitki gelişimi için sabit nem seviyeleri çok önemlidir. Aşırı sulama kök çürümmesine, yetersiz sulama ise susuzluğa neden olabilir. Perlitin su tutma özelliği doğru dengeyi sağlar. Fazla suyu emer ve kademeli olarak salarak toprak neminin sürekliliğini sağlar. Bu özellik, düzensiz yağış alan bölgelerde perlit paha biçilmez kılar ve kurak dönemlerde mahsulün zarar görmemesini sağlar.

Hidroponik ve akuaponik, tarımın geleceğini temsil eder ve uygun olmayan topraklara sahip bölgelerde bile tarım yapılmasını mümkün kılar. Bu yöntemler, geleneksel tarıma göre önemli ölçüde daha az su kullanır.

Steril ve hafif bir ortam olan perlit, hidroponik ve akvaponik sistemler için idealdir. Yüzdürme özelliği bitkilerin dik kalmasını sağlarken, gözenekli yapısı verimli besin ve oksijen alışverişini destekleyerek güçlü bitki büyümesini kolaylaştırır.

Tohumların çimlenebilmesi için uygun bir ortama ihtiyaçları vardır, bu da büyüme yolculuklarında sağlam bir başlangıç yapmalarını sağlar. Perlit,

saksı toprağıyla karıştırıldığında tohumlara mükemmel bir nem ve hava karışımı sunar. Tohumların suyla dolmasını önler, onlara gerekli oksijeni sağlar ve genç köklerin nüfuz etmesi için yumuşak bir ortam sağlayarak çimlenme sürecini sorunsuz hale getirir. Kök çelikleri ile çoğaltmak, tohumlara kıyasla daha hızlı büyüme sağlar. Ancak bu yöntem, çürüme riski olmadan hızlı kök gelişimini destekleyen bir yetiştirme ortamı gerektirir. Perlit, su tutma ve havalandırma özellikleri sayesinde kök çelikleri için ideal bir ortam sağlar. Çelikleri aşırı nemden korur, yeterli oksijen sağlar ve daha hızlı kök gelişimini destekler (Perlite, 2025).

Zeolitler

Zeolitler alüminyum ve silis ihtiva eden minerallerin farklı reaksiyonları sonucunda oluşmuştur. Son zamanlarda oldukça yaygın olarak kullanılmakla birlikte önemli bir endüstriyel hammaddelerdendir (Korkmaz, 2022). Doğal zeolitler toprak hazırlığı ve gübreleme işlemlerinde taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Tarımda mücadele ilaç taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Zeolitli tüberler ise gübrelerde oluşan kötü kokunun giderilmesi ve içerik kontrolünde, ayrıca asitli volkanik toprakların ph seviyesinin düzenlenmesinde yıllardır kullanılmaktadır (Gülen ve ark.,2012).



Şekil 5. Zeolitli toprak karışımı

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) zeolitleri toksik olmayan maddeler olarak sınıflandırmış ve Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ise insan tüketimi için güvenli kabul etmiştir. Bu nedenle, zeolitler tarımda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Özellikle doğal zeolitlerden olan klinoptilolit, topraklarda ve tortullarda en yaygın bulunan türdür ve azot tutulması, toprak iyileştirici gibi

işlevleri sayesinde tarımsal uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Zeolitler, kimyasal gübrelerin toprakta yıkanarak çevreye zarar vermesini önlemeye yardımcı olur; besin maddelerinin bitkiler tarafından daha yavaş ve etkili alınmasını sağlayarak gübre verimliliğini artırır. Ayrıca, zeolitlerin toprak fizyokimyasal özelliklerini iyileştirmesi, su tutma kapasitesini artırması, ağır metal kirlenmesini azaltması ve mikroorganizmaların aktivitesini desteklemesi sayesinde toprak sağlığının korunmasına katkıda bulunur (Cataldo vd., 2021).

Zeolitlerin kullanımı sadece gübre verimliliği ve toprak iyileştirme ile sınırlı kalmaz; aynı zamanda herbisitlerin yavaş salınımını sağlayarak çevre kirliliğini azaltır, ağır metallerin topraktaki hareketliliğini sınırlar ve suyun toprakta tutulmasını kolaylaştırır. Yüksek gözeneklilikleri sayesinde toprakta suyun depolanmasını artıran zeolitler, su kullanım verimliliğini yükseltir ve kuraklık koşullarında bitkilerin su stresini azaltmada önemli rol oynar. Ayrıca, zeolitlerin gaz emme kapasiteleri sayesinde hayvancılıkta amonyak ve hidrojen sülfür gibi kötü kokuların kontrolünde de kullanıldığı görülmektedir. Bitki koruma alanında antifungal özellikleri ve böcek zararlıları üzerindeki olumlu etkileri ile ekolojik bir alternatif sunan zeolitler, fotosentezi artırarak bitki büyümesini destekler ve yapraklarda güneş yanığı ve ısı stresini azaltır. Tüm bu özellikleri ile zeolitler, sürdürülebilir ve çevre dostu tarım uygulamalarında giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Cataldo vd., 2021).

Kireç

Kalsiyum karbonat ihtiva eden kireçtaşlarının 900-1000 °C de kalsinasyonu sonucu kireç (CaO) oluşur. Kirec sönmemiş kireç olarak da adlandırılır. Sönmüş kireç sönmemiş kirece su ilave edilmek suretiyle oluşan reaksiyon neticesinde elde edilen kalsiyum hidroksittir (Ca(OH)₂) (Korkmaz, 2019). Kireç kullanımı endüstri, tarım ve çevre sektörlerinde giderek artmaktadır. Kireç tarımda toprak pH sını ayarlamada kullanılır (Çiçek,1999).

Tarımda kireç (tarımsal kireçtaşı), toprakların pH düzeyini düzenlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir toprak düzenleyicisidir. Genellikle kalsiyum karbonat (CaCO₃) veya magnezyum karbonat (MgCO₃) içerir ve asitleşmiş toprakları nötralize ederek bitkiler için daha uygun bir büyüme ortamı sağlar. Asidik toprak koşulları, birçok bitki türü için besin maddelerinin alımını zorlaştırır ve toksik elementlerin (örneğin, alüminyum) çözünürlüğünü artırır. Kireç uygulaması, bu olumsuz etkileri azaltarak kök gelişimini teşvik

eder, besinlerin biyoyararlılığını artırır ve toprak mikrobiyal aktivitesini destekler. Sonuç olarak, ürün verimliliğinde ve toprak sağlığında gözle görülür iyileşmeler sağlanabilir.



Şekil 6. Kireç – kullanılmış fındık bahçesi

Ayrıca, tarımsal kireç uygulaması bitki beslenmesinde dolaylı bir rol oynar. Kireç, kalsiyum ve magnezyum gibi ikincil makro besin elementlerini sağlayarak toprak besin dengesini iyileştirir. Özellikle kireçleme, gübrelerin etkinliğini artırarak fosforun yarıyışlılığını yükseltir ve azot kayıplarını azaltır. Kireç uygulamaları, toprak yapısını da olumlu etkileyerek daha iyi havalanma, su tutma kapasitesi ve kök penetrasyonu sağlar. Bu yönleriyle kireç, sürdürülebilir tarım sistemlerinde toprak verimliliğinin korunması ve iyileştirilmesi açısından stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir (Snyder vd., 2009).

Pomza

Pomza üretimi ocaklarında açık işletme şeklinde yapılmakla birlikte yükleyici olarak loderler kullanılmaktadır (Korkmaz & Kayıran, 2022).

Pomza gelişmiş birçok ülkede tarımda kuraklık etmenine karşı başvuru yöntemlerinden biridir. Su tutma kapasitesi ve bünyesine aldığı suyu uzun süre muhafaza etmesinin sağladığı nemli ortamdan dolayı kuraklığa karşı yaygın olarak kullanılmaktadır. Pomza tarımda geliştirilmiş perlit ve kile göre daha düşük maliyetlidir. Bu nedenle hem maliyeti düşük olduğundan hem de bitkiler için önemli bir hammadde olduğu için tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Pomza bünyesinde tuttuğu suyu, nemi, bulunduğu ortama

göre ayarlayabilen gerektiğinde bitkiye verebilen bir hammaddedir. Bu alanda kullanımı için, birtakım özelliklerinin uygunluğunun (su tutma kapasitesi, besin emme özelliği, gözeneklilik durumu, granül yapısı, görünür yoğunluğu vb) analizi gerekmektedir. Bu analizlerden evvel tane boyutu uygunluğu yeterli, aynı özelliklerde rezerv miktarı tespiti de önemlidir. Pomzanın başka bir özelliği ise sıvı gübre kullanımı durumunda pomza gübre kaybını minimuma indirir ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine de mâni olur.



Şekil 7. Pomzanın besi ortamına eklenmesi

Pomza taşı, eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde modern tarımda giderek daha değerli bir kaynak haline gelmiştir ve toprak sağlığını iyileştirerek bitki verimliliğini artırmada önemli rol oynamaktadır. Hafif ve yüksek oranda gözenekli yapısı sayesinde toprağın havalanmasını, drenajını ve su tutma kapasitesini artırır; bu da özellikle hava alışverişinin yetersiz olduğu ağır killi ya da sıkışmış topraklarda kök gelişimini olumlu yönde etkiler. Pomza parçacıkları, fazla suyun dışarı atılmasını sağlarken aynı zamanda yeterli miktarda nemi koruyarak bitki kök bölgesinde ideal şartların devam etmesini sağlar. Şahin & Anapali, (2006) ve Nugraha vd., (2022) gibi araştırmalar, tarım topraklarına pomza eklenmesinin toprak yapısını, gözenekliliği ve besin elverişliliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini, bunun da bitki büyümesi ve verimde artış sağladığını ortaya koymuştur. Pomza zamanla bozulmadığı veya sıkışmadığı için uzun ömürlü bir toprak düzenleyici olup sürdürülebilir arazi yönetimine katkı sağlar. Nötr pH değeri ve inert (tepkisiz) yapısı sayesinde toprak kimyasını olumsuz etkilemez, hatta gübrelerle birlikte kullanıldığında

ani pH değişimlerine karşı tampon görevi görebilir. Günümüzde pomza, topraksız tarım ve seracılıkta da yaygın olarak kullanılmakta; tohum çimlendirme ve köklenme ortamı olarak steril, hastalıklara dirençli bir substrat sunmaktadır. Ayrıca, pomza kompostlama ve hayvan altlığı uygulamalarında da koku azaltıcı ve atık yönetimini kolaylaştırıcı özellikleriyle kullanılmaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte artan su kıtlığı ve toprak bozulması gibi sorunlar göz önüne alındığında, tarım sektörü su verimliliğini artırmak, gübre kayıplarını azaltmak ve dirençli üretim sistemleri kurmak amacıyla pomzayı doğal ve ekonomik bir çözüm olarak benimsemektedir. Bu nedenle, pomzanın sürdürülebilir tarımdaki rolünün önümüzdeki yıllarda daha da büyümesi beklenmektedir.

Sonuç

Endüstriyel hammaddelerin tarım sektöründe kullanımı, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren tarımsal üretimin yapısını köklü biçimde değiştirmiştir. Geleneksel yöntemlerin sınırlı verim kapasitesi karşısında, kimyasal girdilerden biyoteknolojik ürünlere kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılan endüstriyel malzemeler, tarımsal üretimin hem miktar hem de kalite açısından artmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu katkılar, sadece üreticilerin ekonomik kazancını değil, aynı zamanda artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik küresel çabaları da desteklemektedir.

Kimyasal gübreler ve pestisitler, bitki beslenmesini optimize ederken zararlı organizmalarla mücadeleyi mümkün kılmış; plastik tabanlı malzemeler, sulama sistemlerinden seracılığa kadar birçok alanda tarımsal süreçleri kolaylaştırmış; enerji kaynakları, makineli tarımı yaygınlaştırarak üretim kapasitesini artırmış; biyoteknolojik hammaddeler ise genetik müdahaleler yoluyla iklim değişikliği, kuraklık ve hastalık gibi çevresel tehditlere karşı daha dirençli bitkiler yetiştirilmesini mümkün kılmıştır. Tüm bu gelişmeler, endüstriyel hammaddelerin günümüzde modern tarımın ayrılmaz bir parçası haline geldiğini ortaya koymaktadır.

Ancak, bu teknolojilerin bilinçsiz veya aşırı kullanımı beraberinde ciddi riskleri de getirmektedir. Toprak ve su kirliliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, doğal kaynakların tükenmesi ve insan sağlığına yönelik tehditler, endüstriyel tarımın karşı karşıya olduğu temel sorunlardan bazılarıdır. Özellikle kimyasal atıkların kontrolsüz bir şekilde çevreye bırakılması, pestisit kalıntılarının gıda

zincirine karışması ve plastik atıkların doğada çözünmeden kalması gibi problemler, yalnızca üretim alanlarını değil, genel ekosistemi tehdit eder hale gelmiştir. Benzer şekilde, biyoteknolojik müdahalelerin etik ve sosyal boyutları da toplumlar tarafından tartışılmakta; bu durum, bilimin sınırları ile doğaya müdahalenin meşruiyeti arasında hassas bir denge kurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle, tarımda endüstriyel hammaddelerin kullanımı yalnızca teknik bir uygulama olarak değil, aynı zamanda sosyal, çevresel ve etik boyutları olan çok yönlü bir mesele olarak ele alınmalıdır. Sürdürülebilir tarım politikalarının oluşturulması, bu hammaddelerin kullanımına dair yasal ve çevresel denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, üreticilere yönelik eğitim programları ile bu girdilerin doğru, dengeli ve verimli kullanımı teşvik edilmeli; yenilenebilir enerji kaynakları, biyolojik mücadele yöntemleri ve organik alternatifler gibi çevre dostu uygulamalar desteklenmelidir.

Sonuç olarak, endüstriyel hammaddeler tarımsal üretimin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu gelişimin sürdürülebilir, sağlıklı ve çevreyle uyumlu bir biçimde devam edebilmesi için bilinçli kullanım ve kapsamlı politika desteği şarttır. Bilimsel gelişmelerle tarımı desteklerken, doğanın sınırlarını gözetken bir yaklaşım benimsemek, geleceğin tarımını güvence altına almanın en temel koşuludur.

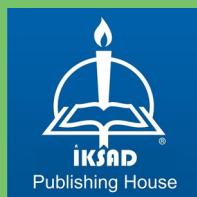
KAYNAKÇA

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1.
- Altieri, M. A. (2001). *Genetically Engineered Crops: The Ecological and Social Implications*. Organic Center.
- Altieri, M. A. (2005). The myth of coexistence: Why transgenic crops are not compatible with agroecologically based systems of production. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25(4), 361–371.
- Andow, D. A. (2008). The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. *Collective Research*, 1(1), 57–64.
- Ayberk, M. (1995). Perlitin yapı gereci olarak kullanımı ve yapı maliyetine etkisi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir*, 203-206.
- Bläsing, M., & Amelung, W. (2018). Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the total environment*, 612, 422-435.
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2018). GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996–2016. *PG Economics Ltd*.
- Burney, J. A., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 1848–1853.
- Çiçek, T. (1999). Kireç ve kullanımı, 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 184-194.
- Domingo, J. L., & Bordonaba, J. G. (2011). A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environment International*, 37(4), 734–742.
- EU Parliament. (2015). Regulation (EU) No 2015/412. *Official Journal of the European Union*.
- Fan, J. (2022). Research on the Drivers of Agricultural Carbon Emissions and Decoupling Effects in Jiangsu Province, China.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2011). *Energy-smart food for people and climate: Issue paper*. Rome.

- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*.
- Gleick, P. H. (2003). Water use. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 275-314.
- Gülen, J., Zorbay, F., & Arslan, S. (2012). Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 63-68.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2015). *Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus*. Abu Dhabi.
- IRENA. (2016). *Renewable Energy Benefits: Decentralised Solutions in the Agri-food Chain*. Abu Dhabi.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). (2023). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2023 Brief*.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A. (1997). Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16-17.
- James, C. (2014). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014*. ISAAA Brief No. 49.
- Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for sustainable development*, 32(2), 501-529.
- Korkmaz, A. V. (2019). Yozgat Yöresi Tüflerinin Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Yerbilimleri*, 40(3), 253-267.
- Korkmaz, A. V. (2022). Mechanical activation of diabase and its effect on the properties and microstructure of Portland cement. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00868.
- Korkmaz, A. V., & Kayıran, H. F. (2022). Investigation of mechanical activation effect on high-volume natural pozzolanic cements. *Open Chemistry*, 20(1), 1029-1044.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981-990.
- Lamont, William James. "Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops." *HortTechnology* 15.3 (2005): 477-481.

- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555.
- Paarlberg, R. (2009). *Starved for Science: How Biotechnology is Being Kept Out of Africa*. Harvard University Press.
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, development and sustainability*, 7(2), 229-252.
- Sintim, H. Y., & Flury, M. (2017). Is biodegradable plastic mulch the solution to agriculture's plastic problem?
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?. *Science of the total environment*, 550, 690-705.
- Taiz, L., Zeiger, E., Möller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Tiwari, G. N., & Ghosal, M. K. (2005). *Fundamentals of Renewable Energy Sources for Thermal Applications*. Narosa Publishing House.
- Agarwal, P., Saha, S., & Hariprasad, P. (2023). Agro-industrial-residues as potting media: Physicochemical and biological characters and their influence on plant growth. *Biomass conversion and biorefinery*, 13(11), 9601-9624.
- Singh, V. K., Malhi, G. S., Kaur, M., Singh, G., & Jatav, H. S. (2022). Use of organic soil amendments for improving soil ecosystem health and crop productivity. *Ecosystem services*, 12, 45.
- Kassam, A., & Kassam, L. (Eds.). (2020). *Rethinking food and agriculture: New ways forward*. Woodhead Publishing.
- Perlite, 2025, <https://perlite.com/top-5-applications-of-perlite-in-modern-agriculture/>
<https://nperlite.com/perlite/agriculture-horticulture/>

- Dehn, J., & McNutt, S. R. (2015). Volcanic materials in commerce and industry. In *The encyclopedia of volcanoes* (pp. 1285-1294). Academic Press.
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., ... & Mattii, G. B. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11(8), 1547.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247-266.
- Sahin, U., & Anapali, O. (2006). Addition of pumice affects physical properties of soil used for container grown plants. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(2), 59-64.
- Nugraha, S. S., Sartohadi, J., & Nurudin, M. (2022). Field-Based Biochar, Pumice, and Mycorrhizae Application on Dryland Agriculture in Reducing Soil Erosion. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 1775330.
- <https://injectionmouldingworld.com/plasticulture-the-pseudonym-for-plastics-and-agriculture-combined/>
- <https://www.ecomena.org/agriculture-renewables/>
- <https://www.solutionbuggy.com/blog/biotechnology-and-biomanufacturing-facility-setup-guide>



ISBN: 978-625-378-322-8