

TARIM VE HAYVANCILIKTA DEĞİŞEN DİNAMİKLER: İKLİM, TEKNOLOJİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARGİN



TARIM VE HAYVANCILIKTA DEĞİŞEN DİNAMİKLER: İKLİM, TEKNOLOJİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARĞIN

YAZARLAR

Prof. Dr. Sezai ALKAN

Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN

Prof. Dr. Şeyda ZORER ÇELEBİ

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Prof. Dr. Zehra EKİN

Doç. Dr. Cemal BUDAĞ

Doç. Dr. Halit Deniz ŞİRELİ

Doç. Dr. Siyami KARACA

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARĞIN

Dr. Öğr. Üyesi Zübeyir AĞIRAĞAÇ

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI

Dr. Savaş DEMİR

Arş. Gör. Metehan AYDIN

Zir. Yük. Müh. Ahu KILAVUZ

Zir. Yük. Müh. Mehmet Can DİKİCİ

Zir. Yük. Müh. Talha KİTAPÇI

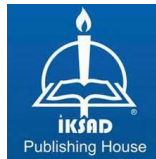
Doktora Öğrencisi İrfan İNAN

Aşkın BAHAR

Hamdullah Serhat BULAK

İrfan İNAN

Sercan DÜZGÜN



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: 978-625-378-552-9
Cover Design: Şeyda ÇAVUŞOĞLU
December / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
BÖLÜM 1	
TÜRKİYE’NİN KURAK BÖLGELERİNDE ARGAN AĞACI (<i>Argania spinosa</i> L.) YETİŞTİRİLEBİLME DURUMU	
Aşkın BAHAR.....	3
BÖLÜM 2	
TÜRKİYE’DE SEBZE ÜRETİMİNDE TÜR VE ÇEŞİT TERCİHLERİ (2015–2025): BÖLGESEL TRENDLER, YERLİ F1 TOHUM KULLANIMI VE TEKNİK DÖNÜŞÜM	
Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI.....	19
BÖLÜM 3	
ENGİNARIN BESİN DEĞERİNİ VE TAZELİĞİNİ KORUMA YÖNTEMLERİ: MUHAFAZA VE DEPOLAMA TEKNİKLERİ	
Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU	
Prof. Dr. Yusuf UZUN.....	45
BÖLÜM 4	
TARIMSAL TAHMİNLEMEDE YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMI	
Zir. Yük. Müh. Talha KİTAPÇI	
Dr. Öğr. Üyesi Zübeyir AĞIRAĞAÇ	
Prof. Dr. Şeyda ZORER ÇELEBİ.....	87
BÖLÜM 5	
REZENE (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.)	
Dr. Savaş DEMİR	
Prof. Dr. Zehra EKİN.....	105
BÖLÜM 6	
KENGER (<i>Gundelia tournefortii</i> L.): BİYOLOJİ, KULLANIM ALANLARI VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ	
Dr. Savaş DEMİR	
Prof. Dr. Zehra EKİN.....	129

BÖLÜM 7

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN RİZOBAKTERİLER (PGPR): MEKANİZMALAR, UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Zir. Yük. Müh. Ahu KILAVUZ.....149

BÖLÜM 8

TOPRAK ANALİZLERİNDE YAKIN KIZILÖTESİ YANSIMA SPEKTROSKOPİSİ (NIRS) KULLANILABİRLİĞİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Zir. Yük. Müh. Mehmet Can DİKİCİ

Doç. Dr. Siyami KARACA

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARGİN.....167

BÖLÜM 9

AÇIK KAYNAK KODLU CBS YAZILIMLARININ TOPRAK BİLİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi. Bulut SARGİN

Doç. Dr. Siyami KARACA

Arş. Gör. Metehan AYDIN.....187

CHAPTER 10

GLOBAL WARMING AND RUMINANT NUTRITION: HEAT-ADAPTED FEEDING, GHG MITIGATION, AND SUPPLY-CHAIN PERSPECTIVES

Assoc. Prof. Dr. Cemal BUDAĞ.....209

BÖLÜM 11

YENİ ORTAYA ÇIKAN KİRLETİCİLERİN HAYVAN BESLEMEDE ÖNEMİ: KAYNAKAR, ETKİLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM PERSPEKTİFLERİ

Cemal BUDAĞ.....227

BÖLÜM 12

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YEM KALİTESİ, HAYVAN BESLEME VE SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNE ETKİLERİ: BÜTÜNCÜL BİR DEĞERLENDİRME

Doç. Dr. Cemal BUDAĞ.....253

BÖLÜM 13

ÇİFTLİK HAYVANLARINDA YAPAY ZEKA İLE SESLERİN ANALİZİ

Doktora Öğrencisi İrfan İNAN

Doç. Dr. Halit Deniz ŞİRELİ.....283

BÖLÜM 14

ÇİFTLİK HAYVANLARINDA MİKRO VE NANO PLASTİKLERİN ETKİLERİ

İrfan İNAN.

Doç. Dr. Halit Deniz ŞİRELİ.....311

BÖLÜM 15

ARICILIK İŞLETMELERİNİN GENEL YAPISININ BELİRLENMESİ

Hamdullah Serhat BULAK

Prof. Dr. Sezai ALKAN.....335

BÖLÜM 16

DOĞANIN DAYANIKLI KANATLI HAYVANI: BEÇ (GİNE) TAVUĞU (*Numida meleagris*)

Prof. Dr. Sezai ALKAN.....363

BÖLÜM 17

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ'NİN EKONOMİK BÜYÜME VE İSTİHDAMA ETKİSİ

Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN

Sercan DÜZGÜN.....393

ÖNSÖZ

Çağımızda, bilimsel ilerlemenin yalnızca laboratuvar duvarları arasında kalmadığı, doğrudan yaşamın devamlılığı ve geleceği ile örtüştüğü kritik bir dönemi işaret etmektedir. Gezegenimizin maruz kaldığı çevresel baskılar, hızla tükenen doğal kaynaklar ve her geçen gün artan küresel gıda talebi, tarımsal üretimden ekolojiye kadar pek çok alanda köklü stratejik değişiklikleri ve yeni paradigmaları zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda fen ve mühendislik bilimleri, salt verimlilik arayışının ötesine geçerek; ekosistemi koruyan, etik değerleri gözeten ve bütüncül çözümler üreten bir misyon yüklenmiştir.

İncelemekte olduğunuz bu eser, modern tarım ve yaşam bilimlerinin bu yeni misyonuna ışık tutmak amacıyla kaleme alınmıştır. “Tarım ve Hayvancılıkta Değişen Dinamikler: İklim, Teknoloji ve Sürdürülebilirlik” başlıklı kitabımız, teorik çerçevenin sınırlarını aşarak; yenilikçi teknolojilerin, saha pratiklerinin ve sürdürülebilir metotların bilimsel süreçlere nasıl entegre edildiğini irdeleyen kapsamlı analizlerden oluşmaktadır. Alanında yetkin araştırmacıların titiz çalışmalarıyla şekillenen her bir bölüm, mevcut problemlere akılcı ve uygulanabilir çözümler getirmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmanın, akademik camiaya ve sektör profesyonellerine yeni ufuklar açmasını; doğayla uyumlu, dirençli ve verimli üretim modellerinin geliştirilmesine rehberlik etmesini umuyoruz. Eserimiz, 20 yazarın katkısıyla hazırlanmış olup 17 kitap bölümünden oluşmaktadır. Bilgi birikimlerini ve deneyimlerini cömertçe paylaşan değerli yazarlarımıza ve bu eserin okuyucuyla buluşmasında emeği geçen herkese şükranlarımızı sunar, kitabın bilim dünyasına kalıcı katkılar sağlamasını dileriz. Saygılarımızla,

Aralık 2025

Prof. Dr. Yusuf UZUN

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARGİN

BÖLÜM 1

TÜRKİYE’NİN KURAK BÖLGELERİNDE ARGAN AĞACI (*Argania spinosa* L.) YETİŞTİRİLEBİLME DURUMU

Aşkın BAHAR¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18127754>

¹Selçuk Üniversitesi, Silifke-Taşucu M.Y.O. Bahçe Tarımı Programı, 33900-Taşucu-Türkiye, e-mail: askinbahar@selcuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1809-1700>

GİRİŞ

Son yıllarda Türkiye’de küresel ısınmanın olumsuz sonuçlarını belirgin olarak görmek mümkündür. Her tarafı nehirlerle kaplı olan ülkede bu akarsu kaynaklarında ve göllerde kurumalar, taban suyunda çekilmeler belirgin olarak gözlenmektedir. Birçok bahçe sulama imkanındaki güçlüklerden dolayı kurumaya terk edilmiş, sulu tarım yapan alanlarda kuru tarım ürünleri yetiştirilmeye başlanmıştır. Küresel ısınma sonucunda su miktarının azalması ile birlikte tarım alanlarında ayrıca tuzlanma, buna bağlı olarak yetiştirilen ürünlerde verim ve kalitede düşüşler söz konusudur. Özellikle Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde kısmen çölleşmeler, Ege, Marmara ve Doğu Anadolu Bölgelerinde ise su sıkıntıları başlamıştır. Kışları ılık ve yağışsız geçmekte, barajlarda doluluk oranı düşmekte, taban suyu seviyesi giderek aşağıya çekilmektedir. Bu durum içme suyu ve tarımsal su kullanımı açısından en önemli problem durumuna gelmiştir. Bölgesel olarak küresel ısınmanın artışında özellikle artan nüfus, yerleşim alanları ve tüketim, sanayileşme, bilinçsizce tarımsal sulama yapılması, büyük orman yangınları en önemli nedenler arasında sayılabilir.

Bütün bu durumlar neticesinde, suyun verimli kullanılmasının yanında tarımsal olarak oluşan bu kurak alanlarda, susuzluğa dayanıklı, hiç sulama ihtiyacı olmayan bitkilerden elde edilecek olan tarımsal ürünlerin alternatif olarak yetiştirilmesinin değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Tarımsal sulamadaki kısıtlılık neticesinde, kurak alanlara adaptasyonu çok iyi olan argan bitkisinin Türkiye’de bu alanlar için alternatif bitki olarak kullanılması değerlendirilebilir niteliktedir.

Argan ağacı (*Argania spinosa* (L.) Skeels), tropikal kökenli Sapotaceae familyasına ait, dünyada doğal yayılış alanı sadece Fas’ın güneybatısında Agadir ile Cezayir’in Tindouf bölgelerinde kurak ve yarı kurak ekolojilerde yetişen, çok yönlü yağ, hayvan yemi, yakacak, kozmetik ve tıbbi olarak kullanılan, ekolojik önemi ile dikkat çeken, özellikle Amazigh (Berberi) kadınlar için önemli bir gelir ve istihdam kaynağı olan, çok eski endemik bir türdür. Yaklaşık 800 bin hektarlık alanda 20 milyon civarında ağaç bulunmaktadır. Yavaş büyüyen ve dikenli bir ağaç olan argan, 8-10 metreye kadar boylanabilmekte ve 150-200 yıl yaşayabilmektedir (Morton ve Voss,

1987; Charrouf ve Guillaume, 2008; Msanda ve ark., 2005; Swenson ve Anderberg, 2005). Tunus gibi ülkelerde denemeler yapılarak yetiştirilmeye başlanmıştır (Louati vd., 2019). Küresel ısınma, keçi yetiştiriciliği için aşırı otlatma ve artan nüfusa bağlı ekolojik bozulmalar, argan bitkisinin geleceği için önemli tehditler oluşturmaktadır (Lybbert ve ark., 2002; Zunzunegui ve ark., 2010; Fassih ve ark., 2025).

Türkiye'nin İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinin iç kesimleri gibi alanlar, özellikle kurak, sıcak iklimin ve kötü toprak koşullarının hakim olduğu Fas ve Cezayir'deki doğal argan yaşam alanları ile benzer iklim ve toprak koşullarına sahiptir. Bu derleme çalışmada, argan ağacının Türkiye'deki kurak alanların değerlendirilmesi, çölleşme ile mücadele ve yerel halkın bölgesel kalkınması konularında bir alternatif olabileceği önerisinde bulunmaktadır.



Şekil 1. Dünyada argan ağacının yetiştiği alanlar (Anonim, 2025a).



Şekil 2. Argan ağacı (Anonim, 2025a).



Şekil 3. Argan yaprak ve meyveleri (Anonim, 2025a).



Şekil 4. Argan ağaçları, Agadir (Fas) (Anonim, 2025b).

İKLİM VE TOPRAK İSTEKLERİ

Deniz seviyesinden 1500 metreye kadar olan yüksekliklerde, kıyı ovalarından dağlık bölgelere kadar farklı habitatlarda bulunabilir. En yaygın ve verimli ağaç grupları 200 ile 800 metre arasındaki rakımlarda yetişmekte olup, daha düşük rakımlarda sıcak ve kuraktan olumsuz etkilenmeleri söz konusudur (M'Hirit ve ark., 1998). Argan ağacı, özellikle kurak bölgelerde sıcak, güneye bakan yamaçları tercih etme eğilimindedir. Dik yamaçlarda kuvvetli kök sistemi ile toprağı tutarak erozyonu önlerler (Nouaim, 2005).

Argan ağacı kuraklığa karşı çok dayanıklı olup, kış aylarında Ekim-Nisan ayları arasında yaklaşık 100- 300 mm civarında yağış ister (Louati ve ark., 2019). Argan ağacı, doğal olarak yetiştiğı bölgelerde kalın yaprak yapısı ve kütikulası nedeni ile yaz aylarında 50°C'ye yükselen sıcaklıklara dayanabilmektedir Ayrıca böylelikle terleme ve buharlaşmayla su kaybı daha az olmaktadır (Bani-Aameur ve Dupuis, 1999; Wright ve ark., 2004; Poorter ve ark., 2009). Okyanus etkisinin olduğu alanlarda ise yaprak daha büyük olup fotosentez oranı artmaktadır (Kassout ve ark., 2024). Optimum sıcaklık isteğı ise 23°C ile 30°C arasındadır. -5°C'nin altındaki sıcaklıklarda ise ağaçlar dondan zarar görürler (Nouaim, 2005). Terral ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık arttıkça su ve besin maddelerini taşıyan iletim borularının azaldığı, böylelikle bitkinin su kaybına karşı kendini koruyabildiğı tespit edilmiştir. Argan bitkisi genelde yaprak dökmeyen bir tür olmasına rağmen çok uzun ve şiddetli sıcaklıklarda su kaybına karşı koruma amaçlı yaprak dökülebilmektedir.

Argan ağaçları açık güneşli alanlarda yetişmektedir. Yüksek ışık miktarı argan bitkilerinde fotosentez artışını sağlayarak kaliteli meyvelerin oluşmasını sağladığı gibi çiçek gözü oluşumunu da arttırmaktadır. Işığın az olması vejetatif gelişimin zayıflamasına neden olur (Bani-Aameur, 2000).

Argan ağacı, fakir, sığ, taşlı, şist, kuvarsit, kireçtaşı, alüvyon ve tuz içeren topraklarda yetişebilir (Nouaim ve ark., 1991; Louati ve ark., 2019). Su baskını olan veya aşırı nemli ağır killi topraklarda kökte çürümeler görülebilir (Msanda ve ark., 2005). Argan ağacının kurağa dayanıklı olmasındaki en büyük neden 8 m'den daha aşağıya inebilen ve yatay olarak da çok iyi toprak içinde yayılabilen güçlü kök yapısıdır (Bani-Aameur ve Dupuis, 1999; Meslem ve

ark., 2015). Böylelikle derinlerde bulunan sulardan faydalanabilmektedir. Optimum büyüme için en az 1.5-2 metre derinliğinde topraklar gereklidir. Sığ, kayalık topraklarda bile, ağaç çatlaklar arasında kök salarak hayatta kalabilir, ancak bu durumda büyümesi bodurlaşır ve verimi düşer. Argan ağacının yetiştiği topraklar fosfor ve azot başta olmak üzere genelde besin maddesi yönünden fakir topraklardır (Boukhoubza, 1990). Tunus'ta yapılan bir çalışmada, kumlu, mil ve kil içeren tınlı ortamda pH'ı 6.2 ile 8.3 arasında yetişebildiği belirlenmiştir. Elektriksel iletkenliği 4 mmhos/cm'ye kadar olan hafif tuzlu topraklarda yetiştirilebilir (Louati ve ark., 2019). Yüksek kireç içeriğine (%40'a kadar toplam kireç) sahip topraklarda da gelişim gösterebilmesine rağmen, aktif kireç oranının %10'u aştığı durumlarda demir kloroz riski ortaya çıkabilir. Ağaç, nötral ila hafif alkali pH koşullarını tercih eder. Hafif asidik topraklara tolerans gösterebilir, ancak güçlü asidik veya aşırı alkali (tuzlu) topraklar uygun değildir (Louati ve ark., 2019; Msanda ve ark., 2005).

Argan bitkisi köklerindeki mikoriza mantarlarıyla simbiyotik yaşam sayesinde kök yüzey alanını genişleterek, özellikle fosfor olmak üzere su ve besin maddelerinin alımını büyük ölçüde artırır. Bu durum bitkinin kurak, besin açısından fakir topraklarda hayatta kalmasını kolaylaştıran ana nedenlerden biridir (Bouamri vd., 2006; Ouallal vd., 2018).

ÇİÇEKLENME VE MEYVE TUTUMU

Argan ağaçları küçük yeşilimsi-sarı çiçekleri ile başta bal arısı olmak üzere diğer birçok böceklerle tozlanma ve döllenme işlemini gerçekleştirerek meyve tutumunu ve yağ miktarını artırırlar (Bani-Aameur, 2000). Argan ağacının çiçekleri, yaprak koltuklarından demet (simöz) halinde çıkan, erdişi (hermafrodit), 5 çanak, 5 taç, 5-15 arası erkek organ, 5 karpelli ve her karpel içersinde bir ile üç arasında tohum taslağı taşıyan üst durumlu yumurtalığı bulunan bir dişi organa sahiptir. Genel olarak, çiçeklenme Eylül sonu ile Aralık ayı arasında başlamakla birlikte en fazla Mart ayında görülür. Bu durum, aynı ağaç üzerinde farklı büyüklüklerde meyvelerin oluşmasına neden olur (Bani-Aameur, 2002; Kenny, 2007).

HASAT VE DEPOLAMA

Argan meyvelerinin optimum hasat zamanı genellikle meyvelerin tam olarak olgunlaştığı ve sarı renge döndüğü, ancak ağaç üzerinde kurumaya veya düşmeye başladığı dönemdir. Fas'ta bu dönem, genellikle ağaçların yetiştiği bölgeye göre değişmekle birlikte Temmuz Eylül ayı arasındaki dönemdir. Uygun olmayan hasat zamanı ve yöntemleri, sadece o yılın verimini değil, aynı zamanda ağacın gelecekteki üretkenliğini de olumsuz etkileyebilir. Hasat yere düşen meyvelerin elle toplanması, ağaçların silkelenmesi veya keçi dışkılarından çekirdek toplanması şeklindedir. Yerden veya keçi dışkılarından toplama kontaminasyon nedeniyle hijyenik değildir. Hasat edilen meyveler, temiz, havadar ve gölge bir alanda serilerek meyvelerdeki su oranı %8-10 seviyesi olana kadar kurutulur. Taze meyvelerde yüksek su içeriğinden dolayı küflenmeye ve fermantasyona uğrayarak bozulabilir. Kurutmada doğrudan güneş ışığı, yağ kalitesini olumsuz etkileyebileceğinden tercih edilmez. Kalite kontrolü ve verimliliği artırmak için 40-50°C kurutma ortamını sağlayabilen çeşitli mekanik kabin veya tünel tipi kurutucular kullanılabilir. Kurutulmuş argan meyveleri veya çekirdekleri, serin, kuru ve karanlık bir ortamda, hava geçirgenliği olan torbalar veya çuvallar içinde 15°C'nin ve %60'ın altında sıcaklık ve nispi nem içeren ortamlarda bir yıla kadar depolanabilirler. Bu koşullar, yağ asitlerinin oksidasyonunu ve besin kaybını en aza indirerek, yağ kalitesini ve raf ömrünü korur (El Adlouni ve ark., 2006; Charrouf, ve Guillaume, 2008; Harhar ve ark., 2010; Harhar ve ark., 2011; Louati ve ark., 2019).

KULLANIM ALANLARI

Argan ağacının en değerli ürünü, kozmetik, mutfak ve tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan argan yağıdır. Dünya toplam argan yağı üretimi 18 bin ton civarındadır. Genetik yapıya ve çevre koşullarına göre çekirdekteki yağ oranı %45–60 arasında değişir. Bu yağ Fas mutfağında ekmek, salata, yemeklerde, tıp, gıda ve kozmetik sektöründe yüzyıllardır kullanılmaktadır. Argan yağı doymamış yağ asitlerinden %45–50 oranında oleik asit, %30–35 oranında linoleik asit ve (%15–20) oranında ise doymuş yağ asitleri, yüksek miktarda E vitamini (özellikle γ - tokoferol), steroller (schottenol, spinasterol) ve fenolik bileşikler içerir. Meyvelerden yağ elde

etmek için tohum etrafındaki sert kabuk kırılır ve aroma için hafifçe kavrulur. Fazla kavrulma yapılırsa antioksidan bileşikler zarar görebilir. Daha sonra ise tohum kısmı taş değirmenlerde öğütülerek hamur haline getirilir, yoğrulur, sıcak su ilave edilerek yağın üste çıkması sağlanır. Daha verimli, hijyenik ve standart tipte yağ elde etmek için ise argan tohumları zeytinyağında olduğu gibi makinelerde işlenir. (Charrouf ve Guillaume, 2002; Charrouf ve Guillaume, 2008; Louati ve ark., 2019). Argan yağının son yıllarda litre fiyatı küresel pazarda değer kazanarak günümüzde yaklaşık 60 dolara kadar ulaşmıştır (Anonim 2025b).



Şekil 5. Argan yağının makine ile çıkarılması (Anonim 2025b).



Şekil 6. Argan yağının geleneksel yöntemlerle çıkarılması (Anonim, 2025c).

Argan yağı içerdiği başta fenoller ve E vitamini olmak üzere diğer bileşenler ile antioksidan, anti-inflamatuar ve anti-kanser önleyicidir. Doymamış yağ asitlerinden özellikle oleik asit ile, kötü kolesterolü, kalp damar hastalıklarını önleyici özelliğe sahiptir. Kan şekerini ve insülin direncini azaltmaktadır. Ağrıları dindirici, sindirimi kolaylaştırıcı, bağışıklık sistemini güçlendirici özelliği vardır. Argan yağı cildi nemlendirme, yumuşatma, yenileme ve özellikle lekeler başta olmak üzere yaşlanmaya karşı koruma özelliğine sahiptir. Ayrıca sivilce, egzama, yanık ve yaraların iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır. Bundan dolayı argan yağını marketlerde cilt-saç bakımı için krem, şampuan, sprej gibi değişik kozmetik ürünü olarak bulmak mümkündür (Charrouf ve Guillaume, 2002).

Argan ağacının odunu, yüksek yoğunluğu nedeniyle "demir ağacı" olarak adlandırılır ve dayanıklılığı ile bilinir (Greenwood ve ark., 2017). Odun, yakacak olarak kullanılmasının yanı sıra, geleneksel tarım aletleri, mobilya ve dekoratif eşyaların yapımında da değerlendirilmektedir (Terral ve ark., 2025).

Argan ağacının yaprakları ve meyveleri, özellikle kurak mevsimlerde keçi ve koyunlar için önemli bir yem kaynağıdır. Hayvanlar aynı zamanda argan meyvelerini tüketerek tohumların yayılmasına katkıda bulunur (Zunzunegui ve ark., 2010).



Şekil 7. Argan ağacı ile keçi beslenmesi, Essaouria, Fas (Anonim, 2025b).

Argan ağacı, yerel Amazigh toplulukları için gelir kaynağı ve kültürel bir simgedir (Kenny, 2007). Argan yağı üretimi, özellikle kadın kooperatifleri aracılığıyla sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamaktadır (Charrouf ve Guillaume, 2008). Argan ağaçları ayrıca birçok endemik bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yaparak biyolojik çeşitliliği korurlar (Msanda ve ark., 2021).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Küresel ısınma neticesinde başta Akdeniz'e kıyısı olan ülkeler olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde kuraklık, yüksek sıcaklık, düzensiz yağışlar ortaya çıkmıştır. Türkiye bu iklim değişikliğinden en fazla etkilenen ülkeler içerisinde yer almaktadır. Bunun neticesinde oluşan bu iklim değişikliği ile tarımsal ürünlerin yetiştiriciliğinde olumsuzluklar meydana gelmiştir. Tarımsal üretimin devamı için sıcağa, kurağa ve tuzluluğa dayanabilen yeni bitki tür ve çeşitlerinin alternatif olarak değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Argan ağacı kurak toprak koşullarına dayanıklı bir bitki olup bu arazilerin değerlendirilmesinde kullanılabilir yapıya sahiptir. Kumlu, tınlı, asidik, bazik, kireçli, tuzlu topraklarda yetiştirilebilmektedir. Argan Fas'ın güneybatısına endemik olarak yaşayan 100-300 mm gibi düşük yağışa ve 50°C'ye varan yüksek sıcaklıklara ve tuzluluğa dayanabilen bir bitkidir (Morton

ve Voss, 1987). Bu dayanıklılığın fazla olması argan ağaçlarının başarılı bir şekilde Fas'tan ayrı olarak Tunus'ta da yetiştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Argan ağacının bu özellikleri, arganın Türkiye'de kurak alanlar için alternatif potansiyel bir bitki olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ağacın mikorizal mantarlarla ortak yaşam sürebilmesi ve böcekleri kendine çekmesi özelliği ile biyolojik çeşitliliği arttıracak, toprak ıslahına olanak sağlayabilecektir.

Ağacın en değerli ürünü olan argan yağı, yüksek besin değeri ve kozmetik özellikleri nedeniyle uluslararası pazarda "sıvı altın" olarak anılmakta ve yüksek ekonomik değere sahip olup, kırsal kalkınmaya önemli katkı sağlayabilir (Charrouf ve Guillaume, 2008). Argan yağı, gıda, kozmetik ve tıbbi amaçlarla kullanılmakta, odunu yakacak ve malzeme olarak değerlendirilmekte, yaprakları ve meyveleri ise hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, argan ormanları erozyon kontrolü, çölleşmeyle mücadele ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi avantajlar sağlayabilmektedir.

Türkiye'de Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri, kuraklık, sıcaklık ve topraktaki tuzluluk artışı yönüyle Fas, Cezayir ve Tunus'ta argan yetiştiriciliği yapılan bölgelerle benzerlik göstermektedir. En büyük risk Türkiye'de kısa süreli de olsa don olaylarının yaşanabilmesi olasılığıdır. Akdeniz Bölgesinde don riskinin az olduğu Adana, Mersin ve Antalya, Gaziantep ve Şanlıurfa, Muğla ve Aydın illerinin düşük rakımlı bölgeleri argan yetiştiriciliği için tercih edilebilir. Fas'tan fidan getirilmesi durumunda soğuğa dayanıklı çeşit ve tipler seçilmelidir. Argan özellikle Türkiye'de kurak alanları değerlendirirken, erozyonu önleyecek, rüzgarların sıcak ve soğuk etkisini en aza indirecek, biyolojik çeşitliliği arttıracak, gerek yağı, gerekse buna bağlı endüstriyel işletmelerin artmasıyla istihdam sağlayacaktır. Argan ürünleri ithalatını azaltarak özellikle argan alanları lavanta yetiştiriciliğinde olduğu gibi agro-turizm bölgeleri durumuna gelebilecektir. Türkiye'de argan yetiştiriciliği için don olayından sonra en fazla öngörülen problemler, ağacın meyve verimine 5-7. yıl arasında başlaması tam verime ise 15-20 yılda ulaşması, başlangıçta verimli, kaliteli ve soğuğa dayanıklı fidan teminindeki güçlükler şeklinde sıralanabilir.

KAYNAKÇA

- Anonim 2025a. The chemistry of argan oil. <https://arganoildirect.com/the-chemistry-of-moroccan-argan-oil>, erişim tarihi: 15 Kasım 2025.
- Anonim 2025b. Argan oil, a popular beauty product, comes with a cost in Morocco. https://icmglt.org/argan-oil-a-popular-beauty-product-comes-with-a-cost-in-morocco/?utm_source=chatgpt.com, erişim tarihi: 10 Kasım 2025.
- Anonim, 2025c. Argan oil. Ethically Sourced Beauty for Women by Women. <https://morroccanelixir.com/blogs/experience/what-you-need-to-know-about-where-your-argan-oil-comes-from>, erişim tarihi; 5 Kasım 2025.
- Bani-Aameur, F. ve Dupuis, P., 1999. Le système racinaire de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels): une adaptation à la sécheresse. Acta Botanica Gallica, 146(1), 5-18.
- Bani-Aameur, F., 2000. Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) flowering and fruiting: a review. Forêt Méditerranéenne, XXI(2), 175-186.
- Bani-Aameur, F., 2002. *Argania spinosa* (L.) skeels flowering phenology. Genetic Resources and Crop Evolution, 49, 11-19.
- Bouamri, R., Dalpé, Y., Serrhini, M. N. ve Bennani, A., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Argania spinosa* (L.) Skeels in Morocco. African Journal of Biotechnology, 5(6), 510-516.
- Boukhoubza, F., 1990. Contribution à l'étude de la nutrition minérale de l'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels). Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, Maroc.
- Charrouf, Z. ve Guillaume, D., 2002. Secondary metabolites from *Argania spinosa*. Phytochemistry Reviews, 1(3), 345-354.
- Charrouf, Z. ve Guillaume, D., 2008. Argan oil: Occurrence, composition and impact on human health. European Journal of Lipid Science and Technology, 110(7), 632-636.
- El Adlouni, C., Tozlovanu, M., Naman, F., Faïd, M. ve Pfohl-Leszkowicz, A., 2006. Preliminary data on the presence of mycotoxins (ochratoxin A and aflatoxin B1) in black table olives and argan oil. Molecular Nutrition and Food Research, 50(6), 507-512.
- Fassih, B., Ait-El-Mokhtar, M., Nait Douch, A., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Aganchich, B. ve Wahbi, S., 2025. The impact of browsing intensity

- on argan trees in the Essaouira region of Morocco. *Journal of Arid Environments*, 231, 105472.
- Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C.D., Fensham, R., Laughlin, D.C., Kattge, J., Bönisch, G., Karaft, N.J.B. ve Jump, A.S., 2017. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecology Letters*, 20(5), 539–553.
- Harhar, H., Gharby, S., Kartah, B., El Monfalouti, H., Guillaume, D. ve Charrouf, Z., 2010. Influence of argan fruit storage period on the quality of argan oil. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 451-454.
- Harhar, H., Gharby, S., Kartah, B., El Monfalouti, H., Guillaume, D. ve Charrouf, Z., 2011. Effect of harvest date of *Argania spinosa* fruits on argan oil quality. *Natural Product Communications*, 6(6), 799-802.
- Kassout, J., Terral, J.-F., Souali, H. ve Ater, M., 2024. Environment-dependent and intraspecific variations in leaf and size traits of a native wild olive (*Olea europaea* L.) along an aridity gradient in Morocco: a functional perspective. *Plant Ecology*, 225, 943–959.
- Kenny, L., 2007. Atlas de l'arganier et de l'arganeraie. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Louati, M., Khouja, A., Ben Abdelkrim, A., Salhi Hannachi, A. ve Baraket, G., 2019. Adaptation of *Argania spinosa* L. in Northern Tunisia: Soil analysis and morphological traits variability. *Scientia Horticulturae*, 255, 220–230.
- Lybbert, T. J., Barrett, C. B. ve Narjisse, H., 2002. Market-based conservation and local benefits: the case of argan oil in Morocco. *Ecological Economics*, 41(1), 125-144.
- M'Hirit, O., Benzyane, M., Bencheikroun, F., El Yousfi, S. M. ve Bendaanoun, M., 1998. L'arganier: une espèce fruitière-forestière à usage multiple. Editions Mardaga, Sprimont, Belgique.
- Meslem, H., Djabeur, A., Kharoubi, O. ve Kaid-Harche, M., 2015. Effect of water deficit on Argan tree seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels): morphological and physiological aspect. *African Journal of Biotechnology*, 14(12), 1020–1028.

- Morton, J. F. ve Voss, G. L., 1987. The argan tree (*Argania sideroxylon*, Sapotaceae), a desert source of edible oil. *Economic Botany*, 41(2), 221-233.
- Msanda, F., El Aboudi, A. ve Peltier, J.P., 2005. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Cahiers Agricultures*, 14, 357-364.
- Msanda, F., El Hassan, M. ve Furze, J.N., 2021. Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 64156-64165.
- Nouaim, R., Chaussod, R., Schabel, C. ve Peltier, J.P., 1991. L'arganier. Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. In: *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides* (pp. 373-388). Groupe d'étude de l'arbre.
- Nouaim, R., 2005. L'arganier au Maroc: entre mythes et réalités. L'Harmattan, Paris.
- Ouallal, I., Abbas, Y., Ech-cheddadi, S., Ouajdi, M., Ouhadach, M., El Yacoubi, H., Benaissa, K., El Goumi, Y. ve Rochdi, A., 2018. Diversité des champignons endomycorhiziens de l'arganier et potentiel mycorrhizogène des sols rhizosphériques des arganeraies du Sud-Ouest marocain. *Bois et Forêts des Tropiques*, 338, 73-86.
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I.J. ve Villar, R., 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 182, 565-588.
- Swenson, U. ve Anderberg, A., 2005. Phylogeny, character evolution, and classification of Sapotaceae (Ericales). *Cladistics*, 21(2), 101-130.
- Terral, J.-F., Creusot, P., Limier, B., Ivorra, S., Bombeau, A., Bernazeau, B., Lochon-Menseau, S., Ater, M., Barbara, H., Girard, V., Pinatel, C., Paradis, L., Testas, J., Kassout, J. ve Garnier, E., 2025. The potential of sap conduction in the olive tree is linked to aridity conditions of the main cultivation area of varieties and allow to uncover their sensitivity to ongoing climate change. *Scientia Horticulturae*, 339, 113856.
- Wright, I.J., Reich, P.B., Westoby, M., Ackerly, D.D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J.H., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P.K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B.B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J.J., Navas, M.L., Niinemets, Ü.,

- Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V.I., Roumet, C., Thomas, S.C., Tjoelker, M.G., Veneklaas, E.J. ve Villar R., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821–827.
- Zunzunegui, M., Ain-Lhout, F., Jáuregui, J., Díaz Barradas, M.C., Boutaleb, S., Álvarez-Cansino, L. ve Esquivias, M.P., 2010. Fruit production under different environmental and management conditions of argan, *Argania spinosa* (L.). *Journal of Arid Environments*, 74(10), 1138–1145.

BÖLÜM 2

TÜRKİYE’DE SEBZE ÜRETİMİNDE TÜR VE ÇEŞİT TERCİHLERİ (2015–2025): BÖLGESEL TRENDLER, YERLİ F1 TOHUM KULLANIMI VE TEKNİK DÖNÜŞÜM

Öğr. Gör. Dr. Rana BAYTİN ALACI¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18127936>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, Van, Türkiye. Orcid No: 0000-0002-2814-2110, ranabaytin@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sebze üretimi, Türkiye'nin tarımsal üretim sisteminde hem ekonomik katkısı hem de gıda güvenliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ülkenin sahip olduğu geniş agro-ekolojik çeşitlilik, farklı iklim kuşaklarında çok sayıda sebze türünün yetiştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, Türkiye'yi hem iç pazarın taze gıda ihtiyacını karşılayan hem de sebze ihracatında bölgesel bir üretim merkezi haline getirmiştir (FAO, 2024).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2023 yılı Bitkisel Üretim İstatistikleri'ne göre, ülkedeki toplam sebze üretimi yaklaşık 31,8 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu üretimin yaklaşık %41'ini domates, %14'ünü biber ve %10'unu hıyar oluşturmaktadır (TÜİK, 2023). Bu veriler, domates ve biberin Türkiye sebze üretiminde hâlâ lider türler olduğunu göstermektedir.

Son on yılda (2015–2025) sebze üretiminde gözlemlenen dönüşüm, yalnızca üretim hacmindeki artışlarla sınırlı kalmamış; üretim teknikleri, çeşit tercihleri ve tohum kaynakları düzeyinde yapısal bir değişimi beraberinde getirmiştir. Özellikle örtü altı yetiştiriciliğin yaygınlaşması, ihracat odaklı hibrit çeşitlerin öne çıkması ve tüketici taleplerindeki farklılaşma, üretim desenini yeniden şekillendirmiştir (HortiDaily, 2025). 2020 sonrası dönemde Akdeniz ve Ege bölgelerinde sera alanlarının artışı, üreticilerin yüksek verimli ve uzun raf ömürlü hibrit çeşitlere yönelmesine neden olmuştur (TAGEM, 2023).

Bu dönüşüm sürecinde, yerli F1 hibrit tohumların geliştirilmesi ve kullanım oranlarının artması, Türkiye'nin tohumculuk sektöründe stratejik bir politika alanı haline gelmiştir. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) verilerine göre, 2000'li yılların başında %10 civarında olan yerli hibrit tohum kullanımı, 2020'lere gelindiğinde birçok türde %60 seviyelerine ulaşmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). OECD'nin Türkiye tarım sektörü inovasyon raporu da bu eğilimi doğrulamakta; yerli hibrit tohumculuk kapasitesinin son on yılda hızla arttığını ve kamu-özel sektör işbirliğiyle geliştirilen yeni çeşitlerin üretime entegre edildiğini belirtmektedir (OECD, 2016).

Özellikle domates, biber, hıyar ve marul gibi türlerde yerli hibrit çeşitlerin yaygınlaşması, hem üretici bağımlılığını azaltmakta hem de iklimsel adaptasyon ve ihracat standartları açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca hibrit üretiminde kullanılan kendine uyumsuzluk sistemleri ve kimyasal sterilite teknikleri, sebze ıslahı alanında teknik kapasitenin yükseldiğini göstermektedir (Karaağaç & Kar, 2016; Arıcı & Kurtar, 2024).

Bu çalışma, 2015–2025 döneminde Türkiye’de sebze üretiminde yaşanan tür bazlı üretim trendlerini, öne çıkan çeşitleri ve yerli F1 tohum kullanım düzeylerini bölgesel ve teknik bağlamda analiz etmeyi amaçlamaktadır. TÜİK istatistikleri, TAGEM raporları, FAO verileri ve sektörel kaynaklar ışığında geliştirilen bu analiz, Türkiye sebze üretim sisteminde ortaya çıkan yapısal dönüşümü betimlemeyi ve geleceğe yönelik stratejik politika önerileri sunmayı hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, Türkiye’de sebze üretiminde 2015–2025 döneminde gözlemlenen tür bazlı üretim değişimlerini, öne çıkan çeşitleri ve yerli F1 hibrit tohum kullanım düzeylerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Analiz, hem nicel hem de nitel veri kaynaklarının bütünleştirildiği bir karma yöntem (mixed-method) yaklaşımıyla yürütülmüştür. Bu yaklaşım, sebze üretimindeki yapısal dönüşümün yalnızca üretim verileriyle değil, aynı zamanda kurumsal ve sektörel dinamiklerle de açıklanmasına olanak tanımaktadır (Creswell & Creswell, 2017).

2.1 Veri Kaynakları

Çalışmanın temel nicel veri seti, Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) Bitkisel Üretim İstatistikleri Portalı üzerinden elde edilmiştir. Bu veriler, 2015–2025 yılları arasında tür bazında üretim hacmi (ton), üretim alanı (hektar) ve örtü altı üretim oranlarını kapsamaktadır (TÜİK, 2023).

Ayrıca Tarım Reformu Genel Müdürlüğü’nün (TRGM) yıllık üretim tahmin raporları ile Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü’nün (TAGEM) yayımladığı *Örtü Altı Sebze Üretimi Envanter Raporu* (2023), bölgesel dağılım ve teknik dönüşüm analizlerinde tamamlayıcı veri kaynakları olarak kullanılmıştır (TRGM, 2024; TAGEM, 2023).

Yerli F1 hibrit tohumların geliştirilmesi ve kullanım oranlarına ilişkin bilgiler ise Tarım ve Orman Bakanlığı'nın resmi duyuruları, Türkiye Tohumcular Birliği'nin (TÜRKTOB) sektörel raporları ve Yalova Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü'nün (BKAE) tescilli çeşit listelerinden derlenmiştir. Bu kurumların yayınladığı veriler, özellikle domates, biber, hıyar, marul ve kavun türlerinde geliştirilen yerli hibritlerin sayısı ve adaptasyon çalışmaları açısından temel kaynak işlevi görmüştür (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020; TÜRKTOB, 2023; Yalova BKAE, 2023).

Ayrıca FAO'nun (2024) *Vegetable Sector Review: Turkey* raporu ve OECD'nin (2016) *Innovation, Agricultural Productivity and Sustainability in Turkey* çalışması, uluslararası karşılaştırma ve politika çerçevesinin belirlenmesinde referans alınmıştır.

2.2 Literatür Taraması

Çalışmada hem Türkçe hem İngilizce akademik literatür kapsamlı biçimde taranmıştır. Literatür taraması DergiPark, AcarIndex, ISHS (International Society for Horticultural Science), HortiDaily, ResearchGate ve Academia.edu platformlarında gerçekleştirilmiştir.

Seçilen yayınlar; üretim trendleri, çeşit tercihleri, hibrit tohum teknolojileri, örtü altı yetiştiricilik sistemleri ve tüketici davranışları gibi alt temaları kapsamaktadır. Öne çıkan çalışmalardan bazıları arasında Abak (2007), Duman, Tüzel ve Appelman (2020), Karaağaç & Kar, 2016 ve Arıcı ve Kurtar, (2024) yer almaktadır. Bu kaynaklar, sebze üretiminde tür tercihlerinin evrimini ve yerli hibrit teknolojilerinin teknik temellerini açıklamada temel referans olarak kullanılmıştır.

2.3 Analiz Yaklaşımı

Analiz süreci, karşılaştırmalı veri analizi ve nitel içerik değerlendirmesi aşamalarından oluşmuştur. TÜİK ve TRGM verileri, tür bazında yıllık üretim hacmindeki değişim oranları (%) üzerinden analiz edilmiştir. Bu analizlerde hem örtü altı hem de açık alan üretim sistemleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çeşit isimleri, teknik özelliklerine (verimlilik, raf ömrü, iklim adaptasyonu, ihracat uygunluğu vb.) göre sınıflandırılmış; hibrit ve açık

tozlanan (OP) çeşitler arasındaki farklar tür bazında incelenmiştir. Yerli F1 tohum kullanım oranları, bölgesel üretim desenleri ve tür bazında hibritleşme düzeyi temelinde karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Nitel veri analizinde üretici davranışları, tüketici eğilimleri ve ihracat stratejileri, literatür bulguları ve sektörel raporlar (ör. TÜRKTOB, 2023; EİB, 2024) ışığında değerlendirilmiştir. Bu bütüncül yaklaşım, Türkiye’de sebze üretiminde 2015–2025 döneminde yaşanan teknik ve kurumsal dönüşümü hem istatistiksel hem de yapısal düzeyde açıklamayı amaçlamaktadır.

3. TÜR BAZLI ÜRETİM TRENDLERİ (2015–2025)

Türkiye’de sebze üretimi, 2015–2025 döneminde hem toplam hacim hem de ürün deseni açısından dikkat çekici bir dönüşüm süreci yaşamıştır. TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri’ne göre, Türkiye’nin toplam sebze üretimi 2015 yılında yaklaşık 30,6 milyon ton düzeyindeyken, 2023 itibarıyla 31,8 milyon tona yükselmiştir (TÜİK, 2023). Bu artış, üretim alanlarındaki genişlemeden çok, verim artışları ve örtü altı sistemlerin yaygınlaşması sayesinde gerçekleşmiştir. Ancak büyüme tüm türlerde eşit olmamış; bazı türlerde istikrarlı artış görülürken, bazı türlerde iklimsel ve ekonomik nedenlerle dalgalanmalar yaşanmıştır (TAGEM, 2023; FAO, 2024).

3.1 Domates

Domates, Türkiye sebze üretiminin en yüksek hacimli türü olma özelliğini korumaktadır. TÜİK verilerine göre 2023 yılında domates üretimi yaklaşık 14,6 milyon ton olup, toplam sebze üretiminin yaklaşık %46’sını oluşturmaktadır (TÜİK, 2023; FAO, 2024). Türkiye bu üretimle dünya sıralamasında Çin ve Hindistan’ın ardından üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2024).

Son dönemde örtü altı üretim maliyetlerindeki artış (özellikle enerji ve gübre giderleri), üreticiyi ihracat odaklı hibrit çeşitlere yöneltmiştir (TAGEM, 2023). Bu dönemde *Alpata F1*, *Salkon F1*, *Nazlı F1* ve *Yaren F1* gibi yerli tescilli hibritlerin yaygınlaştığı görülmektedir (Yalova BKAE, 2023).

3.2 Biber

Biber üretimi Türkiye’de hem açık alanda hem de örtü altında önemli bir paya sahiptir. 2015–2023 arasında üretim miktarı yaklaşık 2,7–2,9 milyon ton arasında seyretmiştir (TÜİK, 2023). Akdeniz bölgesinde kapa ve çarliston tipleri (*Kaptan F1*, *Yalova Çarliston*) öne çıkarken; Güneydoğu Anadolu’da isot ve sanayi tipi biberler (örneğin *Urfa Pul Biberi*) bölgesel markalaşma sağlamıştır. TAGEM’in örtü altı raporları, kapa ve *California Wonder* tiplerinin ihracata uygunluk nedeniyle üretimde ağırlık kazandığını belirtmektedir (TAGEM, 2023).

3.3 Hıyar (Salatalık)

Hıyar üretimi, özellikle *Beith Alpha* ve mini tiplerin yaygınlaşmasıyla örtü altı üretimde önemli artış göstermiştir. TÜİK verilerine göre 2023 yılında toplam üretim 1,35 milyon ton civarındadır (TÜİK, 2023). İhracat pazarları ve şehirli tüketici talepleri, küçük boyutlu ve dayanıklı hibrit çeşitlerin (*Silor F1*, *MiniStar F1*, *Mini Ada F1*) ön plana çıkmasına neden olmuştur (TÜRKTOB, 2023; Yalova BKAE, 2023).

3.4 Patlıcan

Patlıcan üretimi 2015–2023 döneminde görece istikrarlı seyretmiş, yıllık üretim 0,8–0,85 milyon ton bandında gerçekleşmiştir (TÜİK, 2023). *Nazlı F1*, *Kemer* ve *Burak F1* gibi çeşitler örtü altı üretimde yaygınlaşmış; Güneydoğu ve Akdeniz bölgelerinde artan sulama yatırımları verimlilikte kısmi artış sağlamıştır (TRGM, 2024).

3.5 Kabak

Kabak üretimi, örtü altı sistemlerin yaygınlaşmasıyla artış göstermiştir. TÜİK verilerine göre 2023 yılı üretimi yaklaşık 0,73 milyon ton olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2023). Antalya ve Mersin bölgelerinde yıl boyu üretim yapılabilen; *Sakarya F1*, *Sakız* ve *Zeybek F1* gibi çeşitler ön plana çıkmaktadır (TAGEM, 2023; Yalova BKAE, 2023).

3.6 Marul ve Yeşil Yapraklılar

Marul, roka ve tere gibi yeşil yapraklı sebzelerde üretim miktarında belirgin bir artış olmasa da çeşit çeşitliliği ve pazar odaklı üretim artmıştır. Büyükşehir tedarik halkalarında özellikle *Iceberg*, *Lolla Rossa*, *Kıvırcık F1* ve geleneksel *Yedikule* marulu öne çıkmaktadır. Bu eğilim, sağlıklı beslenme ve kısa tedarik zincirlerine dayalı “yerel üretim” trendiyle desteklenmektedir (Güldemir et al., 2020; Duman et al., 2020).

3.7 Soğan, Havuç ve Diğer Depolanabilir Türler

Depolanabilir sebzeler grubunda yer alan soğan ve havuç üretiminde dönemsel dalgalanmalar sürmektedir. 2023'te kuru soğan üretimi yaklaşık 2,3 milyon ton, havuç üretimi ise 0,8 milyon ton civarındadır (TÜİK, 2023). Plansız üretim ve fiyat volatilitesi bu türlerde istikrarsızlık yaratmaktadır. Ancak *Altınbaş F1*, *Ankara Beyazı*, *Nevşehir* gibi çeşitlerde yerli hibritlerin payı giderek artmaktadır (TÜRKTOB, 2023; Yalova BKAİ, 2023).

3.8 Genel Değerlendirme

2015–2025 döneminde Türkiye sebze üretiminde:

- Domates, biber ve hıyar lider türler olmaya devam etmiştir.
- Örtü altı üretim sistemlerinin genişlemesi, özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde hibrit çeşitlerin payını artırmıştır.
- Marul ve yeşil yapraklılarda iç pazar odaklı çeşitlenme yaşanmıştır.
- Soğan ve havuçta depolama ve fiyat dalgalanmaları üretim planlamasını zorlaştırmıştır.

Genel olarak, yerli F1 hibrit çeşitlerin artan payı ve iklimsel adaptasyona dayalı üretim tekniklerinin benimsenmesi, Türkiye sebze üretim sisteminde yapısal dönüşümün ana eksenini oluşturmuştur (TAGEM, 2023; TÜRKTOB, 2023).

Tablo 1. Türkiye’de Başlıca Sebze Türlerinin Üretim Miktarları (2015–2025) (Bin ton; TÜİK 2023 verileri ve 2025 öngörülleri)

Tür / Ürün Grubu	2015 Üretimi	2023 Üretimi	2025 Tahmini*	2015–2023 Değişim (%)	Başlıca Çeşit Örnekleri
Domates	12.615	14.595	14.200	+15,7%	Truva F1, Lerota F1, Salkon F1, Nazlı F1, Pembe Sultan
Biber (tüm tipler)	2.600	2.850	2.900	+9,6%	Kaptan F1, California Wonder, Yalova Charleston
Hıyar (Salatalık)	1.140	1.350	1.400	+18,4%	Silor F1, MiniStar F1, Beith Alpha
Patlıcan	830	850	860	+2,4%	Nazik F1, Kemer, Burak F1
Kabak	650	730	750	+12,3%	Sakarya F1, Sakız, Zeybek F1
Marul ve Yeşil Yapraklılar	1.000 (tah.)	1.050 (tah.)	1.100	+5,0%	Iceberg, Lolla Rossa, Kıvırcık F1, Yedikule
Soğan (kuru)	2.050	2.320	2.350	+13,2%	İmralı, Altınbaş F1, Ankara Beyazı
Havuç	780	800	820	+5,1%	Nevşehir, Ankara Beyazı

* 2025 tahminleri, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (2024) ve TAGEM (2023) raporlarındaki eğilim projeksiyonlarına dayanmaktadır.

Tabloya Dayalı Genel Değerlendirme

- **Domates üretimi**, hâlâ Türkiye sebze üretiminin neredeyse yarısını oluşturmaktadır. 2023 itibarıyla 14,6 milyon tonluk üretimle Türkiye, Çin ve Hindistan’ın ardından dünyanın üçüncü büyük domates üreticisi konumundadır (FAO, 2024).
- **Biber ve hıyar üretimi**, örtü altı sistemlerin yaygınlaşması sayesinde istikrarlı bir artış göstermektedir. Özellikle ihracata uygun hibrit

çeşitlerin (örneğin *California Wonder*, *MiniStar FI*) tercih edilmesi, bu artışı desteklemektedir.

- **Patlıcan üretimi**, görece sabit kalmakla birlikte Güneydoğu ve Akdeniz bölgelerinde sulama yatırımları sayesinde verimlilikte sınırlı artış gözlenmiştir.
- **Kabak üretimi**, Akdeniz bölgesinde yıl boyu üretim yapılabilen örtü altı sistemler sayesinde dikkat çekici bir artış göstermiştir. *Sakarya FI* ve *Zeybek FI* gibi çeşitler bu dönüşümde öne çıkmaktadır.
- **Marul ve yeşil yapraklılar**, üretim hacmi açısından sınırlı artış göstermiş olsa da, çeşit çeşitliliği ve pazar odaklı üretim stratejileriyle dikkat çekmektedir. Özellikle büyükşehir tedarik zincirlerinde *Iceberg*, *Lolla Rossa* ve *Yedikule* gibi çeşitler öne çıkmaktadır (Güldemir et al., 2020; Duman et al., 2020).
- **Soğan ve havuç üretimi**, miktar olarak artış eğilimindedir. Ancak bu türlerde plansız üretim ve fiyat dalgalanmaları, üretim planlamasını zorlaştırmaktadır. Yerli hibrit çeşitlerin (*Altınbaş FI*, *Nevşehir*) yaygınlaşması, bu türlerde teknik dönüşümün başladığını göstermektedir (TÜRKTOB, 2023).

4. ÇEŞİT İSİMLERİ VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sebze üretiminde tercih edilen çeşitler, yalnızca iklim ve coğrafi koşullara değil; aynı zamanda ihracat taleplerine, tüketici beklentilerine ve üretim sistemlerinin teknik altyapısına göre şekillenmektedir. 2015–2025 döneminde örtü altı sistemlerin yaygınlaşması, ihracat odaklı üretimin artması ve yerli hibrit tohum geliştirme kapasitesinin yükselmesiyle birlikte, çeşit tercihleri daha rafine hale gelmiştir (Duman vd., 2020; TAGEM, 2023; TÜRKTOB, 2023).

Aşağıda, öne çıkan türler için yaygın olarak kullanılan çeşit isimleri ve teknik özellikleri sunulmuştur:

Domates

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Lerota F1, Mahserte F1, Truva F1	Salkım hibrit	Yüksek verim, ihracata uygun, raf ömrü uzun
Salkon F1	Salkım hibrit	Soğuk toleransı yüksek, örtü altı uyumlu
Nazlı F1	Pembe hibrit	Tüketici talebine uygun, orta raf ömrü
Pembe Sultan	Açık tozlanan	Geleneksel tat, iç Pazar odaklı üretim
Yaren F1	Kokteyl hibrit	Küçük meyve, yüksek şeker oranı, ihracata uygun

Kaynaklar: Yalova BKAE (2023); Tarım ve Orman Bakanlığı (2020), TTB, (2025).

Biber

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Kaptan F1	Kapya hibrit	Kalın etli, yüksek verim, ihracata uygun
Yalova Charleston	Açık tozlanan	Geleneksel, iç pazarda yaygın
California Wonder	Açık tozlanan	Blok form, yüksek verim ve dayanıklılık
Isot Yerli	Yerli, sanayi tipi	Kurutmalık, Güneydoğu'ya özgü, yüksek kapsaisin oranı

Kaynaklar: TPMK, (2021); TAGEM (2023); TÜRKTOB (2023), TTB, (2025).

Hıyar (Salatalık)

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Silor F1	Beith Alpha	İnce kabuk, yüksek verim, ihracata uygun
MiniStar F1	Mini hibrit	Küçük meyve, Atıştırmalık, şehirli tüketiciye uygun
Mini Ada F1	Mini hibrit	Yüksek verim, örtü altı uyumlu

Kaynaklar: TÜRKTOB (2023); Yalova BKAE (2023), TTB, (2025); TTSM, (2025).

Patlıcan

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Nazik F1	Silindirik hibrit, yüksek verimli, sanayiye uygun	Yüksek verim, hastalık dayanımı yüksek, sanayiye uygun
Kemer	Açık tozlanan	Geleneksel tip, iç pazarda yaygın
Burak F1	Hibrit	Kalın kabuklu, sanayiye uygun, uzun raf ömrü
Aydın Siyahı	Açık tozlanan	Geleneksel tip
Topan F1	Dolmalık hibrit	Kalın kabuklu

Kaynaklar: TRGM (2024); Yalova BKAİ (2023).

Kabak

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Sakarya F1	Sakız hibrit	Yüksek verim, örtü altı uyumlu
Zeybek F1	Kestane hibrit	Koyu renkli, ihracata uygun, hastalık dayanımı yüksek
Sakız	Açık tozlanan	Geleneksel, iç pazarda yaygın

Kaynaklar: TAGEM (2023); Yalova BKAİ (2023); TURTOB, (2025).

Marul ve Yeşil Yapraklılar

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
Yedikule	Açık tozlanan	Geleneksel, İstanbul çevresinde yoğun üretim
Lolla Rossa	Renkli hibrit	Görsel kalite yüksek, restoran talebine uygun
Iceberg	Hibrit	Raf ömrü uzun, ihracata uygun, dayanıklı
Kıvrıkcık F1	Hibrit	Taze tüketim, yıl boyu üretim, kısa çevrim süresi

Kaynaklar: Duman et al. (2020); TPMK, (2021); Yalova BKAİ (2023).

Soğan ve Diğer Depolanabilir Türler

Çeşit Adı	Tipi	Teknik Özellikler
İmralı	Yerli açık tozlanan	Depolamaya uygun, Marmara Bölgesinde yaygın
Altınbaş F1	Hibrit	Yüksek verim, sanayiye uygun, dayanıklı
Ankara Beyazı	Yerli	Geleneksel, iç pazarda yaygın
Nevşehir	Yerli	Depolama kabiliyeti yüksek, sert doku yapısı

Kaynaklar: TÜRKTOB (2023); Yalova BKAİ (2023).

4.1 Analitik Değerlendirme

Sebze üretiminde tercih edilen çeşitler, üretim sistemleriyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle örtü altı ve açık alan üretim sistemlerinin teknik gereklilikleri, çeşit seçiminde belirleyici rol oynamaktadır:

- **Örtü altı üretim sistemlerinde**, hibrit çeşitlerin payı belirgin biçimde artmıştır. Bu sistemlerde yüksek verim, hastalık dayanımı, raf ömrü ve ihracat standartlarına uygunluk gibi teknik kriterler ön plandadır. *Truva F1*, *Lerota F1*, *Mahserte F1*, *Salkon F1*, *Iceberg* gibi hibrit çeşitler ve *California Wonder* → Açık tozlanan örtü altı üretimin temel bileşenleri haline gelmiştir.
- **Açık alan üretiminde** ise yerel, açık tozlanan ve coğrafi işaretli çeşitler hâlen ekonomik önemini korumaktadır. *Yedikule* marulu, *Pembe Sultan* domatesi ve *Isot* biberi gibi çeşitler, hem iç pazarda geleneksel tat arayışını karşılamakta hem de bölgesel markalaşma süreçlerine katkı sunmaktadır.
- **TAGEM ve TÜRKTOB işbirliğiyle geliştirilen yerli hibrit tohumlar**, özellikle domates, biber ve marul türlerinde üretim bağımsızlığını güçlendirmiştir. 2020 itibarıyla tescillenmiş 82 yerli sebze çeşidi, üreticilere sunulmuş; bu çeşitler örtü altı sistemlere ve ihracat taleplerine uygun olarak geliştirilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).
- Bu çeşitler, yalnızca verimlilik açısından değil; aynı zamanda iklimsel adaptasyon, raf ömrü, taşımaya dayanıklılık ve ihracat kalibrasyonu gibi kriterler açısından da avantaj sağlamaktadır. Özellikle hibrit üretiminde kullanılan kendine uyumsuzluk sistemleri ve kimyasal sterilite teknikleri, Türkiye'nin sebze ıslahı alanındaki teknik kapasitesinin yükseldiğini göstermektedir (Karaağaç & Kar, 2016; Arıcı & Kurtar, 2024). **

Bu değerlendirme, üretim sistemleri ile çeşit tercihleri arasındaki yapısal ilişkiyi ortaya koymakta; yerli hibrit tohumların stratejik önemini teknik ve ekonomik düzeyde temellendirmektedir.

5. Yerli F1 Tohum Kullanımı ve Geliştirme Olanakları

Sebze üretiminde hibrit (F1) tohum kullanımı, 2015–2025 döneminde Türkiye'nin tarımsal üretim sisteminde hem teknik dönüşümün hem de inovasyon politikalarının merkezinde yer almıştır. Özellikle domates, biber, hıyar ve marul gibi türlerde hibrit çeşitlerin üretim zincirine entegrasyonu; verimlilik, stres toleransı ve ihracat kalibrasyonu açısından stratejik bir rol üstlenmiştir (TÜRKTOB, 2023; TAGEM, 2023).

5.1 Tür Bazlı Hibrit Kullanım Oranları

TAGEM ve TÜRKTOB verilerine göre hibrit tohum kullanım oranları tür bazında aşağıdaki şekilde dağılım göstermektedir:

Tür	Hibrit Kullanım Oranı	Açıklama
Domates	%90+	Örtü altı üretimde neredeyse tamamen hibrit
Biber	%30–70 (açık alan)	Örtü altında hibrit çeşitler baskın
Hıyar	%80+	Beith Alpha ve mini tiplerde yaygın
Marul	%60+	Iceberg ve kıvrıkcık hibritler yaygın; Yedikule hâlen iç pazarda
Soğan/Havuç	Düşük	Sanayiye yönelik üretimde hibritleşme artıyor

Bu dağılım, örtü altı sistemlerin yaygınlaşması ve ihracat odaklı üretimin artmasıyla doğrudan ilişkilidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

5.2 Yerli Hibrit Geliştirme Süreci

Yerli hibrit tohum geliştirme çalışmaları, TAGEM bünyesindeki kamu araştırma enstitüleri ile özel sektör işbirliği çerçevesinde yürütülmektedir. 2020 itibarıyla 82 yerli sebze çeşidi tescillenmiş ve üreticiye sunulmuştur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Bu çeşitler arasında *Alpata F1*, *Salkon F1*, *Nazlı F1*, *Mini Ada F1* gibi domates, biber, hıyar ve marul hibritleri yer almakta; örtü altı sistemlere ve ihracat taleplerine uygunluk göstermektedir (Yalova BKAE, 2023).

5.3 Teknik Üretim Sistemleri ve Islah Yöntemleri

Yerli hibrit üretiminde kullanılan başlıca teknikler şunlardır:

- **Kendine uyumsuzluk sistemi:** Özellikle domates ve marul gibi türlerde hibrit üretimini kolaylaştırmak için kullanılır (Karaağaç & Kar, 2016).
- **Kimyasal sterilite:** Erkek kısırılık oluşturularak hibrit üretimi sağlanır; marulda başarıyla uygulanmıştır (Arıcı & Kurtar, 2024).
- **İslah ve adaptasyon çalışmaları:** Bölgesel iklim koşullarına uygun çeşit geliştirme, TAGEM'in örtü altı envanter raporlarında vurgulanmaktadır (TAGEM, 2023).

Bu teknikler, Türkiye'nin sebze ıslahı alanındaki biyoteknolojik kapasitesinin yükseldiğini göstermektedir.

5.4 Kurumsal ve Politik Dönüşüm Alanları

Yerli hibrit tohumların yaygınlaştırılması, yalnızca teknik bir süreç değil; aynı zamanda kurumsal ve politik bir dönüşüm alanıdır. Bu sürecin stratejik önemi şu başlıklar altında değerlendirilebilir:

- **Üretici bağımlılığının azaltılması:** İthal tohumlara olan bağımlılığı sınırlamak.
- **Regülasyon ve tescil süreci:** Mevcut sistem uzun ve maliyetlidir; sadeleştirme ihtiyacı vardır.
- **Kamu-özel sektör işbirliği:** Ar-Ge ve yayım mekanizmalarının entegrasyonu sınırlıdır.
- **Çiftçi eğitimi ve yayım eksikliği:** Yerli hibritlerin benimsenmesini zorlaştıran temel engellerden biridir.

Bu bağlamda, yerli hibrit tohum geliştirme süreci yalnızca üretim teknolojisi değil; aynı zamanda tarımsal egemenlik, inovasyon politikası ve kırsal kalkınma stratejisi açısından ele alınmalıdır.

6. Türkiye'nin sebze üretim deseni

Türkiye'nin sebze üretim deseni, bölgesel iklim farklılıkları, toprak yapısı, pazara erişim olanakları ve teknik altyapıya bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. 2015–2025 döneminde örtü altı sistemlerin yaygınlaşması, ihracat odaklı üretimin artması ve yerli hibrit tohumların bölgesel adaptasyonu,

üretim tercihlerinde yapısal kırılmalar yaratmıştır (TAGEM, 2023; TÜİK, 2025).

Aşağıda, Türkiye'nin başlıca tarım bölgeleri için üretim yapısı, öne çıkan türler, tercih edilen çeşitler ve teknik özellikler analitik biçimde sunulmuştur:

Akdeniz Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Örtü altı üretimin merkezi; yıl boyu üretim yapılabilen iklim avantajı.
- **Öne Çıkan Türler:** Domates, hıyar, biber, kabak, patlıcan.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Domates: *Alpata F1*, *Salkon F1*, *Yaren F1*
 - Hıyar: *MiniStar F1*, *Beith Alpha*
 - Biber: *Kaptan F1*, *California Wonder*
- **Teknik Özellikler:** İhracata uygun hibrit çeşitler; yüksek verim, raf ömrü ve hastalık dayanımı önceliklidir.

Ege Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Hem örtü altı hem açık alan üretimi; iç pazar ve ihracat dengesi.
- **Öne Çıkan Türler:** Marul, domates, kavun, enginar.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Marul: *Yedikule*, *Lolla Rossa*, *Iceberg*
 - Kavun: *Altınbaş F1*, *Kırkağaç*
 - Domates: *Pembe Sultan*, *Nazlı F1*
- **Teknik Özellikler:** Geleneksel ve hibrit çeşitlerin dengeli kullanımı; bölgesel marka değeri yüksek ürünler (örneğin Bayrampaşa enginarı) öne çıkmaktadır.

Marmara Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Sanayiye yönelik üretim; depolanabilir türler ön planda.
- **Öne Çıkan Türler:** Soğan, havuç, lahana, marul.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Soğan: *İmralı*, *Altınbaş F1*
 - Marul: *Yedikule*, *Iceberg*
 - Havuç: *Ankara Beyazı*, *Nevşehir*

- **Teknik Özellikler:** Depolama kabiliyeti, sanayiye uygunluk ve lojistik avantajlar üretim tercihlerinde belirleyicidir.

İç Anadolu Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Açık alan üretimi; kuraklığa dayanıklı türler ön plandadır.
- **Öne Çıkan Türler:** Havuç, domates, patates, soğan.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Domates: *Pembe Sultan, Nazlı F1*
 - Havuç: *Nevşehir, Ankara Beyazı*
 - Soğan: *Altınbaş F1, İmralı*
- **Teknik Özellikler:** Düşük su tüketimi, iklimsel dayanıklılık ve uzun raf ömrü üretim kararlarını yönlendirmektedir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Sanayiye yönelik biber üretimi; yerel çeşitlerin korunması ve ticari entegrasyonu.
- **Öne Çıkan Türler:** Biber, domates, patlıcan.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Biber: *Isot, Urfa Pul Biberi, Kaptan F1*
 - Domates: *Salkon F1, Nazlı F1*
 - Patlıcan: *Kemer, Nazlı F1*
- **Teknik Özellikler:** Kurutmalık ve salçalık üretim sistemleri; yerel çeşitlerin bölgesel markalaşma süreciyle entegre edilmesi.

Karadeniz Bölgesi

- **Üretim Yapısı:** Nemli iklim koşulları; yeşil yapraklılar ve niş türler ön plandadır.
- **Öne Çıkan Türler:** Marul, lahana, pazı, ıspanak.
- **Tercih Edilen Çeşitler:**
 - Marul: *Kıvrıkcık F1, Yedikule*
 - Lahana: *Yalova 1, Yalova 2*
- **Teknik Özellikler:** Taze tüketim odaklı üretim; kısa tedarik zinciri ve bölgeye özgü çeşit adaptasyonu ön plandadır.

Bu bölgesel yapı, Türkiye'nin sebze üretiminde hem tür çeşitliliğini hem de teknik adaptasyon kapasitesini ortaya koymaktadır. Yerli hibrit çeşitlerin bölgesel yayılımı, TAGEM'in adaptasyon çalışmaları ve çiftçi tercihlerine göre şekillenmekte; örtü altı sistemlerin yaygınlaştığı bölgelerde hibrit çeşitler

baskın hale gelirken, açık alanda yerel ve coğrafi işaretli çeşitler hâlâ ekonomik önemini korumaktadır (TAGEM, 2023; Yalova BKAE, 2023).

7. Sebze üretiminde tür ve çeşit tercihleri

Sebze üretiminde tür ve çeşit tercihleri, yalnızca üretici kararlarıyla değil; aynı zamanda tüketici davranışları, perakende talepleri ve pazarlama sisteminin yapısıyla doğrudan ilişkilidir. 2015–2025 döneminde Türkiye’de sebze tüketiminde hem estetik hem fonksiyonel beklentiler artmış; bu durum, üretim deseninde niş çeşitlerin ve hibritlerin öne çıkmasına neden olmuştur (Güldemir et al., 2020; Duman et al., 2020).

7.1 Tüketici Eğilimleri ve Çeşit Tercihleri

Tüketici davranışları, üretim kararlarını doğrudan etkileyen birincil faktör haline gelmiştir. Aşağıda, öne çıkan eğilimler ve bu eğilimlerin çeşit tercihleri üzerindeki etkileri sunulmuştur:

- **Estetik ve ambalajlı ürün talebi:** Özellikle şehirli tüketiciler, küçük boyutlu, düzgün şekilli ve ambalajlı ürünleri tercih etmektedir. Bu eğilim, *MiniStar F1* (mini hıyar), *Yaren F1* (kokteyl domates) ve *Lolla Rossa* (renkli marul) gibi hibritlerin yaygınlaşmasını desteklemiştir.
- **Sağlıklı beslenme ve yeşil yapraklılar:** Marul, roka, tere gibi yeşil yapraklı sebzelerde talep artmış; *Iceberg* ve *Kıvırcık F1* gibi hibritler, raf ömrü ve görsel kalite açısından tercih edilmiştir.
- **Geleneksel tat arayışı:** *Pembe Sultan* domatesi, *Yedikule* marulu ve *Isot* biber gibi yerel çeşitler, özellikle iç pazarda nostaljik ve lezzet odaklı talepleri karşılamaktadır.
- **Fonksiyonel tüketim:** Salçalık domates, kurutmalık biber ve depolanabilir soğan gibi türlerde dayanıklılık, işlenebilirlik ve raf ömrü gibi özellikler ön plana çıkmıştır.

Bu eğilimler, üreticiyi hem hibrit çeşitlere hem de bölgesel pazarlara uygun yerel çeşitlere yönlendirmektedir.

7.2 Pazarlama Sistemi ve Hal Mekanizması

Türkiye’de sebze pazarlama süreci büyük ölçüde toptancı halleri üzerinden yürütülmektedir. Ancak bu sistem, üretici ile tüketici arasındaki fiyat makasını artırmakta; fire oranları, lojistik maliyetler ve kayıt dışılık gibi yapısal sorunlar yaratmaktadır (Deveci & Emeksiz 2025).

- **Fiyat makası:** Üretici satış fiyatı ile tüketici raf fiyatı arasında %200’e varan farklar gözlenmektedir. Bu durum, üreticinin çeşit tercihinde raf ömrü ve fire oranı düşük hibritlere yönelmesine neden olmaktadır.
- **Fire oranları:** Hal sisteminde taşımaya dayanıklı, ambalajlı ve hibrit çeşitler avantajlıdır. Bu nedenle *California Wonder* biberi ve *Iceberg* marulu gibi çeşitler pazarlama zincirinde öne çıkmaktadır.
- **Dijitalleşme ve doğrudan satış:** Son yıllarda dijital platformlar üzerinden doğrudan tüketiciye satış yapan üretici kooperatifleri ve markalar, niş çeşitlerin (*Yedikule*, *Mini Ada F1*) pazarlanmasında etkili olmuştur. Bu sistem, üreticiye fiyat kontrolü ve marka değeri kazandırmaktadır.

7.3 İhracat Baskısı ve Üretim Kalibrasyonu

Türkiye’nin sebze ihracatında domates, biber, hıyar ve kavun gibi türler öne çıkmaktadır. Ege İhracatçı Birlikleri verilerine göre, 2024 yılında yaş sebze ihracatının %60’ı bu dört türden oluşmuştur (EİB, 2024). İhracat talepleri, üretim desenini aşağıdaki yönlerde şekillendirmektedir:

- **Kalibreye uygun hibrit çeşitlere yönelim:** İhracat standartları, üreticiyi boyut, renk ve dayanıklılık açısından belirli kalibrasyonlara sahip hibrit çeşitlere yönlendirmektedir.
- **Ambalaj ve raf ömrü uyumu:** Uzun raf ömrü ve ambalaj uyumu, ihracat zincirinde tercih edilen ürünlerin başlıca teknik özellikleridir.
- **Sertifikalı üretim ve izlenebilirlik:** Global pazarlarda rekabet edebilmek için üreticiler, sertifikalı üretim sistemlerine ve dijital izlenebilirlik altyapılarına entegre olmaya zorlanmaktadır.

Bu baskılar, üreticinin hem teknik hem kurumsal düzeyde dönüşüm geçirmesini zorunlu kılmakta; hibrit çeşitlerin yaygınlaşmasını ve üretim sistemlerinin standardizasyonunu hızlandırmaktadır.

8. Sebze Üretiminde Baskılar ve Eğilimler

Sebze üretimi, doğrudan çevresel koşullara bağımlı bir faaliyet olduğundan, iklimsel değişkenlik ve teknik altyapı yetersizlikleri üretim deseninde yapısal baskılar yaratmaktadır. 2015–2025 döneminde Türkiye’de sebze üreticileri, kuraklık, aşırı sıcaklık, sel ve don gibi abiyotik stres faktörleriyle daha sık karşılaşmış; bu durum hem ürün verimliliğini hem de çeşit tercihlerini doğrudan etkilemiştir (Dayan & Bayram, 2022; FAO, 2024).

8.1 İklimsel Baskılar ve Adaptasyon Eğilimleri

- **Kuraklık ve su stresi:** İç Anadolu, Güneydoğu ve Ege bölgelerinde yağış rejimindeki düzensizlikler, açık alan üretiminde ciddi verim kayıplarına yol açmıştır. Özellikle domates, biber ve marul gibi suya duyarlı türlerde örtü altı sistemlere geçiş hızlanmış; bu sistemler, su kullanım verimliliği açısından avantaj sağlamıştır (TRGM, 2025).
- **Don ve sıcaklık dalgalanmaları:** Akdeniz ve Marmara bölgelerinde ilkbahar geç donları ve yaz aylarında ekstrem sıcaklıklar, fide gelişimi ve meyve tutumu üzerinde olumsuz etkiler yaratmıştır. Bu durum, erken hasat potansiyeli taşıyan çeşitlerin (*Salkon F1*, *Mini Ada F1*) tercih edilmesini teşvik etmiştir.
- **Sel ve taşkın riski:** Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde artan ani yağışlar, özellikle yeşil yapraklı sebzelerde fungal hastalık riskini artırmıştır. Bu nedenle üreticiler, hastalık dayanımı yüksek hibrit çeşitlere (*Iceberg*, *Kıvrıkcık F1*) yönelmiştir.

8.2 Teknik Baskılar ve Üretim Sistemine Etkileri

- **Enerji ve girdi maliyetleri:** Örtü altı üretimde kullanılan ısıtma, sulama ve gübreleme sistemlerinin artan maliyetleri, üreticiyi daha verimli ve dayanıklı hibrit çeşitlere yönlendirmiştir. Bu bağlamda *California Wonder*, *Alpata F1* ve *Silor F1* gibi çeşitler öne çıkmaktadır (TÜRKTOB, 2023).

- **Sulama altyapısı eksiklikleri:** Vahşi sulama yöntemlerinin hâlâ yaygın olması, su kaybı ve toprak tuzluluğu gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu durum, damla sulama sistemlerine geçişi hızlandırmış; suya dayanıklı çeşitlerin (*Nazlı FI*, *Altınbaş FI*) yaygınlaşmasına neden olmuştur (Dayan & Bayram, 2022).
- **Tohum ve fide temininde dışa bağımlılık:** Hibrit tohumların büyük kısmı hâlâ ithal edilmekte olup, bu durum döviz kuru dalgalanmalarına karşı üreticiyi ekonomik olarak kırılgan hale getirmektedir. Yerli hibrit geliştirme çalışmaları, bu yapısal bağımlılığı azaltmak ve üretim egemenliğini güçlendirmek açısından stratejik bir alan olarak değerlendirilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020; Karaağaç & Kar, 2016).

8.3 Dijitalleşme ve Akıllı Tarım Uygulamaları

İklimsel ve teknik baskılara karşı geliştirilen dijital çözümler, özellikle büyük ölçekli üreticiler arasında yaygınlaşmaktadır:

- **Sensör ve IoT sistemleri:** Sera içi sıcaklık, nem ve ışık kontrolü için sensör tabanlı sistemler, özellikle domates ve marul üretiminde verim artışı sağlamaktadır. Bu sistemler, mikroklima yönetimini optimize ederek stres faktörlerini azaltmaktadır.
- **Dron ve görüntüleme teknolojileri:** Hastalık takibi, gübreleme ve ilaçlama süreçlerinde dron kullanımı, özellikle entegre üretim yapan işletmelerde yaygınlaşmıştır. Görüntüleme sistemleri, erken teşhis ve müdahale imkânı sunmaktadır.
- **Veri temelli üretim planlaması:** TAGEM ve özel sektör işbirliğiyle geliştirilen dijital platformlar, üreticilere çeşit seçimi, ekim zamanı ve pazarlama stratejileri konusunda karar destek sağlamaktadır. Bu sistemler, iklim verileriyle entegre çalışarak adaptif üretim planlamasını mümkün kılmaktadır.
- 2015–2025 döneminde Türkiye’de sebze üretimi yalnızca hacimsel büyüme değil, aynı zamanda teknik, bölgesel ve pazarlama temelli dönüşümlerle yeniden şekillenmiştir. Domates, biber, hıyar, marul ve patlıcan gibi türlerde hibrit çeşitlerin yaygınlaşması, örtü altı sistemlerin genişlemesi ve ihracat odaklı üretim stratejileri üretim

desenini belirleyen temel faktörler olmuştur. Yerli F1 hibrit tohum geliştirme kapasitesi TAGEM ve TÜRKTOB öncülüğünde artmış; ancak dışa bağımlılık, yayım eksiklikleri ve bölgesel adaptasyon sorunları hâlen devam etmektedir. Tüketici eğilimleri estetik ve raf ömrü yüksek ürünlere yönelirken, geleneksel tat arayışı yerel çeşitlerin korunmasını stratejik hale getirmiştir. İklimsel baskılar ve teknik altyapı yetersizlikleri ise üreticiyi daha dayanıklı, verimli ve izlenebilir çeşitlere yönlendirmiştir.

- Bu çerçevede, yerli hibrit geliştirme stratejilerinin güçlendirilmesi gerekmektedir. TAGEM bünyesinde tür bazlı hibrit geliştirme programları artırılmalı, domates, biber ve marul gibi ihracat odaklı türlere öncelik verilmelidir. Tescil süreci sadeleştirilmeli, özel sektörle kamu iş birliği teşvik edilmeli ve yerli hibritlerin bölgesel adaptasyon denemeleri yaygınlaştırılmalıdır. Bölgesel çeşit planlaması kapsamında her bölge için agro-ekolojik uygunluk haritaları çıkarılmalı, üreticiye çeşit öneri sistemleri sunulmalı ve yerel çeşitlerin korunması ile ticari entegrasyonu için coğrafi işaretli sebze programları başlatılmalıdır. Kuraklığa dayanıklı ve düşük su tüketimli çeşitler özellikle İç Anadolu ve Güneydoğu bölgeleri için önceliklendirilmelidir.
- Tohum sertifikasyon ve yayım politikaları açısından hibrit tohumların izlenebilirliğini sağlayacak dijital sertifikasyon sistemleri kurulmalı, çiftçilere yönelik yerli hibrit tanıtım ve eğitim kampanyaları düzenlenmeli ve tohum destekleme politikaları yerli hibrit kullanımını teşvik edecek şekilde yeniden yapılandırılmalıdır. Pazarlama ve tüketici odaklı üretim stratejileri kapsamında hal sisteminde fire oranlarını azaltacak ambalaj ve lojistik yatırımları desteklenmeli, dijital pazarlama platformları üzerinden doğrudan satış yapan üretici kooperatifleri teşvik edilmeli ve tüketici taleplerine uygun çeşit geliştirme süreci pazar araştırmalarıyla entegre edilmelidir.
- İklim ve teknik risklere karşı adaptasyon politikaları ise damla sulama ve sensör tabanlı üretim sistemlerinin yaygınlaştırılmasını, iklim risk haritaları ile çeşit seçiminin entegre edilmesini ve akıllı tarım uygulamaları için bölgesel teknoloji destek programlarının

oluşturulmasını içermelidir. Bu öneriler, Türkiye'nin sebze üretim sistemini daha dirençli, verimli ve sürdürülebilir hale getirmek için hem teknik hem kurumsal düzeyde müdahale alanları sunmaktadır. Çalışma, üretim deseninin yalnızca biyolojik değil; aynı zamanda sosyo-ekonomik, pazarlama ve iklimsel dinamiklerle şekillendiğini ortaya koyarak geleceğe yönelik stratejik bir yol haritası sunmaktadır.

9. Sonuç

2015–2025 döneminde Türkiye sebze üretim sistemi, yalnızca üretim hacmi açısından değil; aynı zamanda üretim teknikleri, çeşit tercihleri ve tohum kaynakları düzeyinde yapısal bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşüm, örtü altı sistemlerin yaygınlaşması, ihracat odaklı hibrit çeşitlerin öne çıkması ve yerli F1 tohum geliştirme kapasitesinin artmasıyla karakterize edilmiştir.

Domates, biber ve hıyar gibi lider türlerde hibrit çeşitlerin üretim zincirine entegrasyonu, verimlilik, raf ömrü ve ihracat kalibrasyonu açısından stratejik avantajlar sağlamıştır. Marul ve yeşil yapraklılarda ise iç pazar odaklı çeşitlenme ve kısa tedarik zincirlerine dayalı üretim stratejileri öne çıkmıştır. Soğan ve havuç gibi depolanabilir türlerde yerli hibritleşme süreci başlamış, ancak üretim planlaması hâlen fiyat dalgalanmalarına duyarlıdır.

Yerli hibrit tohumların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, Türkiye'nin tarımsal egemenliği, inovasyon politikası ve kırsal kalkınma stratejisi açısından kritik bir alan haline gelmiştir. TAGEM ve TÜRKTOB işbirliğiyle geliştirilen çeşitler, örtü altı sistemlere ve ihracat taleplerine uygunluk göstermekte; aynı zamanda iklimsel adaptasyon, hastalık dayanımı ve lojistik avantajlar sunmaktadır.

Bölgesel üretim desenleri, iklimsel ve teknik koşullara göre çeşitlenmekte; Akdeniz ve Ege bölgelerinde hibrit çeşitler yaygınlaşırken, İç Anadolu ve Güneydoğu'da yerel çeşitlerin ekonomik değeri korunmaktadır. Bu yapı, Türkiye'nin sebze üretiminde hem teknik kapasiteyi hem de biyolojik çeşitliliği bir arada sürdürebilme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye sebze üretim sisteminin geleceği; yerli hibrit tohum geliştirme stratejilerinin güçlendirilmesi, bölgesel adaptasyon çalışmalarının yaygınlaştırılması ve üretici eğitim mekanizmalarının

etkinleştirilmesiyle şekillenecektir. Bu süreç, yalnızca teknik bir dönüşüm değil; aynı zamanda sürdürülebilir tarım politikalarının ve gıda güvenliğinin temel taşıdır.

KAYNAKÇA

- Abak, K. (2007). Outlook on vegetable production in Turkey. *Acta Horticulturae*, 729, 21–28. https://www.ishs.org/ishs-article/729_1
- Arıcı, A. S., & Kurtar, E. S. (2024). The Stimulation of Chemical Male Sterility for F1 Hybrid Lettuce (*Lactuca Sativa* Var. *Longifolia*) Production. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 38(1), 41–52. Doi:10.15316/SJAFS.2024.004
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Dayan, A., & Bayram, C. A. (2022). İklim Değişikliğinin Sebze Üretimi Üzerine Etkileri ve Buna Karşı Adaptasyon Stratejilerinin Değerlendirilmesi. *Bahçe*, 51(Özel Sayı 1) 13. Sebze Tarımı Sempozyumu), 310-321.
- Deveci, A., & Emeksiz, F. (2025). Türkiye’de Yaş Sebze ve Meyve Pazarlama Süreci: Toptancı Halleri ve Hal Kayıt Sistemi Üzerine Bir İnceleme. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 26(56), 61–83.
- Duman, İ., Tüzel, Y., & Appelman, D. J. (2020). Türkiye’de sebze üretiminde tür ve çeşit tercihleri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı, 169–178. <https://www.acarindex.com/ege-universitesi-ziraat-fakultesi-dergisi/turkiyede-sebze-uretiminde-tur-ve-cesit-tercihleri-119979>
- Ege İhracatçı Birlikleri (EİB). (2024). *Yaş meyve ve sebze ihracat raporu 2024*. <https://www.eib.org.tr/tr/ihracat-raporlari>
- FAO. (2024). *Vegetable sector review: Turkey*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Güldemir, H. H., Yousefirad, N., Akman, C., Sezer, F. E., Yoldaş İlktaş, H., Garipağaoğlu, M., & Ersoy, G. (2020). Consumption and preferences of fruits and vegetables in Turkish adults. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(OCE2).E604 <https://doi.org/10.1017/S002966512000001X>
- HortiDaily. (2025, October 15). Turkey predicts 30% drop in produce yields for 2025. <https://www.hortidaily.com/article/9778875/turkey-predicts-30-drop-in-produce-yields-for-2025/>
- Karaağaç, O., & Kar, H. (2016). F1 hibrit sebze tohumu üretiminde kendine uyumsuzluk sisteminin kullanılması. *Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Adına Sahibi*, 45.
- OECD. (2016). *Innovation, agricultural productivity and sustainability in Turkey*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/innovation-agricultural-productivity-and-sustainability-in-turkey_9789264261198-en.html

- TAGEM. (2023). *Örtü altı sebze üretimi envanter raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/tagem/Belgeler/raporlar/ortu_alti_sebze_uretim_2023.pdf
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). *Geliştirilen 82 yerli tohum çeşidi sektör kullanımına sunuldu*. <https://www.tarimorman.gov.tr/Sayfalar/Detay.aspx?UrlSuffix=4706>
- TRGM. (2025). *Bitkisel üretim I. tahmini*. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü. <https://istatistik.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/2040>
- TÜİK. (2025). *Bitkisel üretim tahminleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111>
- Türk Patent ve Marka Kurumu, (2021). *Şanlıurfa İsoyu Coğrafi İşaret Belgesi*. <https://ci.turkpatent.gov.tr>
- Türk Patent ve Marka Kurumu. (2021). *Yedikule Marulu Coğrafi İşaret Belgesi*. <https://ci.turkpatent.gov.tr>
- Türkiye Tohumcular Birliği. (2025). *Sebze Tohumculuğu ve Fide Üretimi Raporu*. <https://www.turktob.org.tr>
- TÜRKTOB. (2023). *Kavramlar ve verilerle tohumculuk sektörü 2023*. Türkiye Tohumcular Birliği. https://www.turktob.org.tr/fs_/RAPORLAR_2023/KAVRAMLAR_VE_VERILERLE_TOHUMCULUK_SEKTORU_2023_PDF.pdf
- Yalova Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü [BKAİ]. (2023). *Tescilli sebze çeşitleri listesi*. https://arastirma.tarimorman.gov.tr/yalovabahce/Belgeler/tescilliCesitle_rimiz/sebzeCesitleri.pdf

BÖLÜM 3

ENGİNARIN BESİN DEĞERİNİ VE TAZELİĞİNİ KORUMA YÖNTEMLERİ: MUHAFAZA VE DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Doç. Dr. Şeyda ÇAVUŞOĞLU¹

Prof. Dr. Yusuf UZUN

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.scavusoglu@yyu.edu.tr Orcid ID: 0000-0001-8797-6687

GİRİŞ

Enginar (*Cynara scolymus* L.), Akdeniz bölgesine özgü bir bitki olup, hem besin değeri hem de sağlık açısından sağladığı faydalar nedeniyle oldukça değerlidir. İçeriğinde yüksek miktarda lif, vitamin, mineral ve antioksidan bulunduran enginar, düşük kalori içeriğiyle de diyetlerde tercih edilmektedir (Lattanzio ve ark., 2009). Enginar, özellikle C vitamini, K vitamini, folat ve magnezyum gibi önemli besin maddeleri açısından zengindir. Ayrıca enginar da bulunan sinarin ve luteolin gibi bileşikler, antioksidan özellikleri ile bilinir ve bu bileşiklerin kalp sağlığını koruma, sindirim sistemi fonksiyonlarını iyileştirme ve kan şekeri seviyelerini düzenleme gibi sağlık yararları olduğu gösterilmiştir (Pandino ve ark., 2011).

Ancak, enginarın yüksek su içeriği ve hassas yapısı, bozulmaya karşı duyarlılığını artırmaktadır. Bu nedenle, enginarın hasat sonrası tazeliğini ve besin değerini koruyabilmek için uygun muhafaza ve depolama tekniklerinin kullanılması gerekmektedir (Kader, 2002). Bozulma sürecinde mikroorganizmaların ve enzimlerin rolü büyüktür. Enginarın uygun koşullarda muhafaza edilmemesi durumunda, mikroorganizmalar hızla çoğalmakta ve ürünün besin değerini kaybetmesine neden olmaktadır (Sharma ve Thakur, 2018).

Bu çalışmanın amacı, enginarın besin değerini ve tazeliğini koruma yöntemlerini araştırmak ve bu yöntemlerin etkinliğini değerlendirmektir. Araştırma, enginarın muhafazası ve depolanmasında kullanılan geleneksel ve yenilikçi teknikleri inceleyerek, bu tekniklerin besin değeri ve raf ömrü üzerindeki etkilerini belirlemeyi hedeflemektedir. Ayrıca, sürdürülebilir muhafaza yöntemlerinin uygulanabilirliği ve gelecekteki teknolojik yeniliklerin potansiyel etkileri de değerlendirilmektedir.

Bu araştırma, enginarın bozulma sürecini ve bu süreci etkileyen faktörleri incelemekle başlamaktadır. Ardından, soğuk depolama, modifiye atmosfer paketlenme (MAP), vakum paketlenme, kimyasal koruyucular, dondurarak muhafaza ve kurutarak muhafaza gibi farklı muhafaza yöntemleri detaylı olarak ele alınmaktadır. Sürdürülebilir muhafaza teknikleri kapsamında, çevre dostu muhafaza yöntemleri, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca, gelecekteki yönelimler ve inovasyonlar bölümünde,

gelişmekte olan muhafaza teknolojileri ve bilimsel araştırmaların yanı sıra, enginar muhafazasında kullanılabilecek inovatif yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapılan literatür taramaları ve analizler, gıda muhafaza teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanabilirliği hakkında kapsamlı bir bilgi sunmaktadır.

Enginarın Besin Değeri ve Sağlık Açısından Faydaları

Enginar, tarih boyunca hem mutfaklarda hem de tıbbi uygulamalarda önemli bir yere sahip olmuştur. İlk olarak antik Mısır, Yunan ve Roma medeniyetlerinde yetiştirildiği bilinmektedir (Lattanzio ve ark., 2009). Orta Çağ'da Avrupa'da yaygınlaşan enginar, özellikle İtalya, Fransa ve İspanya mutfaklarında popüler hale gelmiştir. Besleyici özellikleri ve sağlık üzerindeki faydaları, onu sadece lezzetli bir sebze olarak değil, aynı zamanda sağlıklı destekleyici bir gıda olarak da ön plana çıkarmaktadır (Wikipedia, 2023).

Enginar (*Cynara scolymus* L.), Avrupa ve Amerika kıtasında büyük bir üretim potansiyeline sahip çok yıllık bir sebzedir. Türkiye'de son yıllarda tüketilmek üzere büyük ilgi görmüştür. İtalya, Mısır, İspanya, Peru ve Arjantin sırasıyla dünyanın en büyük enginar üreticileri iken, Türkiye 13. sırada yer almakta ve enginar üretim alanı Türkiye'de artış eğilimi göstermektedir (FAO 2013).

Antioksidan, antikarsinojenik, antigenotoksik, kolesterol düşürücü, hepatoprotektif, diüretik, anti-inflamatuar özelliklerinin yanı sıra antifungal, anti-HIV ve antibakteriyel özelliklerinin olduğu bilinmektedir (Lombardo ve ark. 2010). Enginar, enerji içeriği düşük, fenolik bileşikler, posa, C ve K vitaminleri ile fosfor, magnezyum, potasyum minerallerinden zengin bir sebzedir. Enginarının besin değeri, düşük yağ içeriği ile yüksek lif, vitamin, mineral ve biyoaktif bileşik içeriğine bağlanmaktadır (Petropoulos ve ark., 2017). Bilimsel literatürde enginar tüketiminin sağlığa yararlı etkilerini bildiren farklı çalışmalar bulunmaktadır (Frutos ve ark., 2019).



Şekil 1. 1. Enginar (*Cynara scolymus* L.)

Enginarın Besin İçeriği

Enginar, besleyici değerleri ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle yaygın olarak tüketilen bir sebzedir. Literatür, enginar kafasının ortalama 132 g kg-1 kuru madde, 760 g kg-1 karbonhidrat, 96 g kg-1 protein, 20.3 g kg-1 yağ ve 8.6 g kg-1 kül içerdiğini göstermektedir (Lombardo ve ark., 2018). Türkiye Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı'na göre 100 gram enginarın enerji ve besin ögesi içeriği Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir (Turkomp, 2019). Besleyici değeri, içerdiği vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve diğer besleyici bileşenler sayesinde oldukça yüksektir. Özellikle antioksidanlar ve prebiyotik lifler gibi bileşenler, genel sağlığı destekleyici özellikler taşımaktadır. Ayrıca enginarın bileşiminde bulunan temel fenolikler; sinamik asitler, klorojenik asit, sinarin, 1,5-O-dikafeoilkinik asit ve 3,4-O-dikafeoilkinik asit, temel flavonoidler; apigenin, luteolin, rutin ve bunların glikozitleridir. Enginarın besin değeri içeriği yetiştirilen coğrafya, mevsimsel farklılıklar, çevresel etmenler, işleme yöntemleri gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Gezer, 2015).

Çizelge 1. 1. Enginar Besin Değerleri

Besin Ögesi	Miktar (100g)	Birim
Su	80-85	Gram
Protein	2.0-2.5	Gram
Yağ	0.2-0.5	Gram
Karbonhidrat	13-15	Gram
Lif	5.4	Gram
Şeker	1.91	Gram
Diyet Lif	2-4	Gram
Mineral maddeler	0.7-0.9	Gram
Potasyum	350	Miligram
Fosfor	69	Miligram
Kalsiyum	44	Miligram
Magnezyum	16	Miligram
Demir	0.75	Miligram
C Vitamini	8	Miligram
K Vitamini	16.1	Mikrogram
Folat	68	Mikrogram
A Vitamini (RE)	22	IU

a. Vitaminler ve mineraller

Enginar, çeşitli vitamin ve mineraller açısından zengin bir sebzedir. İçerdiği önemli vitaminler arasında C vitamini, K vitamini, folat (B9 vitamini) ve B grubu vitaminler bulunur. C vitamini, bağışıklık sisteminin güçlenmesinde ve cilt sağlığının korunmasında önemli rol oynar (Carr ve Maggini, 2017). K vitamini ise kemik sağlığının korunması ve kanın pıhtılaşması için gereklidir (Shearer ve Newman, 2008).

Folat, hücre büyümesi ve DNA sentezi için önemli bir vitamindir ve özellikle hamilelik döneminde yeterli miktarda alınması gereklidir (Tamura ve Picciano, 2006). Enginar ayrıca riboflavin (B2 vitamini), niasin (B3 vitamini) ve pantotenik asit (B5 vitamini) gibi diğer B grubu vitaminleri de içerir. Bu vitaminler, enerji metabolizmasında ve sinir sisteminin sağlıklı çalışmasında önemli rol oynar (Lattanzio ve ark., 2009).

Mineraller açısından enginar, potasyum, magnezyum, fosfor ve demir gibi önemli mineralleri içerir. Potasyum, kas fonksiyonlarının düzenlenmesi ve

kan basıncının kontrol altında tutulması için gereklidir (He ve MacGregor, 2008). Magnezyum, enerji üretimi ve kemik sağlığı için önemli bir mineraldir (Rude ve ark., 2009). Fosfor ise hücrelerin enerji üretiminde ve kemik sağlığında kritik rol oynar. Demir, oksijen taşınımı ve enerji üretimi için gerekli olan bir mineraldir ve özellikle kadınlar için yeterli demir alımı önemlidir (Lynch ve Cook, 1980).

b. Antioksidanlar ve diğer besleyici bileşenler

Enginar, antioksidanlar açısından oldukça zengin bir sebzedir. Antioksidanlar, vücuttaki serbest radikallerin zararlı etkilerini nötralize ederek hücrelerin hasar görmesini önler ve böylece çeşitli kronik hastalıkların riskini azaltır. (Lattanzio ve ark., 2009). Enginarında bulunan önemli antioksidanlar arasında kafeik asit, klorojenik asit, luteolin ve silimarin bulunur.

Kafeik asit ve klorojenik asit, güçlü antioksidan özelliklere sahip fenolik bileşiklerdir ve kanser, kalp hastalıkları ve diyabet gibi kronik hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilir (Nicolle ve ark., 2004). Luteolin, anti-inflamatuar ve antioksidan etkileri ile bilinen bir flavonoiddir ve beyin sağlığının korunmasına katkıda bulunur (Seelinger et al., 2008). Silimarin ise karaciğer sağlığını destekleyen ve karaciğerin toksinlerden arınmasına yardımcı olan bir bileşiktir (Kroll ve ark., 2007).

Bunların yanı sıra, enginarın içerdiği prebiyotik lifler de sağlık açısından önemli faydalar sunar. Prebiyotik lifler, bağırsak florasının dengelenmesine yardımcı olur ve sindirim sağlığını desteklemektedir. Ayrıca, enginarın düşük kalori içeriği ve yüksek lif içeriği, kilo kontrolüne yardımcı olabilir ve tokluk hissini artırarak sağlıklı bir diyetin parçası olmasını sağlamaktadır. (Roberfroid, 2007).

Sağlık Üzerindeki Olumlu Etkileri

Würzburg Üniversitesi tarafından “2003 yılının tıbbi bitkisi” olarak seçilen enginarın sağlık etkileriyle ilgili her geçen gün yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Son yıllarda yapılan hayvan çalışmaları sonuçlarına göre sindirim sistemi sorunları ve karaciğer hastalıkları gibi birçok hastalığın tedavisinde Enginar yaprağı ekstratlarının etkili olduğu bulunmuştur. Enginarın

besin içeriği, kalp sağlığı, sindirim sistemi ve anti-enflamatuar ile antioksidan etkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır (Azzani ve ark., 2007).

a. Kalp sağlığına etkileri

Enginar, kalp sağlığını destekleyen bir dizi besin maddesi içerir. Özellikle potasyum, kalp ritmini düzenlemede ve kan basıncını dengelemede önemli bir rol oynar. Potasyumun yeterli miktarda alınması, hipertansiyon riskini azaltarak kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilir (He ve MacGregor, 2008). Ayrıca, enginarın içerdiği lifler, kan kolesterol seviyelerinin düşürülmesine yardımcı olur. Çözünür lifler, bağırsakta kolesterolün emilimini azaltarak toplam ve LDL (kötü) kolesterol düzeylerini düşürebilmektedir (Brown ve ark., 1999).

Enginar ayrıca, fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi antioksidanlar içerir. Bu bileşikler, oksidatif stresi azaltarak ve damar sağlığını koruyarak kalp sağlığını destekler (Lattanzio ve ark., 2009). Özellikle luteolin ve kafeik asit, antioksidan ve anti-inflamatuar özellikleriyle damar sertliği ve kalp hastalıklarına karşı koruyucu etki gösterir (Kris-Etherton ve ark., 2002).

b. Sindirim sistemi üzerindeki faydaları

Enginar, sindirim sağlığını destekleyen birçok bileşen içerir. Özellikle yüksek lif içeriği, sindirimi kolaylaştırır ve bağırsak sağlığını korur. Enginarda bulunan inülin, bir tür prebiyotik lif olup, bağırsaktaki yararlı bakterilerin büyümesini teşvik eder. Bu da sindirim sisteminin düzenli çalışmasına yardımcı olur ve bağırsak sağlığını destekler (Roberfroid, 2007).

Enginarın yapısında bulunan sinearin, safra üretimini artırarak yağların sindirimini kolaylaştırır ve karaciğer sağlığını destekler. Artan safra akışı, yağların daha etkili bir şekilde sindirilmesine ve emilmesine yardımcı olur, bu da genel sindirim sağlığını iyileştirir (Wright ve ark., 2007). Ayrıca, enginarın sindirimi teşvik edici ve mide rahatsızlıklarını hafifletici etkileri de bilinmektedir.

c. Anti-enflamatuar ve antioksidan etkiler

Enginar, anti-enflamatuar ve antioksidan özelliklere sahip çeşitli bileşenler içerir. Bu özellikler, kronik hastalıkların önlenmesi ve genel sağlık durumunun iyileştirilmesi açısından önemlidir. Enginar, luteolin, kafeik asit ve klorojenik asit gibi fenolik bileşikler, güçlü anti-enflamatuar etkiler gösterir. Bu bileşikler, vücuttaki enflamasyon seviyelerini düşürerek eklem iltihabı ve diğer enflamatuar hastalıkların semptomlarını hafifletebilmektedir. (Seelinger ve ark., 2008).

Antioksidanlar, serbest radikallerin neden olduğu hücre hasarını önleyerek yaşlanma sürecini yavaşlatır ve kanser gibi kronik hastalıkların riskini azaltır (Scalbert ve ark., 2005). Enginarın yüksek antioksidan içeriği, onu oksidatif stresle mücadelede etkili bir gıda haline getirir. Özellikle silimarin, karaciğer sağlığını koruyan ve toksinlerden arınmasına yardımcı olan güçlü bir antioksidandır (Kroll ve ark., 2007).

d. Kanser Üzerine Etkisi

Enginarın bileşimindeki birçok fitokimyasal maddenin, kanser ajanlarının salgılanmasını engelleyerek kansere ilişkin anjiyogenezi inhibe edebileceği belirtilmektedir (Sokkar ve ark., 2020). Aynı zamanda enginar, prostat kanseri, meme kanseri ve lösemisinin önlenmesi ve tedavisine katkıda bulunabilecek birçok güçlü polifenol tipte antioksidan bulunduğu söylenmektedir. Çalışmalar, enginar yaprağında bulunan rutin, kuersetin ve gallik asidin apoptoziyi indükleyebildiğini ve kanser hücrelerinin çoğalmasını azalttığını göstermiştir (Salem ve ark., 2015). Aynı zamanda, enginarın yenilebilir kısımlarından elde edilen polifenol özütlerinin, göğüs kanseri hücre dizilerini inhibe eden ve dolayısıyla kemopreventif ve antikanser diyet bileşikleri gibi davranan potansiyel sağlıklı in vitro etkiler göstermiştir (Mileo ve ark., 2015). Safra Salgısına Etkisi

e. Kolesterol Düşürücü Etkisi

Enginarın kolesterol ve trigliserid düşürücü etkisinin olduğu ve kolesterol düzeylerini dengelediği gözlemlenmiştir (Santos ve ark., 2018).

Primer hiperkolesterolemili fazla kilolu bireyler üzerine (n=92) gerçekleştirilen çift kör, plasebo kontrollü bir randomize klinik çalışmada, enginar yaprağı ekstraktı takviyesinin (250 mg/gün/8 hafta), toplam kolesterol ve LDL düzeylerinde bir azalma ve HDL düzeylerinde bir artış sağladığı görülmüştür (Rondanelli ve ark., 2013).

f. Karaciğer Sağlığı Üzerine Etkisi

Enginar karaciğer sağlığının devamı için ve karaciğer hastalıklarının tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Hepatektomi sonrası karaciğer rejenerasyonunun hızlandırılmasına destek olduğu yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Rodriguez ve ark., 2002; Speroni ve ark., 2003; Salem ve ark., 2015). Kaymaz ve Kandemir'in (2016) yapmış oldukları çalışmada, enginar yaprağı sulu ekstraktının malondialdehit seviyelerini düşürürken antioksidan parametrelerde ve histopatolojik bulgularda iyileşmeye neden olarak farelerde alfa-amanitin ile oluşturulmuş karaciğer hasarını iyileştirdiği belirlenmiştir.

g. Kan Şekeri Üzerine Etkisi

Heidarian ve Soofiniya'nın (2011), diyabetik fareler üzerinde yürüttükleri bir çalışmada, kontrol grubu, diyabetik grup, diyabetik ve 200 mg/kg/gün enginar yaprağı ekstraktı verilen grup ve diyabetik ve 400 mg/kg/gün enginar yaprağı ekstraktı verilen grup olmak üzere toplam 4 grubun plazma glukoz konsantrasyonları karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstrakt verilerek tedavi edilen diyabetik sıçanların glukoz seviyesi tedavi uygulanmayan diyabetik sıçanlara göre anlamlı ölçüde azalma göstermiş, dozlar arasında ise anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir (Heidarian ve Soofiniya, 2011). (Nazni ve ark., 2006), yürüttüğü bir çalışmada ise günlük 6 g/kg doz olarak verilen enginar yaprağı sulu ekstraktının açlık kan şekerini 163 mg/dL'den 138 mg/dL düzeyine; tokluk kan şekerini ise 262 mg/dL'den 241 mg/dL düzeyine düşürdüğü belirlenmiştir

Enginarın Bozulma Süreci ve Faktörleri

Enginar, hasattan sonra hızlı bir şekilde bozulabilen bir sebzedir. Bu bozulma süreci, hem enginarın içsel özellikleri hem de dış çevre koşulları tarafından etkilenecek taze enginarın kalitesini ve besin değerini korumayı

zorlaştırmaktadır. Enginarın bozulma süreci, çeşitli faktörlerden etkilenmekte ve bu faktörlerin kontrolü, enginarın raf ömrünün uzatılmasında kritik öneme arz etmektedir (Ricci ve ark., 2013).

Bozulmayı Hızlandıran Faktörler

Enginarın hasat sonrası bozulmasında rol oynayan faktörler sıcaklık, nem ve fiziksel etkiler olarak gözlemlenebilmektedir. Fiziksel faktörler, mekanik hasar gibi çevresel koşulları kapsarken, sıcaklık ve nem ise depolama sıcaklığı, nem, atmosfer bileşimi, enginarın yapısına etki etmektedir (Kader, 2002). Özellikle sıcaklık ve nem enginarın yapısını olumsuz yönde etkileyen önemli bir faktördür.

a. Sıcaklık ve nem

Sıcaklık ve nem, enginarın bozulma sürecinde en önemli faktörler arasında yer alır. Yüksek sıcaklıklar, mikrobiyal büyümeyi hızlandırarak ve enzimatik aktiviteleri artırmaktadır. Bu da enginarın daha hızlı bozulmasına neden olmaktadır (Cantwell ve Reid, 1993). Özellikle 10°C'nin üzerindeki sıcaklıklar, enginarın kalitesinin hızla düşmesine yol açar. Düşük sıcaklıklar ise, mikrobiyal aktiviteleri ve enzimatik bozulmayı yavaşlatarak enginarın raf ömrünü uzatır. Ayrıca, yüksek sıcaklık ve nem koşullarının enginarın patolojik bozulmalarını hızlandığı vurgulanmıştır (UC Davis Postharvest Technology Center, 2024).

Nem de enginarın bozulmasında kritik bir rol oynar. Yüksek nem seviyeleri, küf ve bakteri gelişimini teşvik eder, bu da enginarın çürümesine yol açar (Kader, 2002). Nem kontrolünün sağlanamaması, enginarın yüzeyinde su birikmesine ve böylece mikrobiyal kontaminasyona neden olabilir. Doğan ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada, enginarın %89,22 oranında su içerdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, enginarın düşük nemli ortamlarda saklanması, bozulmayı yavaşlatmada etkili bir yöntemdir.

b. Fiziksel hasar

Fiziksel hasar, enginarın bozulma sürecini hızlandıran bir diğer önemli faktördür. Hasat, taşıma ve depolama sırasında meydana gelen fiziksel hasarlar, enginarın hücre duvarlarının zedelenmesine neden olur. Bu durum, mikrobiyal

patojenlerin ve enzimlerin enginarın iç dokularına kolayca erişmesini sağlar ve bozulmayı hızlandırır (Kays, 1991). Buna göre fiziksel hasarın enginarın bozulma sürecini önemli ölçüde hızlandırdığı belirtilebilir.

Fiziksel hasar, aynı zamanda enginarın estetik görünümünü de bozar ve pazarlanabilirliğini azaltır. Hasarlı bölgeler, daha hızlı su kaybeder ve kahverengi lekelerin oluşumuna neden olabilir. Bu tür zararlar, enginarın tüketici gözünde kalitesini düşürür ve raf ömrünü kısaltmaktadır (UcDavis, 2020).

Enginarın bozulma sürecini etkileyen bu faktörlerin kontrol edilmesi, hem taze enginarın kalitesinin korunmasını hem de ekonomik kayıpların azaltılmasını sağlar. Doğru sıcaklık ve nem kontrolü ile fiziksel hasarların en aza indirilmesi, enginarın tazeliğini ve besin değerini korumada önemli adımlardır (Dadero ve ark., 2021).

Mikroorganizma ve Enzim Aktiviteleri

Enginarın bozulma süreci, mikroorganizma ve enzim aktivitelerinden büyük ölçüde etkilenir. Bu iki faktör, enginarın tazeliğini ve besin değerini korumada kritik rol oynar. Mikroorganizma ve enzim aktivitelerinin kontrol edilmesi, enginarın raf ömrünün uzatılmasında önemli bir stratejidir.

a. Bakteri ve küf gelişimi

Mikroorganizmalar, özellikle bakteriler ve küfler, enginarın bozulmasında önemli bir rol oynar. Hasat sonrasında enginar, çeşitli patojenik ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalarla kontamine olabilir. Bu mikroorganizmalar, uygun sıcaklık ve nem koşullarında hızla çoğalabilir ve enginarın çürümeye neden olabilir (Cantwell ve Reid, 1993; Kader, 2002).

Bakteri ve küflerin gelişimi, enginarın yüzeyinde veya iç dokularında bozulmaya yol açar. Özellikle *Pseudomonas* ve *Erwinia* gibi bakteriler, enginarda yumuşama ve renk değişikliklerine neden olabilir. Küfler ise, özellikle yüksek nemli ortamlarda hızla büyüyerek enginarın yüzeyinde lekeler ve çürüme oluşturabilir. Bu tür mikroorganizmaların kontrol altına alınması, enginarın bozulmasını önlemek için kritik öneme sahiptir (Kader, 2002).

b. Enzimatik bozulma süreçleri

Enzimatik esmerleşme, enginarın bozulma sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Meyve ve sebzelerde, mekanik zedelenmelerle bazı renk değişimleri ortaya çıkar. Bu renk değişimlerine "esmerleşme" denir.

Esmerleşme, enzimatik esmerleşme ve enzimatik olmayan esmerleşme olarak ikiye ayrılır. Enzimatik esmerleşme, polifenol oksidaz (PPO) enzimlerinin fenolik bileşikler oksitlemesi ile başlar. Bu süreç, açık renkli meyve ve sebzelerin (kayısı, elma, armut, patates vb.) dokularındaki fenolik maddelerin o-kinonlara dönüşmesi ile devam eder. O-kinonlar daha sonra enzimatik olmayan oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonları ile melanoidinlere dönüşür, bu da ürünlerin esmerleşmesine neden olur (Hepsağ ve ark., 2016).

Enzimatik esmerleşmeyi önlemek için çeşitli teknikler kullanılabilir. Şoklama, soğutma, dondurma, pH düzenleme, kurutma, ışınlama, yüksek basınç işlemi, ultrafiltrasyon ve inhibitör maddeler kullanma bu tekniklerden bazılarıdır. Bu yöntemler, enzim yapısını bozarak, ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek veya enzimin aktif uçlarına bağlanarak esmerleşme reaksiyonlarını engelleyebilir (Özdemir, 2015).

Antioksidanlar da enzimatik esmerleşmeyi önlemede etkili olabilir. Antioksidanlar, ortamda bulunan aktif oksijenle tepkimeye girerek oksijeni yapısına bağlar ve fenolik bileşiklerin oksidasyonunu önler. Özellikle nar kabuğu, adaçayı, biberiye ve yeşil çay gibi bitkisel ekstraktlar, enzimatik esmerleşmeyi önlemede kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda, nar kabuğu ekstraktının elma, muz ve patates gibi model gıdalarda enzimatik esmerleşmeyi önemli ölçüde engellediği gösterilmiştir (Numanoğlu ve Çelik, 2018).

Enginar Muhafaza Yöntemleri

Enginar (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.), yüksek besin değeri ve kendine özgü lezzetiyle Akdeniz mutfağının vazgeçilmez sebzelerinden biridir (Özcan, 2020). Ancak hasat sonrası hızlı bir şekilde bozulma eğilimi göstermesi nedeniyle, enginarın besin değerini ve tazeliğini korumak için çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir (Doğan ve ark., 2023). Bu yöntemler arasında

dondurma, kurutma ve fermentasyon başlıca seçenekler olarak öne çıkmaktadır.

Enginarın Dondurularak Muhafazası

Dondurarak muhafaza, enginarın tazeliğini ve besin değerini uzun süre korumak için en etkili yöntemlerden biridir (Demiray ve Tülek, 2010). Dondurma işlemi, düşük sıcaklık sayesinde enzimatik reaksiyonları yavaşlatır ve mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek enginarın bozulmasını önler (Doğan ve ark., 2023).

Dondurma Öncesi Hazırlık İşlemleri (Blanşlama vb.)

Dondurma işlemine başlamadan önce enginarın bazı hazırlık aşamalarından geçirilmesi gerekmektedir (Durmuş, 2019). Dondurma öncesi hazırlık işlemleri, enginarın dondurma sürecine hazırlanması ve muhafaza sırasında kalite kaybının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Blanşlama, bu işlemler arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Blanşlama, enzimlerin inaktive edilmesi ve mikrobiyal yükün azaltılması yoluyla enginarın renk, tat ve besin değerlerinin korunmasına yardımcı olur. Bunun yanı sıra, enginarların temizlenmesi, kesilmesi ve asidik solüsyonlarla işlenmesi gibi diğer hazırlık işlemleri de dondurma sürecinin etkinliğini artırmaktadır (Fellows, 2022).

a. Blanşlama süreci ve önemi

Blanşlama, sebzelerin dondurulmadan önce kısa süreli olarak sıcak suya veya buhara maruz bırakılması işlemidir. Bu süreç, enzimlerin inaktive edilmesi, mikrobiyal yükün azaltılması ve dokunun korunması amacıyla yapılır. Blanşlama, özellikle polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidaz (POD) gibi enzimlerin aktivitelerini durdurarak, enginarın dondurulduktan sonra renk değişimini ve lezzet kaybını minimize eder (Öz, 2013; Kader, 2002). Blanşlama süresi ve sıcaklığı, sebzenin türüne ve dokusuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Enginarlar için genellikle 85-100°C sıcaklıkta 2-5 dakika blanşlama uygundur (Öz, 2013).

Blanşlama işlemi, enginarın besin değerlerini koruma açısından da kritik bir rol oynar. Isıya duyarlı vitaminlerin kaybını en aza indirir ve sebzenin besin değerlerini dondurma süresince muhafaza eder (Kader, 2002). Ayrıca,

blanşlama sırasında hücre duvarları yumuşar, bu da dondurma sırasında hücre zarlarının patlamasını önleyerek yapısal bütünlüğün korunmasını sağlar (Kays, 1991).

b. Diğer hazırlık işlemleri

Enginarların tüketime hazırlanmasında blanşlama dışında çeşitli hazırlık işlemleri de önemlidir. Öncelikle, enginarlar dikkatlice temizlenmeli ve dış yaprakları ve sert kısımları ayıklanmalıdır (Icier, 2009). Temizleme işlemi, sebzenin yüzeyindeki kir ve mikroorganizmaların uzaklaştırılmasını sağlar. Ayrıca, enginarın yenilebilir kısmı olan kalbi çıkartılır ve istenilen boyutlarda dilimlenir. Dilimleme işlemi sırasında enginarın kararmasını önlemek için limonlu su gibi asidik çözeltiler kullanılabilir (Guida ve ark., 2013). Enginarların pişirilmesi veya dondurulması için yapılan ön işlemler, sebzenin lezzetini ve besin değerini korumak açısından kritiktir. Dondurma öncesi enginarların şoklanması, hücre yapısının korunmasına yardımcı olur ve çözülme sırasında dokusunun bozulmasını engeller (Altunyan ve ark., 2017). Bu işlemler, enginarın besin değerini ve tazeliğini uzun süre koruyarak, tüketiciye en iyi kalitede ürün sunulmasını sağlar (Guida ve ark., 2013).

Dondurma Teknikleri ve Süresi

Dondurma, gıdaların besin değerini ve tazeliğini korumak için yaygın olarak kullanılan bir muhafaza yöntemidir. Bu süreçte gıdalar, mikroorganizmaların ve enzimlerin aktivitesini durdurmak amacıyla düşük sıcaklıklara getirilir. Dondurma teknikleri, kullanılan ekipman ve süreçlere göre farklılık gösterebilir.

a. Dondurma yöntemleri

Enginarın dondurulması için iki ana yöntem bulunmaktadır:

Yavaş Dondurma: Ev tipi derin dondurucularda uygulanan bu yöntemde, enginarlar -18°C veya daha düşük sıcaklıklarda dondurulur (Demiray ve Tülek, 2010). Ancak, bu yöntemde daha büyük buz kristalleri oluşabilir ve bu da dokusal bozulmalara neden olabilir.

Hızlı Dondurma: Endüstriyel ölçekte kullanılan bu yöntemde, enginarlar çok daha düşük sıcaklıklarda (-30°C ve altı) dondurulur. Hızlı dondurma, daha küçük buz kristalleri oluşmasını sağlar. Bu yöntem, buz kristallerinin küçüklüğü nedeniyle hücre zarlarının zarar görmesini minimize eder ve enginarın dokusal bütünlüğünü korur (Demiray ve Tülek, 2010).

b. İdeal dondurma süresi ve koşulları

Dondurma süresi, kullanılan yöntem ve enginar parçalarının boyutuna göre değişir (Alibaş, 2008). Derin dondurucularda, enginarın tamamen donması genellikle birkaç saat sürer. Hızlı dondurma yönteminde ise bu süre çok daha kısadır. Dondurulmuş enginarlar, hava geçirmez kaplarda veya buzdolabı poşetlerinde -18°C 'de veya daha düşük sıcaklıklarda saklanmalıdır. Uygun koşullarda, dondurulmuş enginar 6 ila 8 ay boyunca saklanabilir (Durmuş, 2019).

Dondurmanın Besin Değeri Üzerindeki Etkileri

Dondurma, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve besin değerini korumak amacıyla kullanılan etkili bir muhafaza yöntemidir. Dondurma işlemi, düşük sıcaklıklarda mikroorganizma aktivitesini ve enzimatik reaksiyonları yavaşlatarak besinlerin bozulmasını engellemektedir (Kader, 2002).

Dondurma işlemi, enginarın besin değerini büyük ölçüde korumaktadır. C vitamini gibi bazı vitaminlerde kısmi kayıplar olsa da diğer besin maddeleri (lif, mineraller, proteinler) önemli ölçüde yerini korumaktadır (Rickman ve ark., 2007). Ayrıca, dondurma işlemi, doğru şekilde uygulandığında, enginarın lezzet ve dokusunu da büyük ölçüde koruyarak taze enginara yakın bir tüketim deneyimi sunmaktadır (Demiray ve Tülek, 2010).

a. Besin maddelerinin korunması

Dondurma işlemi, enginardaki vitamin ve mineral içeriğini büyük ölçüde korur. Örneğin, C vitamini, folat ve magnezyum gibi önemli besin maddeleri, dondurma sırasında büyük oranda muhafaza edilir (Rickman, ve ark., 2007). Ancak, dondurma sırasında bazı vitaminlerde, özellikle C vitamini gibi suda çözünen vitaminlerde minimal kayıplar meydana gelebilir. Bununla birlikte, bu

kayıplar genellikle ihmal edilebilir düzeydedir ve dondurulmuş enginarın besin değeri, taze enginara oldukça yakındır.

b. Lezzet ve dokunun korunması

Dondurma işlemi, enginarın lezzet ve dokusunu koruma açısından da etkilidir. Enginar, dondurma işlemi sırasında hücre yapısını büyük ölçüde korur, bu da lezzet ve dokunun taze kalmasını sağlar (Fellows, 2009). Dondurma öncesinde yapılan blanşlama işlemi, enzimatik aktiviteyi durdurarak rengin ve lezzetin korunmasına katkıda bulunur. Ayrıca, hızlı dondurma teknikleri kullanılarak büyük buz kristallerinin oluşumu engellenir ve böylece dokunun zarar görmesi minimize edilir.

Dondurma işlemi, enginarın besin değerini ve duyuşal özelliklerini korumada etkili bir yöntemdir. Uygun dondurma teknikleri kullanılarak besin maddelerinin kaybı minimize edilirken, lezzet ve doku da büyük ölçüde muhafaza edilebilir. Bu sayede, tüketicilere yüksek kalitede ve besleyici dondurulmuş enginar sunulabilir.

Kurutarak Muhafaza

Kurutma, gıdaların muhafaza edilmesinde kullanılan en eski ve en yaygın yöntemlerden biridir (Hepsağ ve ark., 2016). Bu yöntem, enginardaki su içeriğini azaltarak mikroorganizmaların büyümesini engeller ve ürünün raf ömrünü uzatır (Şahin ve ark., 2020).

Kurutma Teknikleri

Enginarın kurutulmasında farklı teknikler kullanılmaktadır. Aşağıda en yaygın kurutma teknikleri ve bu tekniklerin etkileri incelenecektir.

a. Güneş kurutma

Güneş kurutma, en eski ve en yaygın kullanılan kurutma yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, ürünlerin doğrudan güneş ışığına maruz bırakılması ile gerçekleştirilir. Güneş kurutma, düşük maliyetli ve enerji tasarruflu bir yöntemdir, ancak ürünlerin hava koşullarına, toz ve kir gibi dış etkenlere maruz kalma riski bulunmaktadır (Ekechukwu & Norton, 1999).

b. Fırın kurutma

Fırın kurutma, kontrollü sıcaklık ve nem koşulları altında gerçekleştirilen bir kurutma yöntemidir. Bu yöntem, ürünlerin daha homojen bir şekilde kurutulmasını sağlar ve daha kısa sürede sonuç verir. Fırın kurutma sırasında besin değerlerinin korunması, kullanılan sıcaklık ve süreye bağlıdır. Ancak yüksek sıcaklıklar enginarın besin değerini ve rengini olumsuz etkileyebilir (Şahin ve ark., 2020).

c. Vakumlu kurutma

Vakumlu kurutma, enginar dilimlerinin kurutulmasında kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu teknik, düşük basınç altında suyun daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmasını sağlar, böylece besin maddeleri ve antioksidan kapasite daha iyi korunur. Yapılan çalışmalar, vakumlu kurutmanın enginar dilimlerinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Bu yöntem, yüksek kaliteli kurutulmuş ürünler elde etmek için tercih edilir (Şahin ve ark. 2020). Ayrıca yapılan çalışmalarda vakum kurutmanın enginarın besin değerini koruyarak tüm mevsimlerde tüketilmesini sağlayan uygun bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Kurutma, gıdaların besin değerini koruyarak saklama süresini uzatan önemli bir muhafaza yöntemidir. Enginar gibi sebzelerin kurutulması, besin maddelerinin yoğunlaşmasını ve mikrobiyal bozulmaların önlenmesini sağlar. Ancak bu yöntem, bazı dezavantajlar ve olası problemler de içermektedir.

a. Kurutmanın besin değeri ve saklama süresi üzerindeki etkileri

Kurutma işlemi, enginarın içeriğindeki suyun büyük bir kısmını uzaklaştırarak mikrobiyal aktiviteyi ve enzimatik reaksiyonları yavaşlatır. Bu sayede enginarın raf ömrü uzar ve besin değerleri büyük ölçüde korunur (Kader, 2002). Kurutma işlemi, enginarın saklama süresini önemli ölçüde uzatır. Uygun koşullarda saklandığında kurutulmuş enginarlar aylarca hatta yıllarca dayanabilmektedir. Ancak Şahin ve ark. (2020), kurutma işlemi sırasında özellikle C vitamini gibi bazı besin maddelerinin kısmen kayba uğrayabileceğini belirtmektedir.

b. Dezavantajları ve olası problemler

Kurutma işlemi, doğru uygulanmadığında gıdaların kalitesini olumsuz etkileyebilir. Yüksek sıcaklıklar, gıdaların renginin koyulaşmasına ve besin değerinin azalmasına neden olabilir. Ayrıca, kurutma sırasında nem kontrolü iyi yapılmazsa, küf oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkabilir (Hepsağ ve ark., 2016).

Besin Maddesi Kayıpları: Kurutma sırasında özellikle C vitamini gibi suda çözünen vitaminlerde kayıplar yaşanabilir. Bu kayıplar, kullanılan sıcaklık ve kurutma süresine bağlıdır (Lewicki, 2006).

Renk ve Lezzet Değişiklikleri: Yüksek sıcaklıklar, enginarın renginde kararmalara ve lezzetinde değişikliklere neden olabilir. Bu durum, tüketici kabulünü olumsuz etkileyebilmektedir.

Maliyet ve Ekipman: Kurutma işlemi, özellikle kontrollü ortamlar gerektiren fırın ve vakumlu kurutma yöntemlerinde maliyetli olabilir. Ayrıca, uygun kurutma ekipmanının temini ve bakımı da ek maliyetler getirebilir (Mujumdar, 2006).

Kurutulmuş Enginarın Saklama Koşulları

Kurutulmuş enginarın besin değerini ve kalitesini koruyabilmek için uygun saklama koşulları gereklidir. Aşağıda ideal saklama koşulları ve saklama süresi ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

a. İdeal saklama koşulları

Kurutulmuş gıdalar serin, kuru ve karanlık bir yerde saklanmalıdır. Hava geçirmez kaplar veya vakumlu poşetler, ürünün nemlenmesini ve böceklenmesini önlemek için idealdir (Hepsağ ve ark., 2016).

Kurutulmuş enginarların ideal saklama koşulları, düşük sıcaklık ve düşük nem oranı içeren ortamlarda sağlanmalıdır. Özellikle, 10-15°C arasında bir sıcaklık ve %60'ın altında bir nem oranı, kurutulmuş enginarın besin değerini ve kalitesini koruması için en uygun koşullardır. Bu koşullar, mikrobiyal gelişimi ve oksidatif bozulmayı en aza indirir. Düşük nem, ürünlerin küf ve bakteri gibi mikroorganizmalar tarafından bozulmasını önlemektedir (Ekechukwu ve Norton, 1999; Fellows, 2009).

b. Saklama süresi ve şartları

Kurutulmuş yiyecekler, uygun koşullarda saklandığında 6 ila 12 ay arasında tazeliğini koruyabilir. Saklama süresi, ürünün kurutma yöntemine ve ambalajlama şartlarına bağlıdır. Vakumlu veya modifiye atmosferde paketlenme, saklama süresini uzatabilir ve besin kaybını en aza indirir. Ayrıca, kurutulmuş gıdaların uygun şekilde koşullandırılması, saklama süresini ve kalitesini iyileştirebilmektedir (USU Extension, 2020).

Bu saklama koşulları, kurutulmuş enginarların uzun süreli muhafazasında etkin bir şekilde kullanılabilir ve ürünlerin besin değerini, lezzetini ve dokusunu koruyarak tüketiciye yüksek kaliteli ürünler sunulmasını sağlamaktadır.

Enginarın Fermente Edilerek Muhafazası

Fermentasyon, enginarın muhafaza edilmesinde kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu yöntem, enginarın laktik asit bakterileri tarafından fermente edilmesiyle gerçekleşir.

Fermentasyon Süreci ve Faydaları

Fermentasyon, gıdaların besin değerini korumak ve raf ömrünü uzatmak için kullanılan etkili bir muhafaza yöntemidir. Bu süreç, mikroorganizmaların organik bileşenleri daha basit maddelere parçaladığı biyokimyasal bir işlem olarak tanımlanır (Strickland, 2024).

a. Fermentasyonun biyolojik temelleri

Fermentasyon, enginar üzerinde doğal olarak bulunan laktik asit bakterilerinin, enginardaki şekerleri laktik aside dönüştürmesiyle gerçekleşir. Bu süreç, enginarın pH değerini düşürerek zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını engellemektedir (Sajjad, 2020).

Fermentasyon, mikroorganizmaların organik bileşenleri daha basit maddelere parçaladığı biyokimyasal bir süreçtir. Bu süreç genellikle oksijen yokluğunda gerçekleşir ve glikoz gibi karbonhidratların laktik asit, etanol ve karbon dioksit gibi ürünlere dönüştürülmesini içerir. Fermentasyon sürecinde, mikroorganizmalar enzimler aracılığıyla substratları metabolize eder ve enerji üretirler (Britannica, 2024). *Lactobacillus* ve *Leuconostoc* gibi laktik asit

bakterileri, enginarın fermentasyonunda yaygın olarak kullanılır ve bu bakteriler, besinlerin bozulmasını önleyerek raf ömrünü uzatır (Khan Academy, 2024).

b. Besin değeri ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri

Fermentasyon, sadece gıdaların korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda besin değerlerini de artırır. Fermente edilmiş enginar, probiyotikler bakımından zengin olup, sindirim sağlığını iyileştirir ve bağışıklık sistemini güçlendirir. Ayrıca, fermentasyon süreci sırasında vitamin B12 gibi bazı vitaminlerin sentezi artar ve bu da gıdaların besleyici değerini yükseltir. Fermente gıdalar, bağırsak mikrobiyotasını dengeler ve anti-inflamatuar özellikler gösterir (Shah ve ark., 2023). Fermentasyon süreci, gıdaların besin değerini artıran ve sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlayan önemli bir muhafaza yöntemidir. Bu süreç, hem besinlerin daha uzun süre taze kalmasını sağlar hem de tüketiciye sağlık açısından faydalı bileşenler sumaktadır (Sajjad, 2020).

Fermente Ürünlerin Depolanması ve Raf Ömrü

Fermente ürünlerin uygun şekilde depolanması, bu ürünlerin besin değerini ve kalitesini korumak için çok önemlidir (Strickland, 2024). Aşağıda, fermente edilmiş enginar gibi ürünlerin ideal saklama koşulları ve raf ömrü ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

a. Fermente ürünlerin ideal saklama koşulları

Fermente edilmiş enginarların saklanması için uygun koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar, mikroorganizmaların aktivitelerini minimal seviyede tutarak ürünlerin bozulmasını önler ve besin değerlerini korur. Fermente ürünlerin ideal saklama sıcaklığı, genellikle buzdolabı sıcaklığı olan 4°C civarındadır. Bu sıcaklık, laktik asit bakterilerinin ve diğer mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini yavaşlatarak ürünün daha uzun süre taze kalmasını sağlar (Adams ve Nicolaides, 1997).

Fermente ürünler, hava geçirmez kaplarda saklanmalıdır. Bu, oksidasyon ve kontaminasyonu önler. Cam kavanozlar veya plastik kaplar, fermente ürünlerin saklanması için uygundur. Fermente ürünler, doğrudan güneş ışığından korunmalıdır. Güneş ışığı, ürünlerin bozulmasına neden olabilir. Ürünler karanlık ve serin bir yerde saklanmalıdır (Tamang ve ark., 2016).

b. Raf ömrü ve kalitenin korunması

Fermente ürünlerin raf ömrü, uygun saklama koşulları sağlandığında önemli ölçüde uzar. Raf ömrü, ürünün fermente edilme sürecine ve kullanılan mikroorganizmaların türüne bağlı olarak değişir. Fermente edilmiş enginarların buzdolabında saklanması durumunda, raf ömrü 6 ay ile 1 yıl arasında olabilir (Sánchez-Guijarro, 2020).

Kalitenin korunması için, ürünlerin düzenli olarak kontrol edilmesi önemlidir. Renk, koku ve tat değişiklikleri, ürünün bozulmaya başladığını gösterebilir. Ayrıca, kapların düzenli olarak açılıp kapatılması da oksidasyonu arttırabileceğinden, ürünleri mümkün olduğunca hava almayan kaplarda saklamak önemlidir (Tamang ve ark., 2016).

Modifiye Atmosfer Paketleme (MAP)

Modifiye atmosfer paketleme (MAP), gıdaların raf ömrünü uzatmak ve kaliteyi korumak amacıyla kullanılan bir ambalajlama yöntemidir. Bu yöntem, ambalajın içindeki gaz kompozisyonunu değiştirerek gıdaların bozulmasını yavaşlatmakta ve tazeliğini korumaktadır. MAP, ambalaj içerisindeki oksijen, karbondioksit ve azot gazlarının konsantrasyonlarını değiştirmek suretiyle gıdaların bozulmasını yavaşlatır. Oksijen miktarı azaltılırken, karbondioksit ve azot miktarları artırılır. Bu değişiklikler, mikroorganizmaların ve enzimlerin aktivitesini yavaşlatır, böylece gıdaların raf ömrü uzar (Kader, 2002).

MAP'in Enginar Üzerindeki Etkileri;

Enginar, hızlı bozulabilen bir sebze olduğu için, MAP kullanımı, tazeliğin ve besin değerinin korunmasında büyük fayda sağlar. MAP, enginarın renk değişimlerini, dokusal bozulmaları ve mikrobiyal kontaminasyonu azaltır. Ayrıca, vitamin ve mineral kayıplarını en aza indirmektedir (Zagory ve Kader, 1988).

Sitrik asit (%1) ve kalsiyum klorür (%10) hem daldırmanın hem de aktif sodyum alginat ile kaplamanın pasif MAP uygulaması ile kullanımı, minimum işlenmiş “Lampascioni” (Muscari comosum) ve taze kesilmiş “Madrigal” enginarlarının mikrobiyolojik ve fizikokimyasal raf ömrünü uzatmak için çalışılmıştır. Pasif MAP’ın aktif kaplama ile kombinasyonu, mikrobiyal üremenin yanı sıra, esmerleme prosesi ile solunum aktivitesini de

geciktirmiştir. Dolayısıyla, taze kesilmiş enginarların raf ömrü 1 günden 3 güne çıkarken, lampascioninin raf ömrü ise 6 günden 13 güne çıkmıştır (Öz ve Süfer, 2013).

MAP'in Sağladığı Avantajlar;

MAP, mikroorganizmaların büyümesini ve enzimatik reaksiyonları yavaşlatarak gıdaların raf ömrünü uzatır. Vitaminler ve mineraller gibi besin maddelerinin korunmasına yardımcı olur. Gıdaların görünümünü, tadını ve dokusunu koruyarak tüketici memnuniyetini artırır.

MAP'in Dezavantajları ve Zorlukları;

MAP teknolojisi, geleneksel ambalajlama yöntemlerine göre daha maliyetlidir. Doğru gaz karışımını sağlamak teknik bilgi ve hassas ekipman gerektirir. MAP için özel bariyer özellikli ambalaj malzemeleri gereklidir, bu da maliyeti artırabilmektedir.

Enginarın İşlenmiş Ürünlere Dönüştürülmesi

Enginar, işlenmiş ürünlere dönüştürülerek besin değeri korunabilir ve raf ömrü uzatılabilir. Konserve yapımı, enginarın işlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

Konserve Enginar

a. Konserve yapım süreci

Konserve yapımı, enginarın uygun şekilde hazırlanarak hava geçirmez kaplarda uzun süre saklanmasını sağlayan bir işlemdir. Bu süreç genellikle aşağıdaki adımları içermektedir:

Temizleme ve Hazırlık: Enginarlar, dış yaprakları ve sapları kesilerek temizlenir. Enginar başları, bozulmaların ve kirlerin uzaklaştırılması için iyice yıkanır (FAO, 1994).

Blanşlama: Enginarlar, enzimatik aktiviteyi durdurmak ve mikroorganizma yükünü azaltmak amacıyla kısa bir süre sıcak suya daldırılır. Blanşlama işlemi, ayrıca rengin korunmasına da yardımcı olur (Barrett, ve ark., 2005).

Dolum: Blanşlanmış enginarlar, sterilize edilmiş kavanozlara veya kutulara doldurulur. Dolum sırasında, enginarların üzerini kaplayacak şekilde tuzlu su, sirke veya yağ eklenir.

Isıl İşlem: Dolu kavanozlar veya kutular, mikroorganizmaların öldürülmesi ve sterilizasyonun sağlanması amacıyla belirli bir süre ve sıcaklıkta ısıtılma işleminden geçirilir. Bu işlem, ürünün uzun süre bozulmadan saklanmasını sağlar (Jay ve ark., 2005).

Soğutma ve Saklama: Isıl işleminden geçirilen konserve, hızlı bir şekilde soğutularak depolamaya hazır hale getirilir. Konserve enginarlar, serin ve karanlık bir ortamda saklanmalıdır (Barrett, ve ark., 2005).

b. Besin değeri ve raf ömrü

Konserve yapım süreci, enginarın besin değerini büyük ölçüde korurken raf ömrünü de uzatır. Blanşlama ve ısıtılma işlemi, bazı vitaminlerin kaybına neden olabilir, ancak genel olarak besin değerleri korunur. Konserve enginar, doğru saklama koşullarında 1 ila 2 yıl arasında raf ömrüne sahip olabilir.

Besin Değeri: Konserve işlemi sırasında, C vitamini gibi suda çözünen bazı vitaminlerde kayıplar yaşanabilir. Ancak, lif, mineral ve diğer vitaminlerin büyük bir kısmı korunur (Rickman ve ark., 2007).

Raf Ömrü: Konserve enginarlar, serin ve karanlık bir ortamda saklandığında 1 ila 2 yıl arasında tazeliğini korur. Uygun ısıtılma işlemi ve sterilizasyon, mikrobiyal bozulmayı önleyerek ürünün uzun süre dayanmasını sağlar (Jay ve ark., 2005).

Enginar Püresi ve Diğer İşlenmiş Ürünler

Enginar, çeşitli şekillerde işlenerek farklı ürünler elde edilebilen çok yönlü bir sebzedir. Enginar püresi ve diğer işlenmiş ürünler hem kullanım kolaylığı hem de besin değerini koruma açısından tercih edilen yöntemler arasındadır.

a. Püre yapımı ve diğer ürünler

Enginar püresi yapımı, taze enginarların temizlenip buharda veya suda haşlanmasıyla başlar. Haşlandıktan sonra, pürüzsüz bir kıvamda gelene kadar ezilmesi ile

gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında, enginarın besin değerlerini korumak amacıyla dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Örneğin, haşlama süresi fazla uzatılmamalı, böylece vitamin ve mineral kaybı minimumda tutulmalıdır (Attia, 2012). Enginar püresi, çorbalarda, soslarda ve çeşitli yemeklerde kullanılmaktadır.

Enginar püresi dışında, enginar konservesi, enginar turşusu ve enginar yaprakları gibi işlenmiş ürünler de yaygındır. Konserve yapımı sırasında enginarlar uygun şekilde temizlenip doğranarak, tuzlu veya asidik çözeltiler içinde paketlenir ve sterilize edilir. Bu yöntem, enginarın uzun süre saklanabilmesini sağlamaktadır (Ihl ve ark., 1998).

b. Saklama koşulları ve besin değeri

İşlenmiş enginar ürünlerinin saklama koşulları, ürünün türüne ve işleme yöntemine bağlı olarak değişir. Enginar püresi gibi ürünler, dondurularak veya buzdolabında saklanabilir. Dondurularak saklama, besin değerlerinin büyük ölçüde korunmasına yardımcı olur (Guida ve ark., 2013). Buzdolabında saklama ise daha kısa süreli muhafaza için uygundur ve genellikle birkaç gün içerisinde tüketilmesi önerilir.

Konserve enginar ürünleri ise, oda sıcaklığında, serin ve kuru bir yerde saklanabilir. Bu tür ürünler, genellikle aylarca bozulmadan saklanabilir. Ancak, konserveleme sırasında kullanılan tuz ve asidik çözeltiler nedeniyle, taze enginarın bazı besin değerlerinde kayıplar yaşanabilir.

İşlenmiş Ürünlerin Saklama Koşulları ve Raf Ömrü

İşlenmiş gıdaların doğasındaki hassasiyet, uygun saklama koşullarının ve raf ömrünün mükemmel olması gerekliliğinin nedenidir. Bu hassasiyet, gıdaların kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik değişimlere açık olmasından kaynaklanır. Bu nedenle, işlenmiş ürünlerin kalitesini ve güvenliğini korumak için ideal saklama koşullarının sağlanması ve raf ömrünün doğru yönetilmesi kritik öneme sahiptir (Fellows, 2009).

a. İdeal saklama koşulları

İşlenmiş enginar ürünlerinin uygun saklama koşulları, bu ürünlerin tazeliğini ve besin değerini korumak açısından oldukça önem arz etmektedir.

İşlenmiş enginar ürünleri, buzdolabında 4°C'de saklanmalıdır. Düşük sıcaklık, mikroorganizma faaliyetlerini yavaşlatarak ürünün bozulmasını engeller (FAO, 1990). Nem oranı düşük bir ortamda saklanmalıdır. Bu, ürünlerin küflenmesini ve bozulmasını önler (Kader, 2002). Doğrudan güneş ışığından korunmalıdır çünkü güneş ışığı, ürünlerin renk değişimlerine ve besin kayıplarına yol açabilmektedir (El-Mago ve ark., 2017).

b. Raf ömrü ve kalite koruma yöntemleri

İşlenmiş enginar ürünlerinin raf ömrü, uygun saklama koşulları sağlandığında önemli ölçüde uzatılabilmektedir. Hava geçirmez kaplarda saklanmalıdır. Vakum paketlenme veya modifiye atmosfer paketlenme, oksidasyonu ve mikrobiyal kontaminasyonu önleyerek ürün kalitesini korumaktadır (Barrett ve ark., 2005). Ürünlerin düzenli olarak kontrol edilmesi, herhangi bir bozulma belirtisinin erken tespit edilmesini sağlar ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmaktadır (Muratore ve ark., 2015).

Tüketiciye Ulaşana Kadar Tedarik Zinciri ve Soğuk Zincir Yönetimi

Gıdanın insan sağlığı açısından çok önemli bir paya sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda soğuk zincirde tedarik zincirinin neden önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Demirci, 2020). Soğuk zincir, gıda maddelerinin üretim noktasından tüketim noktasına kadar geçen sürede zararlı mikroorganizma ve bakterilerin oluşmasını önlemek ve uygun sıcaklıkta kalmasına sağlamak için soğuk ortamda ürünlerin depolanmasıdır (Korucuk, 2018). Soğuk zincir, lojistiğin önemli bir alt dalı olarak, ürünlerin tedarik zinciri boyunca belirlenen sıcaklık aralıklarında taşınması, depolanması ve dağıtılması sürecini ifade eder. Temel amacı, ürünlerin bozulmadan ve kalite kaybına uğramadan nihai tüketiciye ulaştırılmasıdır. Bu hedefe ulaşmak için soğuk zincir lojistiği hizmet sağlayıcılarının, taşıma araçlarının sıcaklık kontrolü ve izlenebilirliğinin sağlanması, depoların uygun koşullarda işletilmesi, ekipmanların uygunluğu, personel eğitimi ve yasal düzenlemelere uyum gibi birçok faktöre dikkat etmesi gerekmektedir (Erdal ve ark., 2010).

Hasattan Tüketime Kadar Geçen Süreç

Dondurulmuş meyve ve sebze ihracatı üzerine yapılan çalışmalar, ürünlerin tarladan hasat edildikten sonraki 24 saat içinde uygun işlemlerden

geçirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu kritik süreç, ürünlerin tedarik zinciri boyunca kalitesini koruyarak nihai tüketiciye ulaştırılması açısından hayati bir rol oynamaktadır. Başka bir deyişle, hasat sonrası hızlı ve doğru müdahaleler, ürünlerin tazeliğini ve besin değerini muhafaza ederek tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçte bozulmasını engellemektedir. Bu durum, dondurulmuş gıda sektörünün başarısı ve sürdürülebilirliği için temel bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır (Çurkan ve ark., 2012).

a. Hasat sonrası işlemler

Hasat sonrası işlemler, enginarların kalitesinin ve raf ömrünün korunmasında temel adımlardan biridir. Enginarlar hasat edildikten hemen sonra soğutma işlemine tabi tutulmalıdır. Bu soğutma işlemi, hidrocooling, zorlamalı hava soğutma veya paket buzlama gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu işlem, enginarların solunum hızını ve mikrobiyal faaliyetleri azaltarak bozulmayı geciktirir (UC Davis Postharvest Technology Center, 2024).

Enginarların temizlenmesi, sınıflandırılması ve paketlenmesi de önemli adımlardır. Ürünlerin fiziksel hasar görmemesi için dikkatli bir şekilde ele alınması gereklidir. Paketleme sırasında uygun ambalaj malzemeleri kullanılmalı ve ürünler hava geçirmez kaplarda saklanmalıdır (IntechOpen, 2017).

b. Dağıtım ve depolama süreçleri

Enginarların dağıtım ve depolama aşamalarında soğuk zincirin korunması esastır. Optimal depolama sıcaklığı 0°C olup, %95'ten yüksek bir bağıl nem oranı sağlanmalıdır. Bu koşullar, ürünlerin tazeliğini ve kalitesini korur (FAO, 1994). Dağıtım sırasında ürünlerin dikkatli bir şekilde taşınması gereklidir. Uygun ambalaj malzemeleri, ürünlerin zarar görmesini engeller (El-Mogy, 2024).

Soğuk Zincirin Önemi ve Uygulama Yöntemleri

Soğuk zincirin korunması, enginarların taze ve güvenli kalmasını sağlar. Soğuk zincir, ürünlerin hasattan tüketime kadar olan tüm süreçlerinde düşük sıcaklıklarda muhafaza edilmesini içerir. Bu, mikroorganizmaların çoğalmasını ve ürünlerin bozulmasını engellemektedir (UC Davis Postharvest Technology Center, 2024).

a. Soğuk zincirin korunması

Soğuk zincirin etkinliği, gıda güvenliği ile doğrudan ilişkilidir. Gıda güvenliği, tüketicilerin sağlığını korumak adına gıdalarda oluşabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikeleri önlemek için alınan tedbirler bütünüdür (Tosun ve ark., 2012).

Soğuk zincirin korunması, enginarların taze ve güvenli kalmasını sağlamaktadır. Soğuk zincir, ürünlerin hasattan tüketime kadar olan tüm süreçlerinde düşük sıcaklıklarda muhafaza edilmesini içeren bir süreçtir. Bu, mikroorganizmaların çoğalmasını ve ürünlerin bozulmasını engellemektedir (UC Davis Postharvest Technology Center, 2024).

b. Uygulama yöntemleri ve zorlukları

Soğuk zincir uygulamaları, çeşitli soğutma ve depolama tekniklerini içerir. Bu teknikler arasında hidrocooling, zorlamalı hava soğutma ve paket buzlama yer alır. Soğuk zincir yönetimi, doğru ekipman ve teknolojilerin kullanılmasını gerektirir. Enerji maliyetleri, ekipman arızaları ve lojistik problemler, soğuk zincirin etkin bir şekilde yönetilmesini zorlaştırabilir. Bu zorluklar, uygun bakım ve yönetim stratejileri ile aşılabilmektedir (Adewoyin ve ark., 2021).

Demirci, (2020) literatür taraması çalışmasında, soğuk zincirin tedarik zinciri yönetimindeki önemini vurgulamaktadır. Çalışmada, soğuk zincirin kırılmadan müşteriyle buluşmasının temel kriterlerden biri olduğu belirtilmektedir. Zincirdeki kırılmaların taze meyve ve sebzelerde kayıplara yol açtığına dikkat çekilmektedir. Soğuk zincirin korunması, insan sağlığı açısından büyük öneme sahiptir ve bu alanda yapılan çalışmaların sürekli olarak analiz edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Sürdürülebilir Muhafaza Teknikleri

Sürdürülebilir muhafaza teknikleri, çevresel etkileri minimize etmek ve kaynakları verimli kullanarak gıda ürünlerinin kalitesini korumak için geliştirilmiştir. Bu teknikler, çevre dostu muhafaza yöntemleri ve atık yönetimi ile geri dönüşümü kapsamaktadır.

Çevre Dostu Muhafaza Yöntemleri

Ekolojik muhafaza yöntemleri, doğa dostu teknikler kullanarak gıda ürünlerinin tazeliğini ve besin değerini korumayı hedeflemektedir. Bu yöntemler arasında biyolojik kontrol, doğal antimikrobiyal maddeler ve yenilebilir kaplamalar bulunmaktadır.

Gıda endüstrisinde, uçucu yağlar gıda muhafazasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yağlar, antioksidan özellikleri, antimikrobiyal aktiviteleri ve aroma verici ajanları içermeleri nedeniyle birçok biyoaktif bileşiğin ana kaynağıdır. Doğal koruyucular, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve kalitesini korumak amacıyla tercih edilmektedir. Bu koruyucular, tüketici taleplerini karşılamak, gıda kalitesini artırmak ve gıda ürünlerini çevresel faktörlerden korumak için idealdir. Ayrıca, sağlıklı gıda ürünlerine yönelik artan tüketici bilinci, gıdaların güvenliğinin sağlanması için daha alternatif yaklaşımlar geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, doğal koruyucuların kullanımı, gıda güvenliğini ve kalitesini artırmak adına önemli bir rol oynamaktadır (Gökşen ve Gümüş, 2021).

Enerji tasarrufu ve çevre koruma, enginar muhafazasında önemli unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, düşük enerji tüketimi sağlayan soğutma sistemlerinin kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması büyük önem taşımaktadır (Talib ve ark., 2024). Enginarın soğuk hava depolarında düşük enerji tüketimi ile muhafaza edilmesi hem maliyetleri düşürmekte hem de çevresel etkileri minimize etmektedir.

Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Her ne kadar sürdürülebilirlik konusunun temel başlıklarından biri plastik olsa da giderek büyüyen bir sorun olarak organik atıklar gözden kaçırılmaması gereken bir konu. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü FAO'nun verilerine göre ardında 3,3 milyar ton karbon ayak izi bırakan 1,6 milyar ton gıdayı her yıl artan oranda israf ediyoruz. İzmir Ekonomi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım bölümü son sınıf öğrencisi Alara Ertenü yeni çalışmasıyla plastik sorunu ile organik atık sorununu aynı anda ortadan kaldırıyor. Genç tasarımcı, enginar yaprakları ve bezelye kabuklarını

kullanarak yüzde 100 çözünebilir suya dayanıklı sabun ambalajları üreterek geri dönüşüm konusunda bir örnek uygulama yapmıştır (Gören, 2022).



Şekil 1. 2. Biyomalzeme üzerine çalışmalar yürüten Ertenü'nün "Packioli" adlı koleksiyonu

Atık azaltma yöntemleri arasında kompost yapımı, biyogaz üretimi ve sıfır atık politikaları bulunmaktadır. Enginarın kabukları ve diğer organik atıkları, kompost yapılarak toprağa geri kazandırılabilir.

Savlak ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada enginar (*Cynara scolymus* L.) yapraklarının, fonksiyonel kraker üretiminde kullanımının atık yönetimi ve geri dönüşüm olarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada gerek evsel tüketim esnasında gerekse endüstriyel olarak ortaya çıkan enginar yaprağı atığının kurutulup öğütüldükten sonra elde edilen enginar yaprağı tozunun (<850 µm) fonksiyonel kraker üretiminde kullanılmasını amaçlamışlardır. Enginar yapraklarının fonksiyonel gıda üretimine uygun ve katma değeri yüksek bir bileşen olarak özellikle çocukların sıklıkla tükettiği atıştırmalıklar arasında yer alan krakerlerin zenginleştirilmesinde başarıyla uygulandığı tespit edilmiştir.

Enginar unu buğday ekmeğinde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanıldığı bir çalışmada; ekmeğin lif, protein, kül içeriği ile sertlik ve çiğnenebilirliğini artırırken yapışkanlık ve elastikiyetini azaltmıştır (Frutos ve ark., 2008). Öte yandan buğday ununu %5-15 arası oranlarda enginar yaprağı tozu ile ikame edilmesiyle tat, doku veya kabul edilebilirlikten ödün vermeden kalorisi düşürülmüş ekmeğin elde edilmiştir (Khalil, 2002). Enginar atığından elde edilen ve lif bakımından zengin tozlar bisküvi ve diğer fırınlanmış

ürünlerin zenginleştirilmesi için uygun bir alternatif olabilir. Zira diyet lifince zengin enginar tozu katkısıyla üretilen bisküviler ile ticari lif katkısıyla üretilen bisküviler benzer duyuşal karakteristikleri ve genel kabul özellikleri sergilemiştir (San Jose ve ark., 2018).

Gelecekteki Yönelimler ve İnovasyonlar

Yeni Teknolojiler ve Araştırmalar

Gelecekteki yönelimler ve inovasyonlar arasında, enginar ve diğer tarım ürünlerinin muhafaza edilmesinde kullanılacak yeni teknolojiler önemli bir yer tutmaktadır. Bu teknolojiler hem raf ömrünü uzatmayı hem de ürün kalitesini korumayı amaçlamaktadır. Örneğin, yüksek basınçlı işleme (HPP) ve pulsed electric field (PEF) teknolojileri, mikrobiyal yükü azaltırken besin değerlerini ve duyuşal özellikleri koruma potansiyeline sahiptir (Birinci, 2021). Ayrıca, aktif ve akıllı ambalajlama sistemleri, ürünün tazeliğini izleyerek ve bozunmayı geciktirerek daha uzun muhafaza süreleri sağlayabilmektedir (Yüceer ve Caner, 2023). Ayrıca, ışınlama teknolojisi de gıdaların raf ömrünü uzatmak için kullanılan bir başka yenilikçi yöntemdir. Bu süreç, gıdaların DNA'sını etkileyerek mikroorganizmaların çoğalmasını engeller ve böylece bozulmayı önler (Farkas, 2006).

Enginar Muhafazasında İnovatif Yaklaşımlar

Bilimsel araştırmalar, gıda muhafaza tekniklerinde sürekli iyileştirmeler ve yenilikler sağlamaktadır. Örneğin, aktif ambalajlama teknikleri, gıda paketlerinin içerisine oksijen tutucular veya antimikrobiyal maddeler ekleyerek gıdaların tazeliğini korumaktadır. Bu tür ambalajlar, gıdaların raf ömrünü uzatırken, aynı zamanda tüketicilere daha güvenli ürünler sunmaktadır (Ahvenainen, 2003). Ayrıca, nanoteknoloji uygulamaları, gıda muhafaza alanında büyük potansiyele sahiptir. Nanomateryaller, gıdaların kalitesini izlemek ve bozulmayı önlemek için sensörler ve aktif bileşenler olarak kullanılabilmektedir (Duncan, 2011).

Biyoaktif kaplamalar, gıdaların yüzeyine uygulanarak mikrobiyal kontaminasyonu önler ve ürünün raf ömrünü uzatır. Bu kaplamalar, doğal antimikrobiyal ajanlar içerebilmektedir. Genellikle protein, lipit veya polisakkarit bazlı olup, çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilir

niteliktedir. Soğuk plazma, gıda muhafazasında yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu teknoloji, düşük sıcaklıklarda gazların iyonize edilmesiyle elde edilen plazmanın mikrobiyal yükü azaltma ve yüzeydeki patojenleri yok etme kapasitesine sahiptir. Enginar gibi hassas sebzelerin yüzeyinde uygulanarak, bozulmaya neden olan mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi sağlanabilir (Niemira, 2012).

SONUÇ

Bu araştırmada, enginarın besin değerini ve tazeliğini koruma yöntemleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Enginar muhafazasında kullanılan yenilikçi yaklaşımlar, bu değerli sebzenin besin değerini ve tazeliğini uzun süre koruma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Blanşlama, dondurma ve diğer işleme teknikleri, enginarın mikrobiyal yükünü azaltarak ve enzimatik aktiviteleri kontrol altına alarak bozulmasını önlemekte büyük rol oynamaktadır. Ayrıca, gelişmiş ambalajlama teknikleri, özellikle modifiye atmosfer paketleme ve aktif ambalajlar, enginarın raf ömrünü uzatmada etkili çözümler sunmaktadır. Soğuk depolama, modifiye atmosfer paketleme (MAP), vakum paketleme ve kimyasal koruyucular gibi yöntemler, enginarın raf ömrünü uzatmada etkili çözümler sunmaktadır. Ayrıca, dondurarak muhafaza, kurutma ve fermentasyon gibi yöntemler de besin değerini koruma açısından önemlidir.

Sürdürülebilir muhafaza teknikleri, çevre dostu uygulamaları ve atık yönetimi ile geri dönüşümü kapsar. Gelecekteki yönelimler ve inovasyonlar, nanoteknoloji, soğuk plazma ve yüksek basınç işleme gibi yeni teknolojilerle desteklenmektedir. Bu teknolojiler, enginarın kalitesini korumak ve raf ömrünü uzatmak için umut verici çözümler sunmaktadır. Ekolojik muhafaza yöntemleri ve enerji tasarrufu sağlayan teknikler, çevresel etkileri minimuma indirirken, gıda atıklarının azaltılması ve geri dönüşüm uygulamaları, sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Enginarın işlenmesi ve muhafazasında kullanılan bu teknikler hem tüketiciye kaliteli ürün sunmakta hem de gıda israfını azaltmaktadır.

Konunun gelecekte kullanılabilirliği açısından, bu yeni teknolojilerin ve sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesi, gıda israfını azaltmada ve tedarik zincirinin verimliliğini artırmada büyük rol oynayacaktır. Ayrıca, enginarın

muhafazasında kullanılan inovatif yöntemler, diğer tarım ürünleri için de örnek teşkil edilebilir bir yöntem olacaktır.

İleriye yönelik olarak, bu tekniklerin uygulanabilirliğini artırmak için daha fazla araştırma yapılması ve sektörün bu yenilikleri benimsemesi teşvik edilmelidir. Özellikle sürdürülebilir ve çevre dostu yöntemlerin yaygınlaştırılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacaktır. Bu doğrultuda, akademik ve endüstriyel iş birliklerinin güçlendirilmesi ve yeni teknolojilerin uygulama alanlarının genişletilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Kitaplar

- Adewoyin, O., Ibidapo, A., Babatola, L., Fayose, F., Ekeocha, A., Apata, T., 2022. Indigenous and Improved Postharvest Handling Methods and Processing of Fruits. *Intech Open*.
- Barrett, D. M., Somogyi, L., Ramaswamy, H., 2005. Processing Fruits: Science and Technology. CRC Press.
- Erdal, M., Görçün, Ö., Görçün, Ö., Saygılı, M., 2010. Entegre Lojistik Yönetimi (2). Beta Yayıncılık, İstanbul.
- FAO. (1994). Manual on simple methods of meat preservation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fellows, P. J., 2009. Food Processing Technology: Principles and Practice. Woodhead Publishing.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., Golden, D. A., 2005. Modern Food Microbiology. Springer Science & Business Media.
- Kader, A. A., 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California Agriculture and Natural Resources.
- Kays, S. J., 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. Van Nostrand Reinhold.

Dergi

- Adams, M. R., Nicolaidis, L., 1997. Review of the sensitivity of different foodborne pathogens to fermentation. Food Control, 8(5-6), 227-239. DOI: 10.1016/S0956-7135(97)00016-8
- Ahvenainen, R., 2003. Active and intelligent packaging: An introduction. In R. Ahvenainen (Ed.). *Novel Food Packaging Techniques*. Woodhead Publishing. 5-21.
- <https://doi.org/10.1533/9781855737020.1.5>
- Attia, G. Y., 2012. Effect of blanching treatments and frozen storage on the quality attributes of frozen artichoke. Egyptian Journal of Agricultural Research, 90(3):1257-1268.
- <https://doi.org/10.21608/EJAR.2012.162991>
- Azzini, E., Bugianesi, R., Romano, F., Di Venere, D., Miccadei, S., Durazzo, A., Foddai, M. S., Catasta, G., Linsalata, V., Maiani, G., 2007. Absorption and metabolism of bioactive molecules after oral

- consumption of cooked edible heads of *Cynara scolymus* L. (cultivar Violetto di Provenza) in human subjects: a pilot study. *The British journal of nutrition*, 97(5), 963–969.
<https://doi.org/10.1017/S0007114507617218>
- Birinci, H., S., 2021. Gıda İşleme ve Kurutma Teknolojisinde PEF (Pulsed Electric Field) Kullanımı.
<https://www.gidamuhendisleri.org.tr/gida-isleme-ve-kurutma-teknolojisinde-pef-pulsed-electric-field-kullanimi/>. Erişim Tarihi: 15.05.2024
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2024. Fermentation.
<https://www.britannica.com/science/fermentation>. Encyclopedia Britannica. Erişim Tarihi: 23.05.2024
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., Sacks, F. M., 1999. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: *A meta-analysis*. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(1), 30-42.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/69.1.30>
- Cantwell, M., Reid, M., 1993. Postharvest physiology and handling of fresh culinary herbs. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 1(3), 93-127.
https://doi.org/10.1300/J044v01n03_09
- Carr, A. C., Maggini, S., 2017. Vitamin C and Immune Function. *Nutrients*, 9(11), 1211.
<https://doi.org/10.3390/nu9111211>
- Çurkan, A., Tamer, C. E., Çopur, Ö.U., 2012. Dondurulmuş Meyve-Sebze İhracatının Analizi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 73-82.
- Demiray, E., Tülek, Y., 2010. Donmuş Muhafaza Sırasında Meyve ve Sebzelelerde Oluşan Kalite Değişimleri. *Akademik Gıda*, 8(2), 36-44.
- Demirci, S., B., 2020. Soğuk Zincir Lojistiğinde Tedarik Zincirinin Önemi ve Yaş Sebze-Meyve Örneği: Bir Literatür Taraması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 52-62.
- Doğan, Y. L., Önder, S., Ersoy, L., Altuntaş, Ö., 2023. Sebzelelerde hasat sonrası meydana gelen kayıplar ve kalitenin korunması. *Tarımda İyileştirmeler*, 163-182.
<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8418251>

- Duncan, T. V., 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>.
- Ekechukwu, O. V., & Norton, B., 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 40(6), 615-655.
- El-Mogy, M. M., Rashed, N.M., AlTurki, S. M., Chen, T., 2024. Effect of pre- and postharvest treatments on the quality and storage ability of fresh artichoke heads: opinion article. *Crop and Product Physiology*, 15.
- FAO. (1990). *Manual on simple methods of meat preservation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/4/x6932e/X6932E00.htm>
- Farkas, J., 2006. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 148-152.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.002>.
- Frutos MJ, Guilabert-Antón L, Tomás-Bellido A, HernándezHerrero JA., 2008. Effect of artichoke (*Cynara scolymus* L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread. *Food Sci Technol Int*, (14), 49–55.
- Frutos, M. J., Ruiz-Cano, D., Valero-Cases, E., Zamora, S. PérezLlamas, F., 2019. Artichoke (*Cynara scolymus* L.). In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*. Academic Press, 135-138.
- Gezer, C., 2015. Fonksiyonel Bir Besin Olarak Enginar: Olası Sağlık Etkileri. *Beslenme Diyet Dergisi* 43(3), 264-269.
- Gören, G., 2022. Enginar Yapraklarından Sıfır Atık Sabun Ambalajları. <https://bigumigu.com/haber/enginar-yapraklarindan-sifir-atik-sabun-ambalajlari/>. Erişim Tarihi: 20.05.2024
- Guida, V., Ferrari, G., Pataro, G., Chambery, A., Maro, D. A., Parente, A., 2013. The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads. *Lwt-Food Science and Technology*, 53(2), 569-579.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.04.006>.
- He, F. J., MacGregor, G. A., 2008. Beneficial effects of potassium on human health. *Physiologia plantarum*, 133(4), 725–735.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01033.x>

- Heiderian, E., Soofiniya, Y., 2011. Hypolipidemic and Hypoglycemic Effects of Aerial Part of Cynara Scolymus in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(13), 2717-2723.
- Hepsağ, F., Yıldırım, A., Gölge, Ö., Hayoğlu, İ., 2016. Türkiye’de üretilen ve tüketilen kuru kayısılarda kükürtdioksit kalıntı miktarlarının belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20(2), 176-184.
- Icier, F., 2009. Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, 33(4), 661-683.
[https://doi.org/ 10.1111/J.1745-4530.2008.00295.X](https://doi.org/10.1111/J.1745-4530.2008.00295.X)
- Ihl, M., Monsalves, M., Bifani, V., 1998. Chlorophyllase Inactivation as a Measure of Blanching Efficacy and Colour Retention of Artichokes (Cynara scolymusL.). *Lwt - Food Science and Technology*, 31(1), 50-56.
[https://doi.org/ 10.1006/FSTL.1997.0296](https://doi.org/10.1006/FSTL.1997.0296)
- Khali.l M, M., 2002. Bioavailability of zinc in fiber-enriched bread fortified with zinc sulphate. *Nahrung – Food*, 46 (6): 389–393.
- Khan Academy, 2024. Fermentation and anaerobic respiration. <https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation>. Erişim Tarihi: 23.05.2024
- Korucuk S., 2018. Soğuk Zincir Taşımacılığı Yapan İşletmelerde 3PL Firma Seçimi: İstanbul Örneği, *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (16), 341-366.
- Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., Appel, L. J., American Heart Association, 2002. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747-2757.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94>
- Kroll, D. J., Shaw, H. S., Oberlies, N. H., 2007. Milk thistle nomenclature: why it matters in cancer research and pharmacokinetic studies. *Integrative cancer therapies*, 6(2), 110–119.
<https://doi.org/10.1177/1534735407301825>
- Lal Basediya, A., Samuel, D. V., Beera, V., 2013. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables-a review. *Journal of food science and technology*, 50(3), 429–442.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0311-6>

- Lattanzio, V., Kroon, P. A., Linsalata, V., Cardinali, A., 2009. Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods*, 1(2): 131-144.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.01.002>
- Lattanzio, V., Kroon, P. A., Quideau, S., Treutter, D., 2009. Plant Phenolics: Secondary Metabolites with Diverse Functions. *Recent Advances in Polyphenol Research* (V. Cheynier, P. Sarni-Manchado, S. Quideau). John Wiley & Sons, Ltd. 1-35
- Lewicki, P. P., 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.10.012
- Lombardo S., Gaetano P., Anita I. ve Giovanni, M., 2012. Variation of polyphenols in a germplasm collection of globe artichoke. *Food Research International*, 46(2), 544-551.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.047>
- Lynch, S. R., & Cook, J. D., 1980. Interaction of vitamin C and iron. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 355, 32–44.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1980.tb21325.x>
- Mileo, A. M., Di Venere, D., Abbruzzese, C., Miccadei, S., 2015. Long Term Exposure to Polyphenols of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Exerts Induction of Senescence Driven Growth Arrest in the MDA-MB231 Human Breast Cancer Cell Line. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2015, 363827.
<https://doi.org/10.1155/2015/363827>
- Mujumdar, A. S., 2006. Principles, classification, and selection of dryers. *In Handbook of Industrial Drying*. CRC Press. 3-32.
- Muratore, G., Restuccia, C., Licciardello, F., Lombardo, S., 2015. Effect of packaging film and antibrowning solution on quality maintenance of minimally processed globe artichoke heads. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 97-104
- Nazni, P., Vijayakumar, T. P., Alagianambi, P. Amirthaveni, M., 2006. Hypoglycemic and Hypolipidemic Effect of *Cynara Scolymus* Among Selected Type 2 Diabetic Individuals. *Pak. J. Nutr*, 5(2), 147–151.
- Nicolle, C., Cardinault, N., Gueux, E., Jaffrelo, L., Rock, E., Mazur, A., Amouroux, P., Rémésy, C., 2004. Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant

- status in the rat. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(4), 605–614.
<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2003.10.009>
- Niemira, B. A., 2012. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, (3), 125-142. doi:10.1146/annurev-food-022811-101132.
- Numanoğlu, E. N., Çelik, A. G., 2018. Antioksidanların enzimatik esmerleşme üzerine etkileri. *Bilim Armonisi*, 1(1), 3-9.
- Öz, A. T., Süfer, Ö., 2013. Taze Meyve ve Sebzelerin Muhafazasında Modifiye Atmosfer Paketlemenin Doğal Bileşiklerle Birlikte Kullanımı. *Akademik Gıda*, 11(2), 110-115.
- Özdemir, K. S., 2015. *Gıda ve Biyoaktif Gıda Bileşenlerinin Kaplanması: Proses ve Depolama Stabilitesi Üzerine Etkileri* (doktora tezi, basılmamış). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pandino, G., Lombardo, S., Mauromicale, G., Williamson, G., 2011. Polyphenol profile and content in wild and cultivated *Cynara cardunculus* L. *Italian Journal of Agronomy*, 7(3), 254-261.
<https://doi.org/10.4081/ija.2012.e35>
- Petropoulos, S. A., Pereira, C., Ntatsi, G., Danalatos, N., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., 2018. Nutritional value and chemical composition of Greek artichoke genotypes. *Food chemistry*, 267, 296–302.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.159>
- Ricci, I., Amodio, M. L., Colelli, G., 2013. Influence of pre-cutting operations on quality of fresh-cut artichokes (*Cynara scolymus* L.): Effect of storage time and temperature before cutting. *Postharvest Biology and Technology*, 85(1):124–131.
- Rickman, J. C., Barrett, D. M., Bruhn, C. M., 2007. Nutritional comparison of fresh, frozen, and canned fruits and vegetables. Part 1. *Vitamins C and B and phenolic compounds. Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 930-944.
- Roberfroid M., 2007. Prebiotics: the concept revisited. *The Journal of nutrition*, 137(3-2), 7-830.
<https://doi.org/10.1093/jn/137.3.830S>
- Rodriguez, T. S., Gimenez, D. G. Vazquez, R. P., 2002. Choleric Activity and Biliary Elimination of Lipids and Bile Acids Induced by an Artichoke

- Leaf Extract in Rats. *Phytomedicine : international journal of phytotherapy and phytopharmacology* , 9(8), 687-693.
- Rondanelli, M., Giacosa, A., Opizzi, A., Faliva, M. A., Sala, P., Perna, S., Riva, A., Morazzoni, P., Bombardelli, E., 2013. Beneficial effects of artichoke leaf extract supplementation on increasing HDL-cholesterol in subjects with primary mild hypercholesterolaemia: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *International journal of food sciences and nutrition*, 64(1), 7–15.
<https://doi.org/10.3109/09637486.2012.700920>
- Rude, R. K., Gruber, H. E., Norton, H. J., Wei, L. Y., Frausto, A., Mills, B. G., 2004. Bone loss induced by dietary magnesium reduction to 10% of the nutrient requirement in rats is associated with increased release of substance P and tumor necrosis factor-alpha. *The Journal of nutrition*, 134(1), 79–85.
<https://doi.org/10.1093/jn/134.1.79>
- Sajad, N., Rasool, A., Bakr, A., Fazili, A., 2020. Fermentation Of Fruits And Vegetables A Review. *Plant Archives* 20(2), 1338-1342
- Salem, M. B., Affes, H., Ksouda, K., Dhouibi, R., Sahnoun, Z., Hammami, S., Zeghal, K. M., 2015. Pharmacological Studies of Artichoke Leaf Extract and their Health Benefits. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 70(4), 441-453.
- San Jose FJ, Collado-Fernández M, López R., 2018. Sensory evaluation of biscuits enriched with artichoke fiber-rich powders (*Cynara scolymus* L.). *Food Sci Nutr*, 6 (1): 160– 167.
- Sánchez-Guijarro, M., García-Gómez, P., Almela, L., Núñez-Delicado, E., Gabaldon, J. A., 2020. Improvement of the shelf life of minimally processed artichoke through antimicrobial and antioxidants agents. *Acta Horticulturae*, 205-219.
- Santos, H. O., Bueno, A. A., Mota, J. F., 2018. The effect of artichoke on lipid profile: A review of possible mechanisms of action. *Pharmacological research*, 137, 170–178.
<https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.10.007>
- Scalbert, A., Johnson, I. T., Saltmarsh, M., 2005. Polyphenols: Antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 215S-217S.

<https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>

Seelinger, G., Merfort, I., Schempp, C. M., 2008. Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-allergic activities of luteolin. *Planta Medica*, 74(14), 1667-1677.

<https://doi.org/10.1055/s-0028-1088314>

Shah, A. M., Tarfeen, N., Mohamed, H., & Song, Y., 2023. Fermented foods: Their health-promoting components and potential effects on gut microbiota. *Fermentation*, 9(2), 118.

<https://doi.org/10.3390/fermentation9020118>

Shearer, M. J., Newman, P., 2008. Metabolism and cell biology of vitamin K. *Thrombosis and haemostasis*, 100(4), 530–547.

Sokkar, H. H., Dena, A. S. A., Mahana, N. A. Badr, A., 2020. Artichoke Extracts in Cancer Therapy: Do the Extraction Conditions Affect the Anticancer Activity? *Future Journal of Pharmaceutical Sciences* 6(1), 1-21.

Speroni, E., Cervellati, R., Govoni, P., Guizzardi, S., Renzulli, C., Guerra, M. C., 2003. Efficacy of different *Cynara scolymus* preparations on liver complaints. *Journal of ethnopharmacology*, 86(2-3), 203–211.

[https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(03\)00076-x](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(03)00076-x)

Strickland, E., 2024. How To Ferment Artichoke. <https://recipes.net/articles/how-to-ferment-artichoke/#:~:text=The%20fermentation%20process%20for%20artichokes,regularly%20to%20monitor%20their%20progress>. Erişim Tarihi: 22.05.2024

T.C., 2019. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (TürKomp).

<http://www.turkomp.gov.tr/food-241>. Erişim Tarihi:15.05.2024

Talib, A., Samad, A., Hossain, M. J., Muazzam, A., Anwar, B., Atique, R., Hwang, Y.-H., Joo, S. T., 2024. Modern trends and techniques for food preservation. *Food Life*, (1), 19-32. DOI: <https://doi.org/10.5851/fl.2024.e6>

Tamang, J. P., Watanabe, K., Holzapfel, W. H., 2016. Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 24(7), 377. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00377

- Tamura, T., & Picciano, M. F., 2006. Folate and human reproduction. *The American journal of clinical nutrition*, 83(5), 993–1016. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.5.993>
- Thakur, A., Sharma, R., 2018. Health Promoting Phytochemicals in Vegetables: A Mini Review. *International Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2(2), 1-6. doi:10.30954/2277-9396.02.2018.1
- Tosun, D., Demirbaş, N., 2012. Türkiye’de Kırmızı Et ve Et Ürünleri Sanayiinde Gıda Güvenliği Sorunları ve Öneriler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 93-101.
- UC Davis Postharvest Technology Center, 2020. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality of Artichokes. <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/artichoke-globe>. Erişim Tarihi: 19.05.2024
- Utah State University Extension, 2020. Conditioning or Curing of Dried Fruits and Vegetables. <https://extension.usu.edu/preserve-the-harvest/research/drying-conditioning-curing-fruits-vegetables>. Erişim Tarihi: 21.05.2024
- Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Artichoke>
- Wright, C. I., Van-Buren, L., Kroner, C. I., Koning, M. M., 2007. Herbal medicines as diuretics: a review of the scientific evidence. *Journal of ethnopharmacology*, 114(1), 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.07.023>
- Yüceer, M., Caner, C., 2023. Gıda sanayiinde akıllı ambalajlama ve uygulamaları. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (30), 57-68. <https://doi.org/10.56833/gidaveyem.1329885>
- Zagory, D., Kader, A. A., 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology*, 42(9), 70-77.

BÖLÜM 4

TARIMSAL TAHMİNLEMEDE YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIMI

Ziraat Yüksek Mühendisi Talha KİTAPÇI¹

Dr. Öğr. Üyesi Zübeyir AĞIRAĞAÇ²

Prof. Dr. Şeyda ZORER ÇELEBİ³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18129018>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Van, Türkiye. talhakitapci@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7107-1135

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Van, Türkiye. zubeyiragiragac@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1414-1472

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Van, Türkiye. seydazorer@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1278-1994

1.GİRİŞ

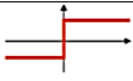
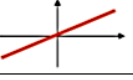
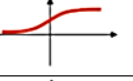
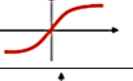
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme yeteneklerinden esinlenerek geliştirilmiş matematiksel modellerdir (Gevrekçi ve ark., 2011). Bu ağlar, karmaşık ve doğrusal olmayan veri desenlerini yakalamak için kullanılır. YSA'lar, genellikle üç ana katmandan oluşur: giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı. Her bir katman, nöron adı verilen birimlerden oluşur ve bu nöronlar, aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla birbirleriyle bağlantılıdır (López ve ark., 2022).

Yapay sinir ağlarının temelleri arasında aktivasyon fonksiyonları, geri yayılım (backpropagation), aşırı öğrenmeyi (overfitting) önlemek için düzenleme yöntemleri ve ağı mimarisi gibi konular yer alır (López ve ark., 2022).

Aktivasyon fonksiyonları, nöronların giriş verilerini işleyerek çıktısını belirler. Bir nevi nöronun "karar verme mekanizması" gibi düşünebilirsiniz. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları arasında sigmoid, tanh ve ReLU (Rectified Linear Unit) bulunur. Sigmoid, çıktıyı 0-1 arasına sıkıştırır; Tanh, -1 ile 1 arasına sıkıştırır; ReLU, negatifleri 0 yapar, pozitifleri aynen bırakır (Şekil 1) (Baheti, 2021).

Geri yayılım (backpropagation) algoritması, hataları minimize etmek için ağırlıkları günceller ve ağı öğrenme sürecinde önemli bir rol oynar (Nwankpa ve ark., 2018).

Aşırı öğrenme (overfitting), bir modelin eğitim verisini ezberlemesi ve yeni verilerde kötü sonuç vermesi durumudur. Bunu önlemek için Ridge, Lasso ve Elastic Net gibi yöntemlerle modelin daha sade ve dengeli olması sağlanır (Çiftsüren ve Akkol, 2018; López ve ark., 2022).

Sign (Signum)	$f(x) = \begin{cases} -1 & z < 0 \\ 0 & z = 0 \\ 1 & z > 0 \end{cases}$	Perceptron	
Linear	$f(x) = x$	Linear regression	
Logistic (sigmoid)	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	Logistic regression, Multi layer NN	
Hiperbolik Tanjant	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	Multi layer NN	
ReLU (Rectified Linear Unit)	$f(x) = \max(0, x)$	Multi layer NN	
Softplus	$f(x) = \ln(1 + e^x)$	Multi layer NN	

Şekil 1. Aktivasyon fonksiyonları ve bunların çeşitli kullanımları.

Kaynak: de Campos Souza ve ark. (2021).

Yapay sinir ağları ise genelde giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşur; bu katmanlar arasındaki bağlantılar farklı şekillerde tasarlanabilir (López ve ark., 2022).

Tarımda bilgili ve bilinçli kararlar hem verimlilik hem de maliyet azaltmada önemli iyileştirmelere yol açabilmektedir. Tarımsal çalışmalarda doğru kararlar almak için geleneksel metotlara alternatif olarak yapay sinir ağlarının kullanımı, ürün verimini artırabilirler. Aynı zamanda sürdürülebilir tarım uygulamalarına ve çevre korumaya da katkıda bulunarak karar verme sürecini geliştirir.

Yapay sinir ağları (YSA), büyük veri setlerini analiz ederek gelecekteki tarımsal trendleri ve olası riskleri tahmin eder, tarımsal süreçlerin otomasyonunu sağlayarak iş gücü maliyetlerini azaltır ve verimliliği artırır. Hassas tarım uygulamaları ile su, gübre ve pestisit kullanımını optimize ederken, iklim değişikliği etkilerini analiz ederek çiftçilerin bu değişikliklere uyum sağlamasına yardımcı olur. Çiftçiler daha bilinçli kararlar alarak hem verimliliği artırabilir hem de maliyetleri düşürebilirler (Habib, 2023).

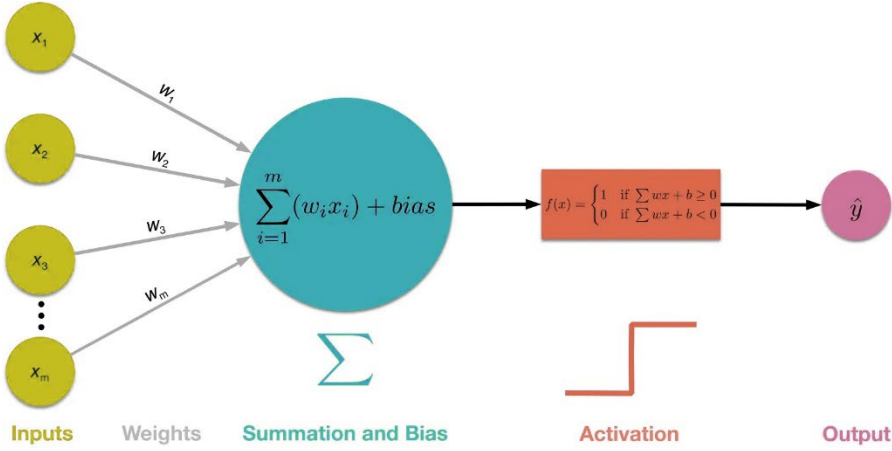
1.1.Çalışma Prensibi

Yapay sinir ağları (YSA), giriş verilerini katmanlardaki perceptronlara (yapay nöronlar) ileterek çalışır. Yapay sinir ağları (YSA) modellerinde iki tür parametre bulunur: model parametreleri ve hiperparametreler.

Model parametreleri, ağırlık öğrenme sürecinde veriye bağlı olarak otomatik şekilde güncellenen değerlerdir. Bunlara örnek olarak, nöronlar arasındaki bağlantıların gücünü temsil eden ağırlıklar ve nöronların aktivasyonunu ayarlayan bias değerleri verilebilir. Bu parametreler ağırlık eğitimi sürecinde, ağırlıklar (nöronlar arasındaki bağlantıların gücü) ve bias değerleri (nöronların aktivasyonunu ayarlayan sabit değerler), hata fonksiyonu kullanılarak optimize edilir (Şekil 2) (Nwankpa, Ijomah, Gachagan, & Marshall, 2018).

Hiperparametreler, bir makine öğrenimi modelinin eğitimi başlamadan önce kullanıcı tarafından belirlenen ayar değerleridir. Modelin genel yapısını ve öğrenme stratejisini doğrudan etkiler. Örneğin, öğrenme hızı (learning rate) modelin ağırlıkları ne kadar hızlı güncelleyeceğini belirlerken, epoch sayısı verilerin modele kaç kez gösterileceğini tanımlar. Katman sayısı ve her katmandaki nöron sayısı ise modelin mimarisini oluşturur. Hiperparametrelerin doğru seçimi, modelin hem öğrenme başarısını hem de genelleme yeteneğini doğrudan etkileyebilir (Jin, 2022; Kumar ve Jatender, 2024).

Giriş verileri, ileri döngü (forward propagation) sırasında gizli katmanlardan geçer ve her bir gizli katmandaki nöronlar, aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla verileri işler. Gizli katmanlar, ağırlık doğrusal olmayan desenleri yakalamasına ve karmaşık veri ilişkilerini modellemesine yardımcı olur ve sonunda çıkış katmanında bir sonuç üretilir (Nwankpa, Ijomah, Gachagan, & Marshall, 2018). Ağırlık çıkış sonuçları, gerçek sonuçlarla karşılaştırılarak hata hesaplanır ve bu hata, geri döngü (backpropagation) yöntemi ile ağırlık içine yayılır. Bu sayede ağırlıklar ve bias değerleri güncellenir. Eğitim süreci, birkaç yükleme (epoch) boyunca tekrarlanır ve her yükleme sırasında tüm veri seti üzerinde ağırlık eğitilir (Baheti, 2021; Nwankpa, Ijomah, Gachagan, & Marshall, 2018).



Şekil 2. Yapay sinir ağlarının temel çalışma prensibi: perceptron yapısı üzerinden veri akışı.

Kaynak: Ghatak, (2019)

1.2. Derin Öğrenme ve Derin Sinir Ağları

Derin Öğrenme, yapay sinir ağlarının çok sayıda gizli katman içeren derinleştirilmiş bir versiyonu olarak, verilerden karmaşık örüntüleri ve temsilleri otomatik olarak öğrenmek için kullanılır. Özellikle büyük ölçekli veri kümeleri üzerinde yüksek performans gösterir ve insan beynindeki sinir ağlarının yapısından esinlenilerek geliştirilmiştir (Zhang ve ark., 2021). İlk katmanlarda yüzeysel özellikler öğrenilirken, daha derin katmanlarda yüksek seviyeli özellikler öğrenilir. Derin sinir ağları ise bu alanın teknik altyapısını ve uygulama araçlarını ifade eder.

Geleneksel YSA'lar (Yapay Sinir Ağları) basit sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılırken (Akkol ve ark., 2017), Derin Sinir Ağları (DSA'lar) görüntü işleme, doğal dil işleme ve ses tanıma gibi karmaşık problemlerde tercih edilir. DSA'lar genellikle TensorFlow veya PyTorch gibi derin öğrenme çerçeveleriyle uygulanırken, geleneksel YSA'lar MATLAB veya Scikit-learn gibi araçlarla gerçekleştirilebilir (Goodfellow ve ark. 2016; Géron, 2019). Tekrarlayan Sinir Ağları (RNNs) zaman serisi ve metin tabanlı görevlerde, Evrimsel Sinir Ağları (CNNs) ise görüntü tanıma ve işleme alanlarında öne çıkar (LeCun ve ark. 2015; Chollet, 2021).

2. VERİ ÖN İŞLEME

Güvenilir modelin oluşması için kaliteli verinin olması gerekir. Tarımsal veriler genellikle gürültülü (sensör hataları, elle ölçüm yanlışlıkları) ve eksik olabilir (Hastie ve ark., 2009). Özellikle derin öğrenme modelleri, büyük ve temiz veri olmadan aşırı öğrenme (overfitting) eğilimindedir. Tahmin modelleri (ör: RNN) için veriler zaman damgalı (timestamp) ve sıralı olmalıdır (Mishra ve ark., 2016). Yapay Sinir Ağlar, farklı ölçekteki verilerde (örneğin, sıcaklık: 10-30°C, yağış: 0-500 mm) performans sorunu yaşar. Jason Brownlee'nin "Data Preparation for Machine Learning: Data Cleaning, Feature Selection, and Data Transforms in Python" adlı kitabında, tüm değerleri 0-1 aralığına ölçekleme veya veri ortalamasını 0, standart sapması 1 olacak şekilde dönüştürme yapılarak normalize edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Brownlee, 2020). Mevcut ham verilerden yeni, anlamlı özellikler türetmek, modelin karmaşık ilişkileri daha kolay öğrenmesine yardımcı olur. Örneğin, tarımsal tahminlerde sadece sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi ayrı ayrı değişkenleri kullanmak yerine bu değişkenleri birleştirerek bir "bitki stres indeksi" oluşturmak model performansını artırabilir. Oluşan çevresel stresin tek bir ölçülebilir metriğe dönüştürülmesini sağlar. Modelin verideki altta yatan sinyali daha net algılamasına, dolayısıyla daha doğru ve yorumlanabilir tahminler yapmasına olanak tanır (Géron, 2019; Sharma ve ark., 2020).

Analizde hiperparametrelerin doğru seçimi, model başarısı için kritiktir. Hiperparametre optimizasyonu için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bazıları Grid Search, Random Search ve Bayesian Optimization'dır. Grid Search, belirlenen tüm hiperparametre kombinasyonlarını sistematik olarak denerken; Random Search, bu uzaydan rastgele örnekler seçerek daha az denemeyle iyi sonuçlar verebilir. Bayesian Optimization ise önceki denemelerden elde edilen sonuçlara dayanarak en iyi ayarları tahmin eder ve arama sürecini daha verimli hale getirir. Hangi yöntemin tercih edileceği, veri setinin büyüklüğüne, modelin karmaşıklığına ve mevcut işlem gücüne bağlı olarak değişebilir (Jin, 2022; Snoek ve ark., 2012).

3. MODEL EĞİTİMİ VE OPTİMİZASYONU

Yapay sinir ağları (YSA), veri kümeleri üzerinde eğitim ve test aşamalarıyla öğrenme sürecini gerçekleştirir. Eğitim aşamasında, model parametreleri geri yayılım (backpropagation) ve optimizasyon algoritmaları (örn. Adam) ile güncellenirken, kayıp fonksiyonları (MSE gibi) hata ölçümü sağlar. Test aşamasında ise, eğitim aşamasında kullanılan veri seti dışında kalan verilerle modelin performansı incelenir. Modelin genelleme yeteneği, eğitim sırasında görmediği veriler üzerinde doğruluk (Formül 1) veya F1-Skoru (Formül 2 ve 3) gibi metriklerle değerlendirilir (Goodfellow vd., 2016).

$$\begin{aligned} &\text{Doğruluk} \\ &= \frac{\text{Doğru Pozitif Tahmin}}{\text{Doğru Pozitif Tahmin} + \text{Yanlış Pozitif Tahmin}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{F1 Skoru} = 2 \cdot \frac{\text{Doğruluk} \cdot \text{Duyarlılık}}{\text{Doğruluk} + \text{Duyarlılık}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{Duyarlılık} \\ &= \frac{\text{Doğru Pozitif Tahmin}}{\text{Doğru Pozitif Tahmin} + \text{Yanlış Negatif Tahmin}} \end{aligned} \quad (3)$$

Doğruluk, modelin doğru pozitif (TP) tahminlerinin, yaptığı tüm pozitif tahminlere oranıdır. F1-Skoru, doğruluk ve duyarlılığın harmonik ortalamasıdır (Lebiedzinski,2021).

Çizelge 1. Doğru ve Yanlış Tahminlerin Yüzdelik Gruplandırılması

	Pozitif (İyi Durum)	Negatif (Kötü Durum)
Doğru	Doğru Pozitif	Doğru Negatif
Yanlış	Yanlış Pozitif	Yanlış Negatif

Yüksek doğruluk istenmekle birlikte düşük riskli senaryolarda F1-Skoru 0.7 yeterli olabilirken yüksek riskli durumlarda 0.85+ hedeflenmelidir (Lebiedzinski, 2021).

3.1. Optimizasyon Teknikleriyle Uyum Problemlerinin Çözülmesi

Optimizasyon teknikleri, modelin aşırı uyumunu (overfitting) engellemek ve genelleme (generalization) yeteneğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Optimizasyon, modelin parametrelerini (örneğin, ağırlıklar ve biaslar) otomatik olarak ayarlar (Ioannou ve ark., 2023).

Aşırı uyum (overfitting) sorununu çözmek için dropout, L1/L2 düzenlemesi ve modelin performansı belirli bir noktadan sonra düşmeye başladığında eğitim süreci durdurularak uygulanan erken durdurma (early stopping) yöntemi gibi teknikler kullanılırken, alt uyum (underfitting) için model karmaşıklığının artırılması veya öğrenme oranının ayarlanması önerilir (Srivastava vd., 2014; Kingma & Ba, 2017). Optimizasyon tekniklerinden dinamik öğrenme oranı (Adam) ve batch normalization, hem eğitim süresini kısaltır hem de performansı iyileştirir.

3.1.1.Dropout Teknikleri

Standart Dropout yönteminde, eğitim sırasında nöronları rastgele kapatarak aşırı uyumu azaltır. Modelin belirli nöronlara aşırı bağımlı kalmasını önler ve daha sağlam özellikler öğrenmesine yardımcı olur (Salehin ve Kang, 2023).

Fast Dropout yönteminde, Gaussian yaklaşımı kullanarak dropout etkisini hızlandırır. Bu, eğitim sürecini Monte Carlo optimizasyonu yerine Gaussian dağılımından örnekleme yaparak hızlandırır (Wang ve Manning, 2013).

MaxDropout yönteminde, nöronların aktivasyon değerlerini normalleştirir ve en yüksek değere sahip olanları seçerek geri kalanları devre

dışı bırakır. Bu yöntem standart dropout'tan daha iyi performans gösterir (Do Santos ve ark., 2021).

AutoDrop yönteminde, dropout oranını aktivasyonlara bağlı olarak dinamik şekilde ayarlar. Bu adaptif yaklaşım, modelin en önemli özelliklere odaklanmasını sağlar ve aşırı uyumu önler (Pham ve Le, 2021).

3.1.2. Diğer Bazı Teknikler

Salehin ve Kang (2023), veri büyütme tekniklerinin düzenlileştirme amacıyla kullanılabileceğini belirtir. Cutout ve Random Erasing gibi yöntemler, modelin daha çeşitli veri örnekleriyle eğitilmesini sağlar. Cutout yöntemi, eğitim sırasında girdi verilerinin kare bölgelerini maskeler. Random Erasing ise görüntülerin rastgele bölgelerini siler.

Ba ve Frey (2013), öğrenme oranının (ne hızla öğrendiği) dikkatli ayarlanmasının model performansını artırdığını vurgular. Çok yüksek bir öğrenme oranı, modelin optimum çözüme ulaşmasını zorlaştırabilir ve hatta sapmasına neden olabilirken, çok düşük bir öğrenme oranı, modelin çok yavaş öğrenmesine ve eğitim sürecinin uzamasına yol açabilir (Karthick,2024).

L1 (Lasso) Düzenlemesi, modelin katsayılarının mutlak değerlerinin toplamını kayıp fonksiyonuna ekleyerek modelin karmaşıklığını azaltmayı amaçlar (Akkol, 2018; Ioannou ve ark., 2023)

L2 (Ridge) Düzenlemesi, Bu yöntem, modelin katsayılarının karelerinin toplamını kayıp fonksiyonuna ekleyerek büyük katsayıların büyüklüğünü azaltmayı hedefler (Ioannou ve ark., 2023)

4. GELENEKSEL İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERDEN FARKI

Yapay sinir ağları, verilerden doğrudan karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilir (LeCun ve ark.2015). Parametrik olmayan modellerdir, verilerin normal dağılıma uymasını gerektirmez. Büyük ve karmaşık veri setlerinde yüksek doğruluk sağlar (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Daha küçük veri setleriyle çalışabilir ve aşırı öğrenme riski daha düşüktür (Bishop, 2006). Eğitim için önemli hesaplama kaynakları (örneğin, GPU'lar) gerektirir. Karmaşık tarımsal tahminleme görevleri için idealdir.

Geleneksel istatistiksel yöntemler bir denklem oluşturabilir ancak karmaşık ilişkileri yakalamada sınırlı kalabilir (Hastie ve ark.2009). Karmaşık etkileşimleri yakalamakta zorlanırlar ve yüksek boyutlu veriler için manuel özellik seçimi gerektirir (James ve ark.2013). Karmaşık ilişkileri modellemede daha düşük doğruluk sunar (Sharma ve ark.2020). Daha küçük veri setleriyle çalışabilir ve aşırı öğrenme riski daha düşüktür (Bishop, 2006). Yüksek yorumlanabilirlik sunar, çünkü değişkenler arasındaki ilişki açık bir şekilde tanımlanmıştır (Hastie ve ark.2009). Daha az hesaplama gücü gerektirir ve standart donanımlarda hızlıca uygulanabilir (James ve ark.2013). Basit tahminleme görevleri için daha uygundur.

5. UYGULAMA ALANLARI VE ÖRNEKLER

5.1. Mahsul Verimi Tahmini

Avustralya'da buğday veriminin tahmininde uzamsal ve zamansal sinir ağları modellerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Guo, 2014). Buğday verimi ile ekim alanı, yağış ve sıcaklık gibi faktörler arasındaki ilişkiyi yapay sinir ağları (YSA) kullanarak modellenmiştir. Uzamsal YSA modeli (MLP), verimi ekim alanıyla ilişkilendirirken, zamansal modeller (NARNN ve NARXNN) zaman serilerine dayanmaktadır. Sonuçlar uzamsal YSA modelinin normal verim aralıklarında yüksek doğruluk sağladığını ancak zamansal modellerin eğitim ve tahmin sonuçları arasında tutarsızlık gösterdiğini ortaya koymuştur (Guo, 2014).

Hata Kare Ortalaması değeri ne kadar düşükse, model o kadar iyi performans göstermiştir. Korelasyon Katsayısı ne kadar yüksekse, modelin performansı o kadar iyi demektir (Guo, 2014).

5.2. Hastalık ve Zararlı Tespiti

Rahman ve ark. (2018), evrişimsel sinir ağları (CNN) kullanarak çeltik bitkisindeki hastalık ve zararlıları tespit etmiştir. VGG16 ve InceptionV3 gibi büyük ölçekli mimarilerin yanı sıra, küçük bir CNN mimarisi (Simple CNN) de test edilmiş ve % 93.3 doğrulukla başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Liu ve ark. (2021), VGGNET-16 CNN modelini kullanarak çay zararlılarını sınıflandırmıştır. CNN ile %97.75 doğruluk elde edilirken,

Uzamsal YSA modeli ile %76.07 ve SVM ile %68.81 doğruluk elde edildiğini göstermiştir.

5.3. Toprak Nem ve Besin Seviyelerinin Analizi

Dai ve ark. (2011), tuzlu topraklarda ayçiçeği veriminin toprak nemi ve tuzluluk içeriğine tepkisini simüle etmek için YSA modelleri kullanılmıştır. YSA modelleri ANN-6, ANN-10), ayçiçeği verimi tahmininde çoklu doğrusal regresyon (MLR) modeli modellerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve hassasiyet sunduğunu belirtmiştir.

Ayoubi ve ark. (2011), İran'da farklı ekosistemlerde (otlak ve ormanlık alanlar) uzaktan algılama verilerini kullanarak toprak organik madde içeriğini tahmin etmek için yaptıkları bir çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modellerinin performansı karşılaştırılmıştır. Otlak alanda, YSA'nın Uzamsal YSA modeli, toprak organik madde içeriğinin %84'ünü açıklarken, çoklu doğrusal regresyon MLR %54'ünü açıkladı. Ormanlık arazide ise YSA %91, çoklu doğrusal regresyon MLR %77 oranında başarı göstermiştir.

5.4. Kullanım Alanlarındaki Zorluklar ve Çözümler

Farklı YSA modelleri ve ağ topolojileri nedeniyle karşılaştırma zordur; bu yüzden standardizasyon ve ölçütler geliştirilmelidir (Katal, 2022). YSA'lar, paralel işlem yapabilen işlemcilerle ihtiyaç duyar, bu nedenle algoritmaların maliyet etkin donanımlar için optimize edilmesi önemlidir (Katal, 2022). Doğru mimariyi bulmak için sistematik yaklaşımlar gereklidir (Katal, 2022). Büyük ağlar ezber yapabilir; bu durum dikkatli veri seçimi, basit ağ yapıları ve çapraz doğrulama ile önlenmelidir (Khairunniza-Bejo, 2014). YSA'lar çok veri gerektirir, bu yüzden veri artırma, transfer öğrenimi ve sentetik veri üretimi kullanılabilir (Khairunniza-Bejo, 2014).

6. GELECEK VE YENİ YÖNELİMLER

6.1. Yapay Sinir Ağlarının Gelecekteki Potansiyel Kullanım Alanları

Yapay sinir ağlarının (YSA) tarımsal tahminlemede kullanımı, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve büyük veri analitiği ile entegrasyonuna bağlı olarak hızla gelişmektedir.

Gerçek zamanlı sensör verileri ile toprak nemi, sıcaklık, bitki sağlığı gibi kritik verilerin anlık olarak toplanması ve işlenmesi, dinamik ve doğru tahmin modellerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu entegrasyon sayesinde, çiftçiler ve tarım işletmeleri, daha verimli ve sürdürülebilir üretim yöntemleri geliştirebilmektedir.

Çoklu parametre optimizasyonu ile üretim miktarı, maliyet ve çevresel faktörlerin bir arada değerlendirildiği hibrit modeller oluşturulabilir.

Farklı tarım teknikleri ve stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için tarımsal deneylerde kullanılabilir.

Hava durumu verileri ve geçmiş tarım kayıtlarını kullanarak tarım sigortası risklerini daha doğru bir şekilde değerlendirebilir.

Drone görüntüleri ve YSA analizleri kullanılarak, doğal afetler sonrası bilirkışiler için daha hızlı ve doğru bir ortam sunabilir.

7. SONUÇ

Yapay sinir ağlarının (YSA) tarımsal tahminlemede kullanımı, geleneksel yöntemlere kıyasla daha esnek ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenme yeteneği sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Büyük veri setlerini işleyerek tarımsal üretimde verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek için güçlü araçlar haline gelmiştir.

Tarımda YSA uygulamaları sayesinde mahsul verimi tahmini, hastalık ve zararlı tespiti, toprak analizi ve iklim değişikliğine uyum gibi kritik alanlarda daha doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmektedir. Veri kalitesi, model optimizasyonu ve uygun mimari seçimi gibi faktörler model başarısı için büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte IoT ve büyük veri analitiği ile entegrasyon, yapay sinir ağlarının tarımsal uygulamalardaki potansiyelini artıracaktır. Bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte veri gizliliği, etik sorunlar ve insan iş gücü üzerindeki etkiler gibi konular daha fazla tartışılmalı ve çözümler üretilmelidir. YSA'nın sunduğu fırsatlar, tarım sektörünün daha verimli ve sürdürülebilir bir geleceğe yönelmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akkol, S., Akıllı, A., & Cemal, İ. (2017). Comparison of artificial neural network and multiple linear regression for prediction of live weight in hair goats. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(1), 21-29.
- Akkol, S. (2018). The prediction of live weight of hair goats through penalized regression methods: LASSO and adaptive LASSO. *Archives animal breeding*, 61(4), 451-458.
- Ayoubi, S., Shahri, A. P., Karchegani, P. M., & Sahrawat, K. L. (2011). Application of artificial neural network (ANN) to predict soil organic matter using remote sensing data in two ecosystems. *Biomass and remote sensing of biomass*, 10, 181-196.
- Ba, L. J., & Frey, B. (2013). Adaptive dropout for training deep neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 26.
- Baheti, P. (2021). Activation Functions in Neural Networks [12 Types & Use Cases]. *Medium*. Retrieved from V7 Labs.
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Brownlee, J. (2020). *Data preparation for machine learning: Data cleaning, feature selection, and data transforms in Python*. Machine Learning Mastery.
- Chollet, F. (2021). *Deep learning with Python* (2nd ed.). Manning Publications.
- Çiftsüren, M. N., & Akkol, S. (2018). Prediction of internal egg quality characteristics and variable selection using regularization methods: ridge, LASSO and elastic net. *Archives Animal Breeding*, 61(3), 279-284.
- Dai, X., Huo, Z., & Wang, H. (2011). Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. *Field Crops Research*, 121(3), 441-449.
- de Campos Souza, P. V., Lughofer, E., & Guimaraes, A. J. (2021). An interpretable evolving fuzzy neural network based on self-organized direction-aware data partitioning and fuzzy logic neurons. *Applied Soft Computing*, 112, 107829.
- Do Santos, C. F. G., Colombo, D., Roder, M., & Papa, J. P. (2021). MaxDropout: Deep neural network regularization based on maximum

- output values. *2021 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*.
- Géron, A. (2019). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Gevrekçi, Y., Yeğenoğlu, E., Akbaş, Y., Sesli, M. (2011). Yapay Sinir Ağlarının Tarımsal Alanda Kullanımı. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 48(1), 71-76.
- Ghatak, A. (2019). Introduction to Neural Networks . In: *Deep Learning with R*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5850-0_2
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>
- Guo, W. W., & Xue, H. (2014). Crop Yield Forecasting Using Artificial Neural Networks: A Comparison between Spatial and Temporal Models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-7
- Habib, A. (2023). *AI in Agriculture: Transforming Farming Practices for a Sustainable Future*. Folio3. <https://agtech.folio3.com/blogs/ai-in-agriculture/>. Access date January 26.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). Springer.
- Ioannou, G., Tagaris, T., & Stafylopatis, A. (2023). AdaLip: An Adaptive Learning Rate Method per Layer for Stochastic Optimization. *Neural Processing Letters*, 55, 6311–6338
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning*. Springer.
- Jin, H. (2022). *Hyperparameter Importance for Machine Learning Algorithms*. <https://arxiv.org/abs/2201.05132v1>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Karthick, K. (2024). Comprehensive Overview of Optimization Techniques in Machine Learning Training. *Control Systems and Optimization Letters*, 2(1), 23-28.
- Katal, A., & Singh, N. (2022). Artificial neural network: Models, applications, and challenges. *Innovative Trends in Computational Intelligence*, 235-257.

- Khairunniza-Bejo, S., Mustaffha, S., & Ismail, W. I. W. (2014). Application of artificial neural network in predicting crop yield: A review. *Journal of Food Science and Engineering*, 4(1), 1.
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2017). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv Preprint arXiv:1412.6980*.
- Kumar, J. (2024). Hyperparameters in Deep Learning: A Comprehensive Review. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(4), 4015–4023. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/6967>
- Lebiedzinski, P. (2021). A Single Number Metric for Evaluating Object Detection Models. *Medium*, <https://towardsdatascience.com/a-single-number-metric-for-evaluating-object-detection-modelsc97f4a98616d> (accessed Jun. 17, 2023).
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Liu, Q., & Gao, L. (2021). Deep Convolutional Neural Networks for Classification of Tea Pests Based on Fine-Tuning. *Symmetry*, 13(11), 2140.
- Nwankpa, C., Ijomah, W., Gachagan, A., & Marshall, S. (2018). Activation Functions: Comparison of Trends in Practice and Research for Deep Learning. *arXiv preprint arXiv:1811.03378*. Retrieved from arXiv.
- Mishra, D., Khanna, P., & Ojha, T. (2016). *Data aggregation in wireless sensor networks for precision agriculture*. In *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 1343-1348). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813926>
- Montesinos López, O. A., Montesinos López, A., & Crossa, J. (2022). Fundamentals of artificial neural networks and deep learning. In *Multivariate statistical machine learning methods for genomic prediction* (pp. 379-425). Cham: Springer International Publishing.
- Pham, H., & Le, Q. (2021). Autodropout: Learning dropout patterns to regularize deep networks. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35(10), 9351-9359.
- Rahman, C. R., Arko, P. S., Ali, M. E., Khan, M. A. I., Apon, S. H., Nowrin, F., & Wasif, A. (2020). Identification and recognition of rice diseases

- and pests using convolutional neural networks. *Biosystems Engineering*, 194, 112-120.
- Salehin, I., & Kang, D. K. (2023). A review on dropout regularization approaches for deep neural networks within the scholarly domain. *Electronics*, 12(14), 3106.
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2020). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Snoek, J., Larochelle, H., & Adams, R. P. (2012). Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929–1958.
- Wang, S. I., & Manning, C. D. (2013). Fast dropout training. *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning*, 1058-1066.
- Zhang, C., Bengio, S., Hardt, M., Recht, B., & Vinyals, O. (2021). Understanding deep learning requires rethinking generalization. *Communications of the ACM*, 64(3), 107-115. <https://doi.org/10.1145/3446776>

BÖLÜM 5

REZENE (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Dr. Savaş DEMİR¹
Prof. Dr. Zehra EKİN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18129135>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye
savas1723@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-9727-2317

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye,
zehraekin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3795-8883

1. GİRİŞ

Foeniculum vulgare Mill., rezene, Umbelliferae (Apiaceae) familyasına ait, $2n = 22$ kromozom sayısına sahip, yabancı tozlaşan diploid bir tıbbi ve aromatik bitkidir (Sheet vd., 2020; Deshwal vd., 2023). Rezene bitkisinin doğal yaşam alanı Akdeniz bölgesidir ve tüm Akdeniz ülkelerinde yabancı olarak yetişir. Aromatik yaprakları, gövdesi ve tohumları için yaygın olarak kültürü yapılmaktadır. Yabancı tozlaşma özelliği nedeniyle geniş bir genetik çeşitliliğe sahip olan rezene, farklı ekolojik ve çevresel koşullar altında yetiştiğinde önemli düzeyde morfolojik ve biyokimyasal çeşitlilik göstermektedir (Yaldız & Çamlıca, 2022).

Rezene; yıllık, iki yıllık veya çok yıllık formları bulunan otsu bir bitki olup belirgin aromatik karakteriyle tanınır. Silindirik ve içi dolu gövdesi belirgin boğumlara sahiptir. Yaprakları parçalı ve ince segmentli olup karakteristik anason kokusu taşır. Sarı renkli çiçekler bileşik şemsiye yapısında toplu halde bulunur ve iki parçalı merikarp yapısındaki meyveler tıbbi ve endüstriyel açıdan önemli uçucu yağın başlıca kaynağını oluşturur. Morfolojik varyasyonlar büyük ölçüde türün yetiştiği bölgenin iklimsel koşulları, toprak özellikleri ve çevresel stres faktörlerinden etkilenir.

Rezene tohumlarında ve bitki aksamında uçucu yağ içeriği coğrafi kökene bağlı olarak önemli değişkenlik göstermektedir. Hint kökenli popülasyonlarda uçucu yağ oranı %0,7–1,2 arasında iken Doğu Avrupa kaynaklı popülasyonlarda bu oran %4–6 düzeyine ulaşabilmektedir. Bitkinin farklı organlarında ortalama uçucu yağ içeriği yapraklarda %1,0–1,5, köklerde %0,6–0,7 ve meyvelerde %2,0–6,0 aralığındadır. Tür; Avrupa, Asya, Kuzey Amerika, Afrika'nın çeşitli bölgeleri, Brezilya ve Arjantin dâhil olmak üzere geniş bir coğrafyada tıbbi ve beslenme amaçlı olarak yetiştirilmektedir (Badgujar vd., 2014; Siddika vd., 2014).

Rezene uçucu yağının kalitesi, özellikle trans-anetol (%30–60) ve fenkon (%10–20) oranları ile belirlenmektedir. Avrupa Farmakopesi'ne göre; rezene meyvelerinde uçucu yağ içeriğinin en az %4, trans-anetol oranının %60'ın üzerinde, fenkon miktarının %15'in üzerinde ve estragol oranının %5'in altında olması gerekmektedir (Baydar, 2019). Bu bileşenler; bitkinin tıbbi etkileri, aromatik kalitesi ve endüstriyel kullanım alanlarının belirlenmesinde temel rol

oynamaktadır. Rezenenin uçucu yağ kalitesi özellikle trans-anetol (%30–60) ve fenkon (%10–20) oranları ile belirlenmektedir. Avrupa Farmakopesi; rezene meyvelerinde uçucu yağ içeriğinin en az %4, trans-anetol oranının %60'ın üzerinde, fenkon miktarının %15'in üzerinde ve estragol oranının ise %5'in altında olması gerektiğini belirtmektedir (Baydar, 2019). Bu bileşenler, bitkinin farmakolojik etkileri, aromatik niteliği ve endüstriyel kullanım potansiyelinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

Rezene; gıda, kozmetik, farmasötik ve aromaterapi endüstrilerinde geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Taze yaprakları sebze ve salata olarak tüketilirken, meyveleri baharat olarak gastronomide önemli bir yer tutmaktadır. Tohumlardan elde edilen uçucu yağ; parfümeri, sabun, şampuan, ağız bakım ürünleri ve diğer kozmetik formülasyonlarda kullanılmaktadır (Baytop, 1994; Olle & Bender, 2010). Gıda endüstrisinde rezene tohumları ve uçucu yağı; et ürünleri, dondurma, şekerleme, unlu mamuller ve çeşitli çeşni karışımlarında aroma verici olarak kullanılmaktadır.

Geleneksel tıpta rezene; sindirim, endokrin, üreme ve solunum sistemi rahatsızlıklarının tedavisinde uzun yıllardır kullanılmakta olup antimikrobiyal, gaz giderici, idrar söktürücü, antiinflamatuvar ve galaktagog (süt artırıcı) özellikleriyle bilimsel çalışmalarda önem kazanmaktadır. Emziren annelerde süt üretimini desteklediği, gazlı dispepsi ve infantil kolik kontrolünde etkili olabildiği bildirilmektedir (Badgujar vd., 2014). Bu özellikleri, rezeneyi hem modern fitoterapide hem de geleneksel sağlık uygulamalarında değerini koruyan stratejik bir tıbbi bitki konumuna taşımaktadır.

Bu derlemenin amacı, rezene üzerine yürütülen güncel araştırmaları değerlendirmek; bitkinin botanik özellikleri, kimyasal bileşimi, ekolojik uyumu, farmakolojik etkileri ve endüstriyel kullanım alanlarına ilişkin mevcut bilgileri bütüncül bir çerçevede sunmaktır. Çalışma, rezenenin tıbbi ve aromatik önemini şekillendiren temel faktörleri özetlemeyi ve gelecekte yürütülecek araştırmalar için bilimsel bir kaynak sağlamayı hedeflemektedir.

2. SINIFLANDIRMA

Âlem: Plantae

Şube: Tracheophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Apiales

Familiya: Apiaceae

Cins: *Foeniculum*

Tür: *Foeniculum vulgare* Mill

Etimolojik olarak “rezene” sözcüğü, İngilizcedeki *fenel* veya *feny* kelimelerinden türemiştir. Anglo-Saksonca *fenol* ve *finol*, Latincedeki *feniculum*dan köken almakta olup, bu kelime *foeniculumun* küçültülmüş biçimidir ve *foenum* (saman) anlamına karşılık gelmektedir. Eski Yunancada rezene *marathon* olarak adlandırılmakta ve kelimenin Lineer B tabletlerinde *ma-ra-tu-wo* biçiminde geçtiği bilinmektedir. Rezene farklı dillerde çeşitli isimlerle anılmaktadır. İngilizcede *anise*, *aniseed*, *aniseed weed*, *bitter fennel*, *common fennel*, *Florence fennel*, *Roman fennel*, *sweet anise* ve *sweet fennel* gibi adlarla; İspanyolcada *eneldo fonol*, *hinojo*, *lecherillo*; Fransızcada *aneth doux*, *fenouil*, *fenouil commun*, *fenouil doux*; Arapçada *bisbas*, *shamar*; Çince’de *hui xiang* ve Portekizcede *funcho* olarak adlandırılmaktadır (Duke, 2000).

Türkiye’de rezene halk arasında razıyane, rezene, meyane, arapşacı, Çumra, arapsacı, meletüre, irziyan, mayana olarak isimlendirilmektedir. Nitekim, rezenenin Türkiye’de en yoğun olarak yetiştirildiği bölgelerden biri olan Burdur ili Tefenni ilçesinde, bitkinin ilk ekimi 1975 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu ekim, Konya’nın Çumra ilçesi kütüğüne kayıtlı bir kişinin yurt dışından getirdiği tohumlarla yapılmıştır. Bu nedenle yörede rezene bitkisi yerel olarak “Çumra” adıyla da anılmaktadır.

3. BİTKİSEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Önemi ve Kimyasal Bileşimi

Rezene, içerdiği uçucu yağ bileşenleri bakımından zengin kimyasal yapısı sayesinde geniş bir farmakolojik etki spektrumuna sahip değerli bir tıbbi-aromatik bitkidir. Bitkinin uçucu yağında baskın olarak bulunan trans-anetol ve fenkon, farmakolojik özelliklerin büyük bölümünü belirlemektedir. Tohumlardan elde edilen uçucu yağlarda bu iki bileşenin toplam oranı %81–88 arasında değişirken, tüm bitki materyalinden elde edilen yağlarda %49–75 arasında değişmektedir. Rezenenin tatlı aromatik profilinin temel belirleyicisi

trans-anetol iken, fenkon bileşeni daha keskin ve kafur benzeri bir duysal nitelik oluşturmaktadır. Tohumların içerdiği sabit yağda ise temel yağ asitleri palmitik asit ve petroselinik asit olup, diğer bileşenleri anisik aldehit, linalool , r-terfinen, 1,8-sineol, anisik keton, -alfa-pinen, kamfen , -alfa-phellandren, dipenten , -fenkon, metil kavikol ve fenikülindir (Valduga vd., 2019). Bu uçucu ve sabit yağ bileşenleri, rezeneye hepatoprotektif, antidiyabetik, antispazmodik, kardiyovasküler düzenleyici, hipolipidemik, gastroprotektif, antitrombotik ve potansiyel antikanser etkiler kazandırmaktadır. Ayrıca trans-anetol ve fenkonun güçlü insektisit ve repelant özellikler taşıdığı bildirilmektedir.

Rezenenin kimyasal bileşimi; genotip, çevresel koşullar, yetiştirilen organın tipi, fenolojik dönem, anatomik ve fizyolojik özellikler ile hasat zamanı gibi birçok faktör tarafından belirgin şekilde etkilenmektedir (Božović vd., 2022; Barra vd., 2009; Ke vd., 2021). Bu nedenle bitkinin kimyasal profili yüksek düzeyde plastisite göstermekte ve farklı yetiştirme sistemlerinde farklı fitokimyasal desenler ortaya çıkabilmektedir.

Rezene tohumları mineral öğeler bakımından oldukça zengin olup kalsiyum (Ca), demir (Fe), magnezyum (Mg), potasyum (K), sodyum (Na) ve çinko (Zn) önemli miktarlarda bulunmaktadır. Ayrıca A vitamini, niasin ve yüksek düzeyde fitat (11,35–13,10 mg/g) içeriği ile besleyici değer taşımaktadır (Saharkhiz & Tarakeme, 2013). Bitkinin kök, gövde, yaprak ve özellikle tohum olmak üzere tüm organları farklı amaçlarla değerlendirilebilir niteliktedir.

Fenolik bileşikler, fenolik glikozitler ve özellikle uçucu aroma bileşenleri olan trans-anetol, estragol ve fenkon rezenenin karakteristik fitokimyasal profilini oluşturmaktadır. Fenolik bileşiklerin güçlü antioksidan aktivite sağladığı; uçucu yağ bileşenlerinin ise aromatik kaliteyi ve duysal özellikleri belirlediği bildirilmektedir. Rezene meyveleri ayrıca %10–20 oranında sabit yağ, %15–20 oranında protein, çeşitli şekerler ve nişasta fraksiyonları içermektedir. 100 g rezene tohumu yaklaşık 345 kcal enerji sağlamakta olup diyet lifi, vitaminler ve kalsiyum, demir, magnezyum ve manganez açısından zengin bir besin kaynağıdır.

Bitki ayrıca alüminyum, baryum, kalsiyum, kadmiyum, kobalt, krom, bakır, demir, magnezyum, manganez, nikel, kurşun, stronsiyum ve çinko gibi eser elementleri bünyesinde bulundurur (Xue vd., 2006). Bunun yanı sıra A, E ve K vitaminleri gibi yağda çözünen vitaminler ile askorbik asit, tiamin, riboflavin, niasin ve piridoksin gibi suda çözünen vitaminler de içerir. Lösin, izolösin, fenilalanin ve triptofan gibi esansiyel amino asitler bakımından zengin bileşimi, rezenenin hem beslenme hem de farmasötik açıdan değerini artırmaktadır (Badgujar vd., 2014; Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007).

3.2. Orijini ve Dağılımı

Rezene, *Foeniculum vulgare*, doğal yayılış alanı Akdeniz Havzası ve Batı Asya olan önemli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Tarihsel kaynaklar, rezenenin hem tedavi edici özellikleri hem de baharat olarak kullanım potansiyeli nedeniyle Antik Yunan, Çin, Roma ve Hindistan uygarlıklarında yaygın biçimde değerlendirildiğini göstermektedir. Roma döneminin önde gelen doğa bilimcilerinden Gaius Plinius Secundus (Büyük Plinius; M.S. 23–79), çeşitli hastalıkların tedavisinde rezenenin kullanılmasını önermiş; İmparator Charlemagne'ın (M.S. 742–814) ise 8. yüzyılda imparatorluk bahçelerinde rezene yetiştiriciliğini teşvik ettiği bilinmektedir. Romalıların uzun yıllar zeytinyağı, şarap ve rezene içeren salataları temel besin kaynağı olarak tükettiği, bu geleneğin 14. yüzyıla kadar sürdüğü bildirilmektedir (Arın, 2004).

Günümüzde rezene üretiminin yoğunlaştığı ülkeler arasında Çin, Hindistan, Almanya, Fransa, Pakistan ve Arjantin öne çıkmaktadır. Türkiye'de ise bitki, geniş ekolojik adaptasyon kabiliyeti sayesinde birçok bölgede yetiştirilebilmekte olup özellikle Ege, Akdeniz ve Güney Anadolu bölgelerinde yaygın üretim yapılmaktadır. Burdur, Manisa, Konya, Ankara ve Denizli illeri ticari rezene yetiştiriciliğinin en yoğun olduğu alanlar olarak bildirilmektedir (Özkan, 1999; Erberk vd., 2019; Damjanovic vd., 2005; Mete, 2009).

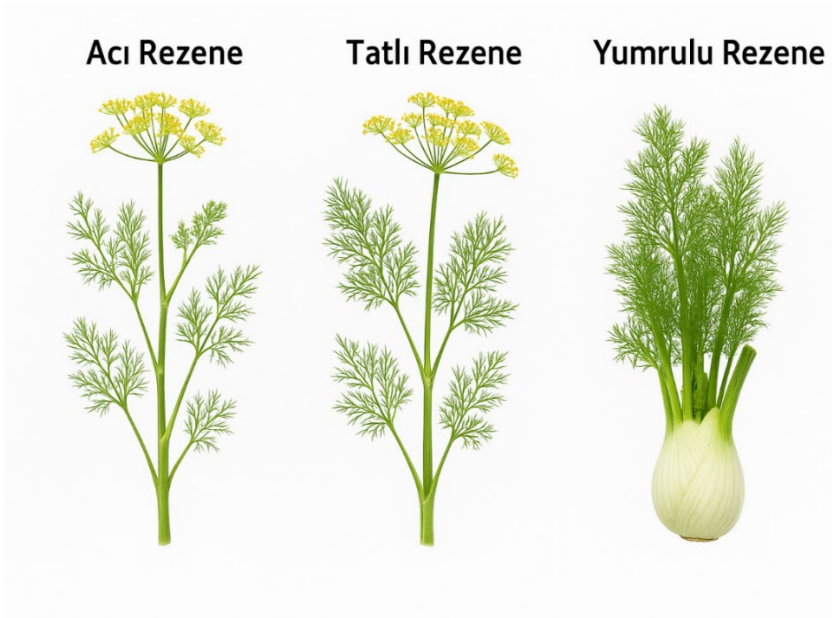
3.3. Varyeteleri

Foeniculum vulgare türü genel olarak iki alt türe ayrılmaktadır: *Foeniculum vulgare* subsp. *vulgare* ve *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum*. *F. vulgare* subsp. *piperitum* çok yıllık bir yapı sergilemekte, küçük tohumlara sahip olup anetol içeriği bulunmamaktadır. Kültürü yapılan temel takson ise *F.*

vulgare subsp. *vulgare* olup bu alt tür kendi içerisinde üç önemli varyete ile temsil edilmektedir (Şekil 1):

- *F. vulgare* var. *dulce* (tatlı rezene),
- *F. vulgare* var. *vulgare* (acı rezene),
- *F. vulgare* var. *azoricum* (yumrulu veya sebze rezenesi).

Bu varyeteler morfolojik özellikleri, kullanım amaçları ve uçucu yağ bileşimleri bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir. Fenkon bakımından zengin ve çok yıllık bir varyete olan *F. vulgare* var. *vulgare*, keskin ve acımsı aromaya sahip meyveleri nedeniyle “acı rezene” olarak adlandırılmakta ve özellikle endüstriyel amaçlarla tercih edilmektedir. Genellikle tek yıllık (bazen iki yıllık) olan *F. vulgare* var. *dulce* ise daha tatlı aromaya sahip meyveleriyle tanınmakta ve baharat olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Tek yıllık bir varyete olan *F. vulgare* var. *azoricum* ise sap tabanında gelişen etli ve beyaz yaprak kılıfları nedeniyle “yumrulu rezene” veya “sebze rezenesi” olarak tanımlanmakta; ağırlıklı olarak sebze olarak tüketilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Rezene türleri (Baydar, 2019)

Tatlı ve acı rezene varyeteleri ağırlıklı olarak tıbbi, farmasötik ve baharat amaçlı kullanılmakta; yumrulu rezene ise temel olarak sebze formunda tüketilmektedir (Tablo 1). Morfolojik açıdan tatlı rezene ile acı rezene arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Tatlı rezene genellikle daha kısa boylu, tek yıllık (yer yer iki yıllık) bir gelişim döngüsüne sahip olup daha yumuşak bir aromatik profile sahiptir. Buna karşılık acı rezene, çoğunlukla çok yıllık, daha büyük ve aromatik açıdan daha kuvvetli yapıdadır. Bu varyeteler arasındaki morfolojik ve fizyolojik ayrışma, hem kullanım alanlarını hem de uçucu yağ bileşimlerini belirleyen temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Akgül, 1985; Muckensturm vd., 1997; Baydar, 2019).

Tablo 1. Rezene Varyetelerinin Morfolojik Özellikleri ve Kullanımı

Özellik	<i>F. vulgare</i> var. <i>vulgare</i> (Acı Rezene)	<i>F. vulgare</i> var. <i>dulce</i> (Tatlı Rezene)	<i>F. vulgare</i> var. <i>azoricum</i> (Yumrulu Rezene)
Aroma Profili	Keskin, hafif acı, kafurumsu	Tatlı, aromatik, yumuşak	Hafif aromatik, sebzemsi
Boylanma	Orta–yüksek	Daha kısa	Orta
Kullanım Alanı	Baharat, tıbbi	Baharat, tıbbi	Sebze olarak
Biyolojik Döngü	Genellikle iki yıllık	Tek veya iki yıllık	İki yıllık veya çok yıllık
Ayırt Edici Özellik	Daha yüksek fenkon oranı	Yüksek trans-anetol oranı	Sap tabanında etli yaprak kılıfları (yumru)
Meyve Aroması	Acı-tatlı	Belirgin tatlı	Zayıf

Rezene varyeteleri arasında uçucu yağ miktarı ve bileşen profili bakımından da belirgin farklılıklar bulunduğu bildirilmektedir (Tablo 2). Acı rezene (*F. vulgare* var. *vulgare*) meyvelerinde başlıca uçucu yağ bileşenleri trans-anetol (%50–75), fenkon (%12–33) ve estragol (%2–5) olarak tanımlanmaktadır. Tatlı rezene (*F. vulgare* var. *dulce*) uçucu yağında ise trans-anetol oranı %80–90 gibi daha yüksek seviyelere ulaşmakta; fenkon içeriği %1–10, estragol ise %3–10 arasında değişmektedir (Gruenwald vd., 2004). Uçucu yağ bileşimlerindeki bu farklılaşma, tatlı rezenenin daha belirgin şekilde aromatik ve yumuşak bir tat profili göstermesine; acı rezenenin ise daha keskin ve kafur karakterli bir aroma içermesine neden olmaktadır.

Tablo 2. Rezene Varyetelerinde Uçucu Yağ Bileşenlerinin Karşılaştırılması

Uçucu Yağ Bileşeni	<i>var. vulgare</i> (Acı)	<i>var. dulce</i> (Tatlı)
Trans-anetol	%50–75	%80–90
Fenkon	%12–33	%1–10
Estragol	%2–5	%3–10
Aromatik Etki	Daha keskin ve mentollü aroma	Tatlı, anason benzeri aroma

3.4. Morfolojik Özellikleri

Rezene, *Foeniculum vulgare*, ince parçalı ve tüysü yapıdaki yaprakları ile sarı renkli çiçeklere sahip, şemsiye tipi çiçeklenme gösteren tek ya da iki yıllık aromatik bir otsu bitkidir. Bitkinin silindirik ve yuvarlak kesitli gövdesi uygun ekolojik koşullarda 1,5 m yüksekliğe kadar ulaşabilmektedir (Şekil 2A). Gövde üzerinde koyu yeşilden mavi-yeşile kadar değişen tonlarda, çok parçalı ve ipliksi görümlü yapraklar yer alır. Yapraklar alt kısımlarda belirgin bir sapla gövdeye bağlanırken, üst kısımlarda sap kısalmakta ve yapraklar gövdeye daha sıkı biçimde tutunmaktadır. Toplam yaprak uzunluğu 40 cm'ye kadar ulaşabilmekte; uçtaki ince segmentlerin genişliği ise 0,5 mm'ye kadar düşmektedir.

Rezene çiçekleri terminal bileşik şemsiye yapısındadır. Bir bitki üzerinde çok sayıda şemsiye bulunmakta ve her bir şemsiyede yüzlerce küçük sarı çiçek yer almaktadır (Şekil 2B ve 2C). Çiçeklenme dönemi genellikle Temmuz–Ağustos aylarına denk gelmektedir.

Bitkinin ekonomik olarak değerlendirilen temel organı meyveleri olup, meyvesi 4–10 mm uzunluğunda (Şekil 2D), oluklu yüzeyli, eliptik formda ve yeşilimsi gri renkte kuru bir merikarp yapısındadır (Diaz-Maroto vd., 2006; Rather vd., 2016). Meyvelerin dış yüzeyinde uzunlamasına dizilmiş 4–6 adet salgı kanalı bulunur. Enine kesitte, sırt yüzeyinde dört, karpel birleşim yüzeyinde ise iki adet olmak üzere toplam altı vitta (uçucu yağ kanalı) belirgin şekilde izlenebilmektedir. Bu yapılar, rezenenin karakteristik uçucu yağ bileşenlerinin sentez ve depolanmasından sorumlu anatomik birimlerdir.



Şekil 2. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill) A: Gövde B: Şemsiye ve çiçekler C: Çiçeklenme D: Tohumlar (Foto: Savaş DEMİR)

3.5. Kullanım Alanları

Rezene bitkisi başta meyveleri (tohumları) olmak üzere gövde, yaprak ve çiçek gibi toprak üstü organlarıyla hem gıda endüstrisinde hem de geleneksel ve modern tıpta geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir (Tablo 3). Bitkinin polenleri yüksek antioksidan kapasite göstermekte olup, elde edilmesinin güç olması nedeniyle ekonomik değeri oldukça yüksektir. Kurutulmuş rezene meyveleri karakteristik ve belirgin anason benzeri aromaları sayesinde değerli bir baharat olarak tanımlanmaktadır. Tohumlar taze dönemde kahverengi veya yeşilimsi tonlarda olup, depolama süresinin uzamasıyla renkleri giderek

matlaşarak griye dönüşmektedir. Özellikle yeşil renkli, taze tohumların uçucu yağ içeriği daha yüksek olduğundan gastronomik kullanım açısından tercih edilmektedir.

Rezene meyveleri mutfak uygulamalarında çorba, sos, turşu, ekmek ve çeşitli hamur işlerine aroma kazandırmak amacıyla kullanılmakta; hazır gıda sektöründe ise hem lezzet artırıcı hem de raf ömrünü uzatıcı etkisi nedeniyle baharat katkısı olarak değerlendirilmektedir. Bitkinin toprak üstü organları çeşitli yemeklerde sebze olarak tüketilebilmekte ve farklı şekillerde işlenebilmektedir (Baydar, 2019).

Tablo 3. Rezene Bitkisinin Kullanılan Bitki Aksamı, Başlıca Bileşenleri, Farmakolojik etkileri ve Kullanım Alanları*

Kullanılan Bitki Aksamı	Başlıca Bileşenler	Farmakolojik Etkiler / Fonksiyonlar	Kullanım Alanları
Meyve (Tohum)	Trans-anetol, fenkon, estragol, uçucu yağ (%2–6), sabit yağ (%20–30)	Antienflamatuar, antispazmodik, antioksidan, hepatoprotektif, laksatif, ekspektoran, antidiyabetik, antitrombotik, antikoagülan, östrojenik, süt artırıcı, repellent	Baharat, çay, fitoterapi ürünleri, kozmetik (sabun, diş macunu, gargara), gıda aroması
Yaprak	Fenolik bileşikler, A–C–K vitaminleri, mineraller	Antioksidan, sindirim destekleyici	Sebze, aroma verici, herbal çay
Çiçek	Uçucu yağ bileşenleri	Antioksidan, hafif antimikrobiyal	Çay karışımları, baharat karışımları
Gövde (Sap)	Lif ve düşük aromatik bileşikler	Sindirim destekleyici	Sebze olarak tüketim
Yumru (var. azoricum)	Lif, fenolik bileşikler, mineraller	Gastrointestinal rahatlatıcı etki	Sebze olarak tüketim
Uçucu Yağ	Trans-anetol (%35–82), fenkon, estragol	Antimikrobiyal, antioksidan, antifungal	Aromaterapi, kozmetik, gıda aroması
Sabit Yağ	Yağ asitleri, tokoferoller	Nemlendirici, besleyici etki	Kozmetik, farmasötik preparatlar, Petroselinik asitçe zengin yağlar yüksek erime dereceleri ile yemeklik yağ ve biyodizel sanayisi

*Tablo, Baydar (2019); Baydar & Erbaş (2014); Kara (2015); Najdoska vd. (2010); Ullah & Honermeier (2013); Gende vd. (2009); Moura vd. (2005); Khorshidi vd. (2009); Shubham (2019); Çalışkan vd. (2010); Raal vd. (2012) ile ilgili literatürlerden derlenmiştir.

Rezenenin meyveleri üzerine yürütülen farmakolojik çalışmalar; bu organlarda yer alan bileşiklerin diüretik, analjezik, antioksidan, hepatoprotektif, spazmolitik, antienflamatuar, laksatif, ekspektoran, akarisit, antihirsutizm, antiplatelet, antikoagülan, antitrombotik, hipotansif, östrojenik, repellent, antidiyabetik, tümör önleyici, hipokolesterolemik, sindirim düzenleyici, nörolojik destekleyici ve galaktagog etkilere sahip olabileceğini göstermiştir (Moura vd., 2005; Khorshidi vd., 2009; Shubham, 2019; Çalışkan vd., 2010).

Son yıllarda rezene bitkisinin yaprak, çiçek ve meyveleri fonksiyonel ve aromatik özellikleri nedeniyle herbal çay üretiminde de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Meyvelerden elde edilen uçucu yağın antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri, bitkiye tıbbi ve endüstriyel uygulamalar açısından önemli bir değer kazandırmaktadır (Gende vd., 2009).

Tatlı rezene meyvelerinden hidrodistilasyon yöntemiyle uçucu yağ, solvent ekstraksiyonu ile ise sabit yağ elde edilmektedir (Baydar, 2019). Rezene tohumlarının genel olarak %2–6 arasında uçucu yağ içerdiği; bu yağların ana bileşeni olan trans-anetolün bileşimde %35–82 oranında bulunduğu bildirilmektedir (Najdoska vd., 2010; Ullah & Honermeier, 2013; Kara, 2015; Raal vd., 2012; Baydar, 2019). Trans-anetol, hoş olmayan kokuların maskelenmesi amacıyla sabun, diş macunu ve gargara gibi kişisel bakım ürünlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Meyvelerden solvent ekstraksiyonu ile elde edilen sabit yağlar ise endüstriyel açıdan büyük önem taşımaktadır (Baydar & Erbaş, 2014). Petroselinik asitçe zengin bu yağların yüksek erime noktaları nedeniyle yemeklik yağ ve biyodizel üretiminde potansiyel kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca antimikrobiyal etkileri nedeniyle gıda ve parfümeri sanayinde de değerlendirilebilmektedir (Baydar, 2019).

Bunlara ek olarak rezene; gıda sektöründe içecekler, likörler, şekerlemeler, unlu mamuller, sakız ve tütün ürünlerine aroma verici katkı maddesi olarak da yaygın biçimde kullanılmaktadır (Damjanovic, 2005; Zongliang, 2012).

4. YETİŞTİRİCİLİĞİ

4.1. İklim ve Toprak İsteği

Rezene, sıcak ve ılıman iklim bölgelerinde başarılı şekilde yetişebilen önemli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Optimum gelişme için kireç bakımından zengin, humuslu, kumlu veya kumlu-tınlı toprakları tercih eder ve pH aralığı 4,8–8,3 olan topraklarda iyi performans gösterir. Bitki, sodik toprak koşullarına da uyum sağlayabilmekte ve bünyesinde biriktirdiği sodyum sayesinde fazla sodyumu topraktan uzaklaştırarak toprak ıslahına katkıda bulunabilmektedir (Garg vd., 2004).

4.2. Ekim

Rezene, doğrudan tarlaya tohum ekimi ile çoğaltılabildiği gibi çelik (pençe) yöntemiyle de üretilmektedir; ancak tarlaya doğrudan ekim yöntemi genellikle daha homojen bir gelişim sağlamaktadır. Ekim öncesinde tarla, sonbaharda tırmık ve diskaro ile işlenerek kışa hazırlanır. İlkbaharda toprak tava geldiğinde ikinci kez sürülerek ekim tahtaları veya şeritleri oluşturulur (Vural vd., 2000; Özyılmaz, 2015).

Tohumların bin tanesi 3,8–8,7 g ağırlığındadır. Mibzerle ekimde dekara 1,5–3 kg, elle ekimde ise 4–5 kg tohum önerilmektedir. Ekim, 60 cm sıra arası ve 2–3 cm derinlikte gerçekleştirilir. Ekim zamanı, iklim koşullarına bağlı olarak Nisan başından Mayıs sonuna kadar değişir. Rezene tohumlarının çimlenebilmesi için minimum 6–8 °C, optimum 15–16 °C; meyvelerin olgunlaşabilmesi için ise minimum 19–20 °C sıcaklık gerekmektedir.

Bitki yoğunluğu, verim ve morfolojik özellikler üzerinde önemli rol oynar. Sıra arası mesafenin artması, şemsiye çapı ve şemsiye sayısının artmasına yol açarken (Singh vd., 1987; Garrabrants & Craker, 1987), yoğunluğun artması dallanmayı azaltmakla birlikte şemsiye gelişimini teşvik etmektedir (Callan vd., 2007).

4.3. Bakım İşlemleri

Rezene suyu seven bir bitki olup özellikle çiçeklenme ve meyve bağlama dönemlerinde 1-3 kez yağmurlama veya damlama uygulanan sulama verim üzerinde belirleyici olmaktadır. Rezenede gübreleme için dekara 4 kg N ve 6

kg P₂O₅ uygulanması önerilmektedir (Baydar, 2019). Ancak aşırı azotlu gübreleme ve aşırı sulama bitkide aşırı boylanmaya yol açarak olgunlaşma dönemini geciktirmektedir. Rezenede sulama ile birlikte artan yabancı ot yoğunluğu ise elle çapalama şeklinde veya makine ile mücadele edilir (Baydar, 2019).

Rezene yetiştiriciliğinde en önemli fungal hastalıklardan biri *Cercosporidium punctum*, en yaygın zararlılardan biri ise *Othiorrhynchus ligustici* olarak bildirilmektedir. *C. punctum* etmeni, bitki dokularında yanıklık şeklinde semptomlar oluşturmakta ve özellikle yüksek sıcaklık ile nispi nem koşullarında kısa sürede epidemiyeye dönüşebilmektedir. Bu hastalık ve zararlılara karşı, ilgili il ve ilçe tarım müdürlükleri tarafından kombine organik mücadele programları uygulanmaktadır (Baydar, 2019).

Rezene ayrıca çeşitli mantar, bakteri ve virüs etmenlerinin saldırısına açıktır; külleme, yaprak yanıklıkları ve yaprak bitleri üretimde sıkça karşılaşılan diğer önemli sorunlardır (Tablo 4). Türkiye’de rezene yetiştiriciliğinin en yoğun olduğu Burdur ilinde, *Passalora malkoffii* tarafından oluşturulan yanıklık hastalığı öne çıkan patojenlerden biridir. Hastalık çoğunlukla çiçeklenme döneminde ortaya çıkmakta ve bu dönem sonrasında hızla yayılarak verim ve kalite üzerinde önemli düzeyde kayıplara yol açmaktadır.

Tablo 4. Rezenede Bildirilen Başlıca Hastalık ve Zararlılar, Belirtileri ve Mücadele Yöntemleri

Hastalık / Zararlı	Etmen	Belirtiler	Yayılma / Risk Koşulları	Mücadele Yöntemleri
Fungal hastalık	<i>Cercosporidiu m punctum</i>	Yaprak ve saplarda kahverengimsi yanıklık lekeleri	Yüksek sıcaklık ve nem	Organik mücadele, kültürel önlemler
Fungal hastalık	<i>Passalora malkoffii</i>	Çiçeklenme döneminde başlayan hızlı yanıklık, tüm aksamda zarar	Çiçeklenme döneminde yüksek nem	Bitki artıkları uzaklaştırma, izinli fungusitler

Fungal hastalık	<i>Ramularia foeniculi</i>	Alt yapraklarda küçük kahverengi nekrotik lekeler, ileri dönemde grimsi beyaz tabaka	Ilıman-hafif nemli koşullar	%0.2 difolatan püskürtme
Külleleme	<i>Erysiphe polygoni</i> , <i>E. heraclei</i>	Yapraklarda unumsu beyaz tabaka	Bulutlu ve nemli hava	Dekara 1.5–2 kg kükürt, %0.1 karathan püskürtme
Beyaz küf / Gövde çürüklüğü	<i>Sclerotinia minor</i>	Bitkinin devrilmesi, gövde ve sap çürüklüğü	Sahil bölgeleri, serin-nemli ortamlar; sklerotlar toprakta 8–10 yıl canlı	Ekim nöbeti, sklerot bulaşmasını azaltma, kültürel önlemler
Beyaz çürüklük	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Gövde ve kök çürüklüğü, beyaz misel tabakası	Serin-nemli koşullar	Toprak hijyeni, rotasyon
Mildiyö	<i>Peronospora umbelliferarum</i>	Yaprak altında kül renginde fungal tabaka, sararma	Yüksek nem	Kültürel önlemler, uygun fungusitler
Pas hastalıkları	<i>Puccinia</i> spp., <i>Uromyces</i> spp., <i>Nyssopsora</i> spp.	Yapraklarda sarı-kahverengi pas püstülleri	Ilıman iklim	Hastalıklı bitki artıkları imhası, izinli fungusitler
Antraknoz	<i>Colletotrichum capsici</i>	Şemsiye uçlarında su ile ıslanmış görünen lezyonlar, zamanla siyaha dönüşme	Nemli koşullar	Kültürel önlemler, uygun fungusitler

Phyllody (Virüs hastalığı)	Virüs etmenleri	Yaprak deformasyonu, kloroz, bodurlaşma, şemsiyelerin yaprak benzeri yapılara dönüşmesi	Vektör böcek varlığı	Vektör kontrolü, hijyen, erken tespit
Yaprak bitleri	<i>Aphid spp.</i>	Yaprak kıvrılması, zayıflama, virüs taşınması	Ilıman iklim, yoğun bitki örtüsü	Biyolojik mücadele (uğur böcekleri), organik insektisitler
Thrips	<i>Thrips flavus</i>	Yaprak ve çiçeklerde beslenme zararı	Sıcak ve kuru koşullar	Güçlü insektisitlerle kontrol
Zararlı böcek	<i>Othiorrhynchus ligustici</i>	Yapraklarda beslenme zararları, gelişme geriliği	Ilıman koşullar	Biyolojik ve organik insektisit uygulamaları

*Tablo Köse (2019), Jordal (2004) ve ilgili literatürden derlenmiştir.

Farklı ülkelerde rezene yetiştiriciliğinde görülen diğer önemli hastalık etmenleri arasında *Cercosporidium punctum* (Cercosporidium yanıklığı), *Sclerotinia minor* (Beyaz küf), *Sclerotinia sclerotiorum* (Beyaz çürüklük), *Erysiphe heraclei* (Külleme), *Puccinia spp.* (Pas), *Uromyces spp.* (Pas), *Nyssopsora spp.* ve *Peronospora umbelliferarum* (Mildiyö) yer almaktadır (Köse, 2019).

4.4. Hasat ve Harman

Rezene meyveleri kahverengileşmeye başladığında hasada gelmiş kabul edilir. Bitki, olgunlaşma bakımından heterojen yapı gösterdiğinden tüm meyveler aynı anda olgunlaşmaz ve hasat genellikle kademeli olarak yapılır. Hasat yöntemleri arasında:

- **Geleneksel yöntem:** Orakla biçim, demet hâlinde dik kurutma ve harmanlama,

- **Mekanik yöntem:** Biçerdöver ile hasat sonrası kurutma işlemi yer almaktadır (Karık vd., 2017).

Hasat edilen rezene havalanması iyi olan kuru bir ortamda sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulur. Kurutulduktan sonra dövülerek veya biçerdöver ağzına verilerek harman edilir (Baydar, 2019). Uçucu yağ içeriği ve bileşimi ise bitkinin gelişim dönemlerine göre değişiklik göstermektedir. Tatlı rezene meyvelerinde en yüksek uçucu yağ içeriği yeşil olum döneminde, yapraklarda ise en yüksek uçucu yağ oranı çiçeklenme döneminde tespit edilmiştir (Şanlı vd., 2008).

4.5. Distilasyon ve ekstraksiyon

Rezene meyveleri hem uçucu yağ hem de sabit yağ bakımından değerlidir. Uçucu yağ, su veya buhar distilasyonu ile elde edilirken; sabit yağ n-hekzan, petrol eteri veya benzen gibi organik çözücülerle yapılan ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilmektedir. Meyvelerin öğütülerek distilasyona alınması yüzey alanını artırarak hücre duvarlarının parçalanmasını kolaylaştırmakta ve böylece uçucu yağ verimini yükseltmektedir (Ben Hassine, 2021).

5. SONUÇ

Rezene, tarih boyunca hem gıda hem de tedavi edici amaçlarla kullanılan, çok yönlü özellikleri sayesinde günümüzde de önemini koruyan değerli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Akdeniz kökenli olan bu tür, geniş ekolojik adaptasyon kabiliyeti ve yüksek genetik çeşitliliği sayesinde farklı iklim ve toprak koşullarında başarıyla yetiştirilebilmektedir.

Rezenenin morfolojik, fizyolojik ve kimyasal özellikleri, çevresel faktörler, genotip, yetiştirme teknikleri ve hasat zamanı gibi değişkenlerden etkilenmekte olup, bu durum bitkinin hem bilimsel hem de endüstriyel araştırmalar için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Kimyasal bileşimi; uçucu yağlar, fenolik bileşikler, vitaminler ve mineraller açısından zengin olup, uçucu yağın başlıca bileşenleri olan trans-anetol, fenkon ve estragol bitkinin aromatik karakterini belirlemekte ve gıda, eczacılık ile kozmetik endüstrisi için değerli hammadde kaynakları oluşturmaktadır.

Buna ek olarak rezene; antimikrobiyal, antioksidan, antiinflamatuvar, östrojenik, spazm çözücü, süt artırıcı ve sindirim sistemini düzenleyici özellikleri sayesinde geniş bir farmakolojik uygulama yelpazesine sahiptir. Bitkinin meyve, yaprak, çiçek ve kök gibi farklı aksamalarının ekonomik olarak değerlendirilebilmesi, rezenenin endüstriyel kullanım potansiyelini daha da artırmaktadır. Ancak uçucu yağ oranı ve bileşenlerinin çevresel koşullar, yetiştirme yöntemi ve hasat zamanı gibi faktörlerden etkilenmesi, standardize edilmiş üretim ve kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda kimyasal standardizasyon çalışmaları, hem ürün kalitesinin yükseltilmesi hem de endüstriyel talebin karşılanması açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, rezene; ekonomik değeri yüksek, çevresel streslere dayanıklı ve çok yönlü kullanım alanlarına sahip stratejik bir bitkidir. Tıbbi, aromatik ve endüstriyel ürünlere yönelik artan talep, rezeneyi gelecekte de önemli bir üretim ve araştırma konusu hâline getirecektir. Bitkinin biyoteknolojik üretim yöntemleri, ekolojik adaptasyon mekanizmaları, uçucu yağ standardizasyonu ve sürdürülebilir tarımsal üretim modelleri üzerine yapılacak çalışmalar, hem ulusal hem de uluslararası pazardaki değerini artıracak; aynı zamanda doğal ürünler, fonksiyonel gıdalar ve çevre dostu biyoteknolojik girdiler için yeni kullanım alanlarının oluşmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akgül, A. (1985). Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) uçucu yağı üzerinde araştırmalar (Yayımlanmamış doktora tezi). Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümü, Erzurum.
- Arın, L. (2004). Sebze rezene. Erişim adresi: <http://batem.gov.tr/yayinlar/derim/2004/01-04.pdf>
- Badgujar, S. B., Patel, V. V., Bandivdekar, A. H. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill: A review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed Research International*, 2014, 842674.
- Barra, A. (2009). Factors affecting chemical variability of essential oils: A review of recent developments. *Natural Product Communications*, 4, 1147–1154.
- Baydar, H. (2019). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi (7. baskı, ss. 303–305). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Baydar, H., Erbaş, S. (2014). Yağ bitkileri bilimi ve teknolojisi (Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No. 97). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları.
- Baytop, T. (1994). Türkiye’de bitkilerle tedavi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Ben Hassine, D., Kammoun El Euch, S., Rahmani, R., Ghazouani, N., Kane, R., Abderrabba, M., Bouajila, J. (2021). Clove buds essential oil: The impact of grinding on the chemical composition and its biological activities involved in consumer’s health security. *BioMed Research International*, 2021, 9940591.
- Božović, M., Garzoli, S., Vujovic, S., Sapienza, F., Ragno, R. (2022). *Foeniculum vulgare* Miller: A new chemotype from Montenegro. *Plants*, 11, 42.
- Callan, N. W., Johnson, D. L., Westcott, M. P., Welty, L. E. (2007). Herb and oil composition of dill (*Anethum graveolens* L.): Effects of crop maturity and plant density. *Industrial Crops and Products*, 25(3), 282–287.
- Çalışkan, U. K., Özçelik, B., Sazlı, A., Sezik, E. (2010). Comparison of volatile oil from herbalist and cultivar samples of *Foeniculum vulgare* Mill. for

- their compliance with European Pharmacopoeia and antimicrobial activity. *Journal of Faculty of Pharmacy*.
- Damjanović, B., Lepojević, Ž., Živković, V., Tolić, A. (2005). Extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds with supercritical CO₂: Comparison with hydrodistillation. *Food Chemistry*, 92(1), 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.019>
- Deshwal, N., Singh, D., Poonia, M. K. (2023). Analysis of genetic variability and character association in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germplasm. *International Journal of Plant Soil Science*, 35(20), 1230–1236.
- Diaaz-Maroto, M. C., Pérez-Coello, M. S., Esteban, J., Sanz, J. (2006). Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Central Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 6814–6818.
- Duke, J. A. (2011). *Handbook of medicinal herbs*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Erberk, G., Onaral, A., Fidan, H., Çalış, Ö. (2019). Burdur rezene üretim alanlarında tehditkâr fungal patojen: *Cescosporidium punctum*. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(1), 68–73.
- Garg, V. K., Singh, P. K., Katiyar, R. S. (2004). Yield, mineral composition and quality of coriander (*Coriandrum sativum*) and fennel (*Foeniculum vulgare*) grown in sodic soil. *Indian Journal of Agricultural Science*, 74, 221–223.
- Garrabrants, N. L., Craker, L. E. (1987). Optimizing field production of dill. *Acta Horticulturae*, 208, 69–72.
- Gende, L. B., Maggi, M. D., Fritz, R., Eguaras, M. J., Bailac, P. N., Ponzi, M. I. (2009). Antimicrobial activity of *Pimpinella anisum* and *Foeniculum vulgare* essential oils against *Paenibacillus larvae*. *Journal of Essential Oil Research*, 21, 91–93.
- Gruenwald, J., Brendler, T., Jaenicke, C. (2004). *PDR for herbal medicines* (3rd ed.). New Jersey: Medical Economics Company.
- Kara, N. (2015). Yield, quality and growing degree-days of anise (*Pimpinella anisum* L.) under different agronomic practices. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 39, 1014–1022.
- Karık, Ü., Başalma, D., Telci, İ. (2017). Tıbbi ve aromatik bitkilerde hasat ve hasat sonrası işlemler. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(3), 370–379.

- Ke, W., Zhao, X., Lu, Z. (2021). *Foeniculum vulgare* seed extract induces apoptosis in lung cancer cells partly through the down-regulation of Bcl-2. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 135, 111213.
- Khorshidi, J., Fakhr Tabatabaie, M., Omidbaigi, R., Sefidkon, F. (2009). The effect of different planting densities on morphological characters, yield, and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. cv. Soroksary). *Journal of Agricultural Science*, 1(2), 66–73. <https://doi.org/10.5539/jas.v1n2p66>
- Köse, A. (2019). Göller Bölgesinde anason ve rezenede fungal hastalık etmenlerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Mahfouz, S. A., Sharaf-Eldin, M. A. (2007). Effect of mineral and biofertilizer on growth, yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics*, 21, 361–366.
- Mete, O. (2009). Kabalcı şifalı bitkiler ansiklopedisi. İstanbul: Kabalcı Yayınları.
- Moura, L. S., Carvalho Jr, R. N., Stefanini, M. B., Ming, L. C., Meireles, M. A. A. (2005). Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): Global yield, composition and kinetic data. *The Journal of Supercritical Fluids*, 35(3), 212–219.
- Muckensturm, B., Foechterlen, D., Reduron, J.-P., Danton, P., Hildenbrand, M. (1997). Phytochemical and chemotaxonomic studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 25(4), 353–358.
- Najdoska, M., Bogdanov, J., Zdravkovski, Z. (2010). TLC and GC-MS analyses of essential oil isolated from Macedonian *Foeniculum vulgare* fructus. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*, 56, 29–36.
- Olle, M., Bender, I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research*, 8(Special Issue III), 687–696.
- Özkan, F. (1999). Tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce)'de bitki sıklığının verim ve verim öğeleri üzerine etkileri (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özyılmaz, B. (2015). Rezene popülasyonlarının karakterizasyonu ve verim-kalite kriterleri bakımından değerlendirilmesi (Doktora tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

- Raal, A., Orav, A., Arak, E. (2012). Essential oil composition of *Foeniculum vulgare* Mill. fruits from pharmacies in different countries. *Natural Product Research*, 26(13), 1173–1178.
- Rather, M. A., Dar, B. A., Sofi, S. N., Bhat, B. A., Qurishi, M. A. (2016). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1574–S1583.
- Saharkhiz, M. J., Tarakeme, A. (2013). Essential oil content and composition of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) fruits at different stages of development. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 14(5), 605–609.
- Seet, J., Pandey, V. P., Singh, D., Pattnaik, M. (2020). Genetic variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 9(4), 160–164.
- Shewale, C. P., Borad, P. K. (2020). Efficacy of chemical insecticides against fennel aphid (*Hyadaphis coriandri* Das) infesting fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8, 2362–2666.
- Siddika, M. J., Khatun, K., Mostarin, T., Sarkar, M. I., Alam, M. M., Ferdousi, A. J., Afroz, S. (2014). Effect of seed sowing time and nutrients on the growth and yield of fennel (*Foeniculum vulgare*). *Asian Journal of Research in Crop Science*, 7(3), 1–13.
- Singh, A., Randhawa, G. S., Mahey, R. K. (1987). Oil content and oil yield of dill (*Anethum graveolens* L.) herb under some agronomic practices.
- Singh, S. P. (2019). A comprehensive review on pharmacological activity of *Foeniculum vulgare*. *Global Journal of Pharmacy Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 23–27.
- Şanlı, A., Karadoğan, T., Baydar, H. (2008). Doğal olarak yetişen tatlı rezene (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce)'nin farklı büyüme ve gelişme dönemlerinde uçucu yağ miktarı ile bileşenlerinin belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 17–22.
- Ullah, H., Honermeier, B. (2013). Fruit yield, essential oil concentration and composition of three anise cultivars (*Pimpinella anisum* L.) in relation to sowing date, sowing rate and locations. *Industrial Crops and Products*, 42, 489–499. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.011>

- Valduga, A. T., Gonçalves, I. L., Magri, E., Finzer, J. R. D. (2019). Chemistry, pharmacology and new trends in traditional functional and medicinal beverages. *Food Research International*, 120, 478–503.
- Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ. (2000). *Kültür sebzeleri (sebze yetiştirme)*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Xue, G., Liu, Q., Han, Y., Wei, H., Dong, T. (2006). Determination of thirteen metal elements in *Foeniculum vulgare* Mill. by flame atomic absorption spectrophotometry. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, 26(10), 1935–1938.
- Yaldız, G., Çamlıca, M. (2022). Breeding improvement of fennel genotypes of different origins (*Foeniculum vulgare* L.) using morphological and yield parameters. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 49(2), 97–111. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v49i2.2345>
- Zongliang, H. (2012, November). Anethole development trends. In *International Conference in Singapore* (pp. 4–8).

BÖLÜM 6

KENGER (*Gundelia tournefortii* L.): BİYOLOJİ, KULLANIM ALANLARI VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Savaş DEMİR¹
Prof. Dr. Zehra EKİN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18129366>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye
savas1723@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-9727-2317

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye
zehraekin@yyu.edu.tr Orcid ID: 0000-0002-3795-8883

1. GİRİŞ

Tıbbi bitkilerin insanlık tarafından kullanımı tarih öncesi dönemlere kadar uzanmaktadır. Bu bitkiler, tarih boyunca yalnızca gıda ve baharat olarak değil, aynı zamanda çeşitli hastalıkların tedavisinde de önemli bir rol üstlenmiştir. Günümüzde ise tıbbi ve aromatik bitkilere olan talep giderek artmaktadır. Ancak, söz konusu türlerin bir kısmının hâlen kültüre alınmamış olması, talebin büyük ölçüde doğal popülasyonlardan karşılanmasına neden olmaktadır. Bu durum, bazı türlerin doğal floradan yok olma riskiyle karşı karşıya kalmasına yol açmaktadır (Hani ve ark., 2024; Turhan ve ark., 2005; Özgüven ve ark., 2005; Özkan, 1999).

İklim değişikliğinin etkisi altında olan bölgelerde tıbbi ve aromatik bitkiler, yerel halk için hem önemli bir besin kaynağı hem de gelir temeli oluşturmaktadır. Bu bitkiler, yüksek besin içerikleri sayesinde yetersiz beslenmeye bağlı hastalıkların önlenmesine de katkıda bulunmaktadır (Pinela ve ark., 2017; Ceccanti ve ark., 2018; Sulaiman ve ark., 2022). Bu nedenle, tıbbi ve aromatik bitkilerin kültüre alınarak tarımsal üretiminin yapılması son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Turhan ve ark., 2005; Özgüven ve ark., 2005). Kültürel ve ekonomik açıdan bu yaklaşım, hem yerel halklara gıda ve gelir sağlamak hem de aşırı toplanma tehdidi altındaki türlerin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, artan dünya nüfusuna bağlı gıda arzı açığını kapatma çabalarına yönelik tarımsal girişimciliği destekleyen stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda, Kenger (*Gundelia tournefortii* L.), sahip olduğu çok yönlü kullanım alanlarıyla dikkat çeken önemli tıbbi ve aromatik bitkilerden biridir. Asteraceae (Compositae) familyasına ait olan bu tür, Türkçede Kenger, İngilizcede tumbleweed, Arapçada Akkoub veya Kaa'ub, İbranice'de ise Hakuvit Hagalgal olarak adlandırılmaktadır (Hani ve ark., 2024).

Kenger, geleneksel beslenme ve tıbbi uygulamalar açısından günümüzde de önemini korumaktadır. Türkiye'nin özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak bilinen bu bitki, yöresel mutfaklarda ve halk hekimliğinde önemli bir yere sahiptir (Fırat, 2016; Dalar ve ark., 2020). Benzer şekilde, Irak, İran, Lübnan, Ürdün ve çevre ülkelerde de en önemli yabani yenilebilir bitkilerden biri olarak kabul edilmekte ve bu durum doğal

popülasyonlar üzerinde aşırı toplanma baskısı yaratmaktadır (Özaltun ve Daştan, 2019). Örneğin, İsrail’de *Gundelia tournefortii* türünün doğal popülasyonlarının korunması amacıyla toplanması çevre koruma yasaları çerçevesinde sınırlandırılmış veya bazı durumlarda yasaklanmıştır (INPA, 2005).

Bu bölümde, *Gundelia tournefortii*’nin geleneksel kullanım alanları, besinsel ve farmakolojik özellikleri ile bilimsel olarak ortaya konmuş biyolojik aktiviteleri kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Amaç, kengerin hem fonksiyonel gıda olarak potansiyelini hem de insan sağlığı açısından sahip olduğu etkileri bilimsel bir çerçevede değerlendirmektir.

2. SINIFLANDIRMA

Âlem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Asterales

Familya: Asteraceae (Papatyagiller)

Alt familya: Cichorioideae

Cins: *Gundelia*

Tür: *Gundelia tournefortii* L.

Yöresel isimler: Kenger, Kerenk Sakızotu, Kangar, Çakırdiken, Kengir, Kerengreş, Kerengzer

Uzun bir süre boyunca *Gundelia* cinsinin yalnızca tek bir türden oluştuğu düşünülmüş ve tüm taksonlar sistematik olarak *Gundelia tournefortii* L. altında eşanlamlı olarak sınıflandırılmıştır. Ancak son yapılan çalışmalar, bu cins içinde bir dizi yeni türün keşfedildiğini ortaya koymuştur. Bu türler arasında *Gundelia glabra* Miller, *Gundelia dersim*, *Gundelia mesopotamica*, *Gundelia siirtica*, *Gundelia cappadocica*, *Gundelia vitekii* Armağan, *Gundelia munzuriensis* ve *Gundelia rosea* yer almaktadır (Vitek vd., 2014; Armağan, 2016, 2017; Fırat, 2016, 2017, 2019, 2021).

Özellikle *Gundelia rosea*, İran'ın batısı, Irak'ın kuzeyi ve Türkiye'nin doğu bölgelerinde doğal olarak yetişmektedir. Bu türün lateksi, sindirim sorunlarının tedavisinde kullanılmakta olup, sakız olarak işlenip ticari amaçlarla değerlendirilmektedir. Ayrıca Doğu Anadolu'nun kırsal kesimlerinde, *G. rosea* tohumlarından geleneksel kahve hazırlanarak tüketilmektedir (Dalar vd., 2019).

3. BİTKİSEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Orjini ve dağılımı

Kenger (*Gundelia tournefortii* L.), İran-Turan fitocoğrafik bölgesine özgü, çok yıllık otsu bir bitkidir. Tür, Türkiye (özellikle Anadolu), İran, Irak, Suriye, Azerbaycan, Ürdün, Filistin ve Ermenistan dâhil olmak üzere Doğu Akdeniz'in çeşitli ülkelerinde doğal olarak yayılış göstermektedir (Fırat, 2016; Hani ve ark., 2024).

Gundelia tournefortii, Akdeniz çalılık ekolojik bölgesinin (garrigue) tipik bir temsilcisi olarak kabul edilir. Bitki; kayalık kireçtaşı veya magmatik yamaçlar, bozkırlar, çam veya meşe ormanlarındaki açık alanlar, nadasa bırakılmış veya ekili tarlalar gibi çok farklı habitatlarda yetişebilmektedir. Türün doğal yayılışı deniz seviyesinden 100–2500 m yükseltilere kadar uzanmaktadır (Davis, 1970).

3.2. Morfolojik Özellikleri

Kenger, Asteraceae (Compositae) familyasına ait, devedikenine benzeyen, çok yıllık bir bitkidir (Şekil 1A). Her bahar, kalın kök-gövde sisteminden yeni sürgünlerle yenilenir (Hind, 2013; Lev-Yadun ve Abbo, 1999). Bitkinin boyu genellikle 20–50 cm olmakla birlikte, nemli koşullarda 100 cm'ye kadar uzayabilir. Gövdeleri dik, bazen dallanmış ve yüzeyi tüysüz, hafif tüylü veya yoğun tüylü olabilir (Hind, 2013; Lev-Yadun ve Abbo, 1999).

Yapraklar almaşık dizilişli olup sapsızdır veya tabanda dikenli kanatlı bir yapıya sahiptir. Alt yapraklar yaklaşık 7–30 × 4–16 cm boyutlarındadır ve mızrak şeklinde uzanır.

Çiçek salkımı, tek çiçekli kapitulumların birleşmesiyle oluşan bileşik bir küresel ya da ovoid yapıdadır (Şekil 1B). Salkımlar yaklaşık 2–5 × 2–4 cm boyutundadır. Her bileşik salkım, bir dikenli brakt ve iki yardımcı braktla

çevrilidir. Braktlar genellikle dikenli, oval-sivri uçlu olup çiçek salkımını kısmen aşar. Yüzeyleri örümcek ağı şeklinde tüylü ya da tüysüz olabilir. Diken uçları 5–7 cm uzunluğunda düzleşmiş bir yapıya sahiptir ve tabana doğru kahverengimsi-mor renktedir (Vitek ve ark., 2017). Birincil toplu kapitula 7–17 mm uzunluğunda olup, 5–7 veya daha fazla birincil kapitulum içerir. Merkezi kapitulumlar hermafrodit ve işlevsel olarak dişi, yardımcı kapitulumlar ise işlevsel olarak erkek çiçekler taşır (Hind, 2013). Taç yapraklar 7–10 mm uzunluğunda olup pas rengi, morumsu, kahverengi veya sarı tonlarındadır; iç kısımları soluk sarı ya da yeşilimsi (nadiren beyaz) olabilir. Taç yapraklar dar mızrak şeklinde, $3-4 \times 1$ mm boyutlarındadır ve iç yüzeyleri tüysüzdür. Stil kahverengimsi, anterler koyu sarı renkte ve 4–6 mm uzunluğundadır (Hani ve ark.,2024).

Meyveler $10-16 \times 5-9 \times 7$ mm boyutlarında olup, taze iken yeşil veya morumsu renkte, olgunlaştıkça odunsu bir yapı kazanır. Erkek başçıkların dış bölmeleri yayılma birimi oluştuğunda içi boşalır ve yatay ya da eğik apikal açıklıklar gösterir (Hind, 2013). Meyve, yarı sıkıştırılmış bir cypsela tipindedir. Yaklaşık 6×3 mm boyutunda olup, pappus 1,5–2 mm uzunluğundadır ve kısa, kenarları düz veya saçaklı bir taç oluşturur. Tohumlar yumurtamsı şekilli, soluk kum renginde ve yaklaşık $8 \times 4 \times 2$ mm boyutlarındadır (Şekil 1C).

Çiçeklenme dönemi Şubat-Mart aylarında başlar ve Haziran’a kadar sürer; meyve olgunlaşması ise Haziran-Ağustos ayları arasında gerçekleşir (Hind, 2013; Lev-Yadun ve Abbo, 1999). Bitkinin yer üstü kısımları mevsim sonunda kuruyarak kök sisteminden ayrılır ve rüzgârla sürüklenen bir tumbleweed (yuvarlanan bitki) hâline gelir. Bu özellik, tohumların uzun mesafelere yayılmasına olanak sağlar (Hind, 2013).



Şekil 1. Kenger bitkisinin A:gövdesi B:çiçeği C:çekirdeği D:taze kenger(Foto: Mehmet Es)

4. KULLANIM ALANLARI

4.1. Gıda Olarak Kullanımı

4.1.1. Yemeklik Kullanımı

Kenger yılın ilk aylarında doğada yabani olarak yetişen ve erken dönemde toplanan bir bitkidir. Bitki tabanından kesilerek toplanır (Şekil 1D), dikenleri ayıklanır ve gelişmemiş çiçek başları, sapları, yaprakları ile kökleri sebze olarak tüketilir. Farklı coğrafyalarda farklı pişirme yöntemleriyle değerlendirilmektedir. Lübnan'da kenger, zeytinyağı veya kuyruk yağı ile birlikte omlet ve geleneksel yemeklerin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca yoğurt ve nohut gibi diğer malzemelerle birlikte Akkoub (kenger)

yemeklerine eklenmesi yaygındır (Gustaf, 2013; Batal ve Hunter, 2007; Baydoun ve ark., 2023).

Türkiye’de taze kenger, genellikle suda haşlanarak veya bitkisel yağda kızartılarak tüketilir. Çoğu yörede yumurta, köfte veya haşlanmış et ile birlikte servis edilir. Ayrıca kenger turşusu ve yöresel yemekler olan “borani” veya “meyir” gibi tariflerde de kullanılır; bazen soğan ve sarımsakla kavru olarak hazırlanır (Demir, 2013; Say ve Guzeler, 2016; Kızıl ve Tonçer, 2014; Çakılıcıoğlu, 2020).

Kenger özütü, süt ürünleri teknolojisinde de değerlidir. Süt fermentasyonunda doğal pıhtılaştırıcı olarak görev almakta; dondurma üretiminde stabilizatör, yoğurt yapımında ise kıvam artırıcı madde olarak kullanılmaktadır (Demir, 2013; Say ve Guzeler, 2016).

Orta Doğu’da genç ve henüz gelişmemiş çiçek tomurcukları, enginar kalbi benzeri şekilde yerel pazarlarda satılmaktadır (Kunkel, 1984). Meyveleri ise sirke veya limon suyu ile tuz eklenerek turşu hâline getirilir ve garnitür olarak tüketilir. *G. tournefortii*’nin çiçek salkımı, genç sapı ve yaprakları, Filistin mutfağında “Akoob” adlı geleneksel yemeğin hazırlanmasında kullanılmaktadır (Doğan ve ark., 2004; Çoruh ve ark., 2007).

4.1.2. Kenger Sakızı

Bitkinin lateksinden elde edilen kenger sakızı, hem gıda hem de geleneksel tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Şekil 2A ve 2B). Yaprak dökümü başladığında toprak yaklaşık 10 cm derinliğe kadar kazılır ve bitkinin gövdesi toprak seviyesinde çapraz olarak kesilir. Kesilen kısımdan akan lateks, toprağın üzerine damlar ve bir gün içinde sertleşir. Sertleşmiş lateks toplanarak su ile yıkanır ve kurutulur. Elde edilen sakız, doğrudan çiğnenerek tüketilir (Tarhan ve ark., 2023; Çakılıcıoğlu, 2020).

4.1.3. Kenger kahvesi

Olgunlaşmış kenger meyveleri, “kenger kahvesi” hazırlanmasında kullanılmaktadır (Şekil 2C). Toplanan meyveler ayıklanır (Şekil 2D) ve temizlendikten sonra, geleneksel olarak ekmek pişirme saçlarının çukur kısmına yerleştirilir. Ateş üzerinde taneler, sarı veya kirli sarı renkten kahverengiye dönene kadar kavrulur. Ayrıca küçük işletmelerde kavurma

işlemi kontrollü şartlarda da yapılabilir (Şekil 2E ve 2F). Ardından taneler, “sipin” adı verilen dikenli kısımlarından ayrılır, kıl çuvallarda sürtülerek temizlenir ve dibeklerde dövülür. Elde edilen ürün, ipek süzgeçten geçirilerek kahve içimine hazır hâle gelir (Tanker ve Tanker, 1967).

4.1.4. Çerezlik Kullanımı

Bitkinin tohumları açık kahverengi renge dönüştüğünde toplanır ve kavrularak çerez olarak tüketilir (Şekil 2G ve 2H) (Khanzadeh ve ark., 2012). Kuzey Irak'ta “sissi” olarak bilinen kenger tohumları, kavrulup tuzlandıktan sonra ayçiçeği çekirdeğine benzer bir tada sahip olur ve bölgede yaygın şekilde tüketilmektedir (Gustaf, 2013; Şekil 1).



A



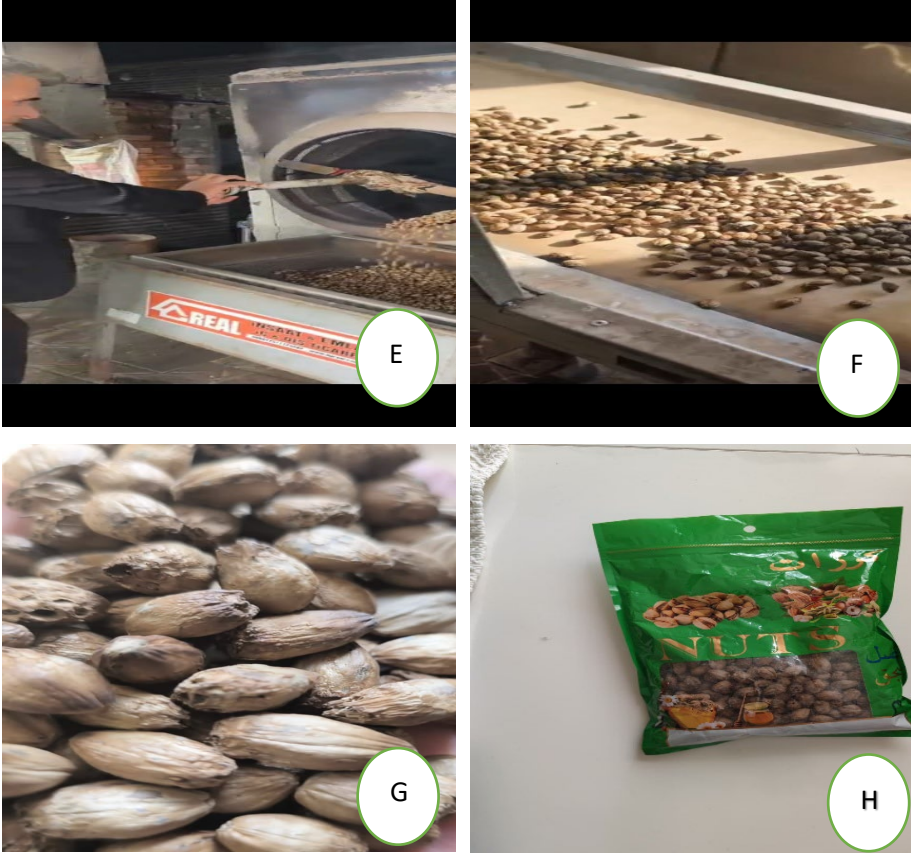
B



C



D



Şekil 2. Kenger A: sakızı B: turşusu C: arazide toplama D: ayırma E: kavurma F:kavurma sonrası bantta G: kavrulan meyve H: paketleme (Foto: Mehyet Es)

4.1.5. Diğer Gıda Kullanım Alanları

Kenger özütü, yoğurt üretiminde kıvam artırıcı ve süt pıhtılaştırıcı olarak; dondurma üretiminde ise stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bitkiden elde edilen doğal bileşenler, fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir (Demir, 2013; Say ve Guzeler, 2016; Kızıl ve Tonçer, 2014). Bu özellikleri sayesinde kenger, hem geleneksel mutfakta hem de modern gıda endüstrisinde önemli bir bitki olarak öne çıkmaktadır.

Kenger, arılar için değerli bir nektar kaynağı olup bal üretiminde de katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, kıymetli bir yem bitkisi olarak da kullanılmaktadır. Yaz aylarında toplanıp kurutulduktan ve ufalandıktan sonra,

kış döneminde hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir (Karabulut vd., 2006; Abrol, 2013).

4.2. Tıbbi Kullanımı

Geleneksel tıp uygulamalarında çeşitli hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki; diyabet, epilepsi, ateş, soğuk algınlığı, öksürük, böbrek ağrıları, mide ve bağırsak rahatsızlıkları, ishal, mide ağrısı, iltihaplanma, karaciğer ve kan hastalıkları, bakteriyel ve mantar enfeksiyonları ile kabakulak gibi durumlarda değerlendirilmektedir (Mehrzadeh ve ark., 2024).

Kenger sakızı, halk hekimliğinde vitiligo, diş ağrısı ve diş eti güçlendirme amacıyla kullanılmakta olup, çiğnendiğinde ağıza çıkan acı özsuynun mide ağrılarını hafiflettiği bildirilmektedir. Sakızın az miktarda tüketimi ishali kesici, fazla miktarda tüketimi ise kusturucu etki göstermektedir. Ayrıca, yılan ısırıkları, siğiller, yaralar ve iltihaplı deri hastalıklarının tedavisinde topikal olarak uygulanmaktadır (Baydoun ve ark., 2015; Çakılcıoğlu ve ark., 2007).

Kenger kahvesi, içerdiği antioksidan bileşikler sayesinde oksidatif stresle ilişkili hastalıklara karşı koruyucu etkiler gösterebilir; özellikle nörodejeneratif hastalıklar ve kanser üzerinde potansiyel faydaları olduğu bildirilmiştir (Gezici ve Şekeroğlu, 2021). Doğu Anadolu'da halk hekimleri, kuru tohumları vitiligo tedavisinde; taze tohumları ise idrar söktürücü (diüretik) olarak kullanmaktadır (Çoruh ve ark., 2007).

Güncel farmakolojik araştırmalar, kenger bitkisinin fenolik bileşikler, steroller ve triterpenler içermesi nedeniyle antioksidan, antiinflamatuvar, antibakteriyel, antifungal, antikanser ve antidiyabetik etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Ayoubi ve ark., 2015; Abu-Lafi ve ark., 2019; Dalar ve ark., 2020). Bu bulgular, bitkinin hem içten hem de dıştan terapötik amaçlarla çok yönlü olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

4.3. Sağlık Açısından Önemi

Kenger bitkisinin kimyasal bileşimi, özellikle içerdiği fenolik bileşikler sayesinde çeşitli patolojik durumların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bilimsel araştırmalar, bitkinin insan sağlığı üzerinde çok sayıda

olumlu etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Konak ve ark., 2011). Bitki; kafeoliquinik asit türevleri, kuersetin, gallik asit gibi flavonoidler ile limonen, zingiberen ve saponinler gibi diğer biyolojik aktif bileşenleri içermektedir. Fenolik bileşikler, bitkilerde ikincil metabolizma ürünleri olarak patojenlere karşı savunma sağlamak ve üreme, büyüme, renk ve tat gibi temel fonksiyonlara katkıda bulunmaktadır. Ayrıca antioksidan özellikleri sayesinde serbest radikalleri nötralize ederek kanser, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon ve felç riskini azaltabilir (Dykes ve Rooney, 2007; Hajizadeh-Sharafabad ve ark., 2016; Haghi ve ark., 2011).

Kenger tohumları, kalsiyum (Ca), potasyum (K), fosfor (P), demir (Fe), magnezyum (Mg), sodyum (Na) ve çinko (Zn) gibi temel mineraller açısından zengin bir kaynak oluşturur. Ayrıca %16 ham yağ, %12 ham protein ve %27 ham lif içeriği ile yüksek besin değerine sahiptir. İçerdiği tokoferoller, yağ asitleri ve steroller sayesinde beslenme açısından önemli bir bileşim sunmaktadır (Matthäus ve Özcan, 2011).

Bitkide bulunan sitosterol, stigmasterol, lupeol, gitoksijenin, α -amyrin ve artemisinin gibi biyoaktif bileşikler, kanserin önlenmesi ve tedavisinde potansiyel etkilere sahiptir (Abu-Lafi ve ark., 2019). Kengerin çiçek salkımlarında yedi temel serbest amino asit — treonin, lisin, valin, triptofan, lösin, fenilalanin ve izolösin — tespit edilmiştir (Taylor ve ark., 2019). Ayrıca prolin, çiçek salkımlarında en fazla bulunan amino asitlerden biri olup, bitki fizyolojisinde büyüme, gelişme ve stres toleransında önemli rol oynarken, insanlarda kolajen sentezi ve doku yenilenmesine katkı sağlamaktadır (Kavi Kishor ve ark., 2015; Patriarca ve ark., 2021).

Taze kenger yaprak özütleri, *Salmonella choleraesuis*'e karşı bakterisidal aktivite göstermiştir. Ayrıca bitkinin toprak üstü kısımlarından elde edilen metanol ve hekzan özütleri, içerdiği sitosterol, stigmasterol, lupeol, gitoksijenin, α -amyrin ve artemisinin sayesinde HCT-116 insan kolon kanseri hücre hattında antitümör aktivite sergilemiştir (Ayoubi ve ark., 2015; Abu-Lafi ve ark., 2019).

Bu bulgular, *Gundelia tournefortii*'nin yalnızca geleneksel tıpta değil, aynı zamanda modern farmakoloji ve beslenme bilimi açısından da yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bitkinin antioksidan, antikanser,

antimikrobiyal ve metabolik koruyucu etkileri, gelecekte fonksiyonel gıda ve fitoterapi alanlarında kullanım potansiyelini artırmaktadır.

4.4. Endüstriyel ve Ekonomik Kullanım Alanları

Kenger bitkisi, kimyasal bileşimi ve biyolojik özellikleri sayesinde yalnızca gıda ve tıbbi amaçlarla değil, aynı zamanda endüstriyel ve ekonomik açıdan da önemli bir potansiyele sahiptir. Bitkinin tohumları yaklaşık %16 yağ ve %12 protein içermekte olup, bu özellikleriyle hem bitkisel yağ üretiminde hem de fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Matthäus ve Özcan, 2011). Tohum yağları, linoleik asit ve oleik asit bakımından zengin olup, gıda endüstrisinde antioksidan, stabilizatör veya emülgatör olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

Kenger sakızı, bitkiden elde edilen doğal lateks özelliği taşıyan bir üründür. İçerisinde bulunan rezin, uçucu yağ ve fenolik bileşikler, kenger sakızını gıda, eczacılık, kozmetik ve çiğneme sakızı endüstrilerinde değerlendirilebilir hâle getirmektedir (Çakılcıoğlu, 2020; Tarhan ve ark., 2023). Sakızın diş sağlığına olumlu etkileri ve ağız hijyenini destekleyici özellikleri, onu ticari sakız formülasyonlarında doğal bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır.

Bitkinin özütləri, süt ürünleri endüstrisinde de kullanılmaktadır. Kenger özütü, yoğurt ve dondurma üretiminde stabilizatör, peynir yapımında pıhtılaştırıcı ajan ve süt ürünlerinde kıvam artırıcı olarak değerlendirilmektedir (Say ve Guşeler, 2016). Bu özellikleri, kengerin süt endüstrisinde doğal katkı maddesi olarak önem kazanmasını sağlamaktadır.

Kenger meyvelerinin kavrulmasıyla elde edilen “kenger kahvesi”, özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın bir geleneksel içecek olup, yerel ekonomiye katkı sağlamaktadır. Son yıllarda bu ürün, organik ve geleneksel gıda pazarlarında ticari değer kazanmaktadır (Tanker ve Tanker, 1967; Gustaf, 2013).

Ayrıca kavrulmuş tohumlar, bazı Orta Doğu ülkelerinde çerez olarak tüketilmekte, baharat ve turşu endüstrisinde aroma verici olarak kullanılmaktadır (Khanzadeh ve ark., 2012). Bu yönleriyle kenger, hem yerel pazarlarda ekonomik değer yaratmakta hem de kırsal kalkınma ve kadın istihdamına katkı sağlayabilecek tarımsal bir ürün potansiyeli taşımaktadır.

Nitekim, *Gundelia tournefortii*'nin çok yönlü endüstriyel kullanımı, gıda, kozmetik, eczacılık ve doğal katkı maddeleri sektörlerinde değerlendirilebilme potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

4.5. Sürdürülebilirlik ve Koruma Önlemleri

Doğada yabani olarak yetişen kenger bitkisi üzerinde son yıllarda artan talep ve yoğun toplama baskısı, bu türün doğal popülasyonlarında azalma ve habitat kaybına yol açabilmektedir (Fırat, 2016; Dalar ve ark., 2020). Bazı bölgelerde aşırı toplama, kengerin yerel popülasyon yoğunluğunu önemli ölçüde düşürmüş ve türü yerel ölçekte yok olma riskiyle karşı karşıya bırakmıştır (Hani ve ark., 2024). İsrail'de, doğal popülasyonları korumak amacıyla kengerin toplanması çevre koruma yasaları çerçevesinde sınırlandırılmış veya yasaklanmıştır (INPA, 2005).

Sürdürülebilir kullanımın sağlanabilmesi için önerilen temel stratejiler şunlardır:

- **Kültüre alma ve tarımsal üretim:** Kengerin kontrollü koşullarda tarımsal olarak üretilmesi, hem doğadaki popülasyonların korunmasını hem de ekonomik değerinin artırılmasını sağlar (Turhan ve Özgüven, 2005).

- **Yerel üretici eğitimi:** Yerel halkın bitkiyi sürdürülebilir yöntemlerle toplaması, kök sistemine zarar vermemesi ve tohum bırakılmasına izin verilmesi konusunda bilinçlendirilmesi gereklidir.

- **Ekonomik teşvikler:** Kenger tarımını destekleyen kooperatif ve kadın girişimcilik projeleri, hem ekonomik sürdürülebilirliği hem de biyolojik çeşitliliğin korunmasını destekler.

- **Ekolojik izleme:** Doğal popülasyonların düzenli olarak izlenmesi, dağılım alanlarının haritalanması ve genetik çeşitliliğin korunmasına yönelik çalışmalar artırılmalıdır.

G. tournefortii'nin iklim değişikliğine karşı dayanıklı bir tür olması, gelecekte kuraklığa uyumlu tarımsal sistemlerde alternatif bir ürün olarak değerlendirilme potansiyelini artırmaktadır. Bu nedenle, kengerin hem biyolojik çeşitliliğin korunması hem de kırsal kalkınma politikaları kapsamında ele alınması, doğal floradan sürdürülebilir biçimde yararlanılmasını ve gelecek nesillere aktarılmasını mümkün kılacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kenger biyolojik, ekolojik ve kimyasal çeşitliliği sayesinde hem geleneksel hem de modern kullanım alanlarında önemli bir potansiyele sahip değerli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Türkiye başta olmak üzere Orta Doğu'nun çeşitli bölgelerinde halkın günlük yaşamında yer alan bu tür, hem besin kaynağı hem de doğal tedavi edici ajan olarak değerlendirilmektedir.

Bitkinin kök, gövde, yaprak, çiçek ve tohum gibi farklı kısımlarının gıda, sakız, kahve, turşu, yem ve tıbbi ürün formunda kullanımı, Kenger'in çok yönlü kullanım değerini ortaya koymaktadır. Fitokimyasal analizler, bitkinin fenolik bileşikler, tokoferoller, steroller, yağ asitleri ve amino asitler bakımından zengin olduğunu göstermektedir. Bu bileşenler, Kenger'e antioksidan, antimikrobiyal, antikanser, antiinflamatuvar ve besleyici özellikler kazandırmaktadır.

Biyoaktif bileşiklerin, oksidatif stresi azaltma, serbest radikalleri nötralize etme ve metabolik bozuklukların önlenmesi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, bitkinin yüksek mineral ve lif içeriği, insan beslenmesinde tamamlayıcı bir rol oynayarak yetersiz beslenme ile ilişkili sağlık sorunlarının önlenmesine katkı sağlamaktadır.

Ekolojik açıdan kenger, kurak ve yarı kurak koşullara uyum sağlama kapasitesi ile iklim değişikliğine dayanıklı bir türdür. Bu özellik, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan halklar için sürdürülebilir gıda ve ekonomik fırsat sağlama potansiyelini artırmaktadır. Ancak, doğal popülasyonlardan kontrolsüz şekilde toplanması, türün bazı bölgelerde popülasyon baskısı ve yerel yok olma riskiyle karşı karşıya kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, kengerin doğal alanlarda korunması, kültüre alınması ve tarımsal üretiminin desteklenmesi, hem türün devamlılığı hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, kenger gıda endüstrisi, farmasötik uygulamalar ve sürdürülebilir tarım açısından stratejik değere sahip bir bitki olup, gelecekte biyokimyasal içeriklerinin detaylı olarak analiz edilmesi, farmakolojik etkilerinin bilimsel olarak doğrulanması ve kontrollü üretim sistemlerine entegrasyonu, hem bilimsel araştırmalara hem de ekonomik kalkınmaya önemli katkılar sağlayacaktır. Geleneksel bilgi ile modern bilimin birleştiği bu tür, fonksiyonel gıdalar, doğal ilaç hammaddeleri ve ekolojik sürdürülebilirlik

açısından geleceğin önemli bitkisel kaynaklarından biri olma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

- Abu-Lafi, S., Rayan, B., Kadan, S., Abu-Lafi, M., Rayan, A. (2019). Anticancer activity and phytochemical composition of wild *Gundelia tournefortii*. *Oncology Letters*, 17(1), 713–717.
- Armağan, M. (2016). *Gundelia vitekii* (Compositae), a new species from Turkey. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B*, 118, 129–134.
- Armağan, M. (2017). *Gypsophila munzurensis* (Caryophyllaceae), a new species from Tunceli (Turkey). *Phytotaxa*, 275(2), 175–180.
- Ayoubi, B., Baradari, P. (2015). Antibacterial activity of *Gundelia tournefortii* compounds against *Salmonella choleraesuis*. *Biological Forum*, 1076.
- Batal, M., Hunter, E. (2007). Traditional Lebanese recipes based on wild plants: An answer to diet simplification. *Food and Nutrition Bulletin*, 28(2, Suppl. 2), S303–S311.
- Baydoun, S., Chalakh, L., Dalleh, H., Arnold, N. (2015). Ethnopharmacological survey of medicinal plants used in traditional medicine by the communities of Mount Hermon, Lebanon. *Journal of Ethnopharmacology*, 173, 139–156.
- Ceccanti, C., Landi, M., Benvenuti, S., Pardossi, A., Guidi, L. (2018). Mediterranean wild edible plants: Weeds or “new functional crops”? *Molecules*, 23(9), 2299.
- Çakılcıoğlu, U., Türkoğlu, İ., Kurşat, M. (2007). Ethnobotanical features of Harput (Elazığ) and its vicinity. *Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 22–28.
- Çoruh, N., Celep, A. S., Özgökçe, F., İşcan, M. (2007). Antioxidant capacities of *Gundelia tournefortii* L. extracts and inhibition on glutathione-S-transferase activity. *Food Chemistry*, 100(3), 1249–1253.
- Dalar, A., Zengin, G., Mukemre, M., Bengü, A. S., İşler, S. (2019). *Gundelia rosea* seed: Evaluation of biopharmaceutical potential and bioactive composition. *South African Journal of Botany*, 125, 505–510.
- Davis, P. H. (1970). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vol. 3). Edinburgh University Press.

- Demir, A. (2013). Sürdürülebilir gelişmede yükselen değer; biyolojik çeşitlilik açısından Türkiye değerlendirmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(24), 67–74.
- Doğan, A., Akin, F., Özhatay, N. (2004). The use of wild edible plants in western and central Anatolia (Turkey). *Economic Botany*, 58(4), 684–690.
- Dykes, L., Rooney, L. W. (2007). Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52, 105–111.
- Fırat, M. (2016). *Gundelia mesopotamica* (Asteraceae), a new lactiferous species from Mardin (Turkey). *Acta Biologica Turcica*, 30(3), 64–69.
- Fırat, M. (2017). *Gundelia rosea* (Asteraceae), a new record for the Flora of Turkey with contributions to its systematics. *Acta Biologica Turcica*, 30(2), 31–35.
- Fırat, M. (2019). *Gundelia siirtica* (Asteraceae), a new lactiferous species from Siirt (south-eastern Anatolia). *Phytotaxa*, 394(4), 276–284.
- Fırat, M. (2021). *Gundelia cappadocica* (Asteraceae): A new lactiferous species from Cappadocia, Turkey. *Acta Biologica Turcica*, 34(3), 128–139.
- Gustaf, D. (2013). *Work and customs in Palestine* (N. A. Sukhtian, Trans.). Dar Al Nasher.
- Haghi, G., Hatami, A., Arshi, R. (2011). Distribution of caffeic acid derivatives in *Gundelia tournefortii* L. *Food Chemistry*, 124, 1029–1035.
- Hajizadeh-Sharafabada, F., Alizadeh, M., Mohammadzadeh, M. H. S., Alizadeh-Salteh, S., Kheirouri, S. (2016). Effect of *Gundelia tournefortii* L. extract on lipid profile and TAC in patients with coronary artery disease: A double-blind randomized placebo-controlled clinical trial. *Journal of Herbal Medicine*, 6, 59–66.
- Hani, N., Abulaila, K., Howes, M. J., Mattana, E., Bacci, S., Sleem, K., Ulian, T. (2024). *Gundelia tournefortii* L. (Akkoub): A review of a valuable wild vegetable from Eastern Mediterranean. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(8), 3987–3995.
- Hind, N. (2013). *Gundelia tournefortii* (Compositae). *Curtis's Botanical Magazine*, 30(2), 114–138.

- Israel Nature and Parks Authority (INPA). (2005). *Declaration on National Parks, Nature Reserves, National Sites and Memorial Sites (Protected Natural Assets)*.
- Kavi Kishor, P. B., Himakumari, P., Sunita, M. S. L., Sreenivasulu, N. (2015). Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science*, 6, 544.
- Khanzadeh, F., Haddad, K. M., Elhami, R. A., Rahmani, F. (2012). Physiochemical properties of *Gundelia tournefortii* L. seed oil. (Not: Dergi bilgisi eksik.)
- Kızıl, S., Tonçer, Ö. (2014). Diyarbakır ve çevresinden doğadan toplanarak tüketilen bitkiler. *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu*, 23–25.
- Konak, M., Ateş, M., Şahan, Y. (2017). Yenilebilir yabani bitki *Gundelia tournefortii*'nin antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(2), 101–108.
- Lev-Yadun, S., Abbo, S. (1999). Traditional use of A'kub (*Gundelia tournefortii*, Asteraceae) in Israel and the Palestinian Authority area. *Economic Botany*, 53(2), 217–219.
- Matthäus, B., Özcan, M. M. (2011). Chemical evaluation of flower bud and oils of tumbleweed (*Gundelia tournefortii* L.) as a new potential nutrition source. *Journal of Food Biochemistry*, 35(4), 1257–1266.
- Özgülven, M., Sekin, S., Gürbüz, B., Şekeroğlu, N., Ayanoğlu, F. (2005). Tütün, tıbbi ve aromatik bitkiler üretimi ve ticareti. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiri Kitabı*, 2, 48–498.
- Patriarca, E. J., Cermola, F., D'Aniello, C., Fico, A., Guardiola, O., De Cesare, D., Minchiotti, G. (2021). The multifaceted roles of proline in cell behavior. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 728576.
- Pieroni, A., Sulaiman, N., Polesny, Z., Söukand, R. (2022). From Şxex to Chorta: The adaptation of Maronite foraging customs to Greek ones in Kormakitis, Northern Cyprus. *Plants*, 11(20), 2693.
- Pinela, J., Carvalho, A. M., Ferreira, I. C. (2017). Wild edible plants: Nutritional and toxicological characteristics, retrieval strategies and importance for today's society. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 165–188.
- Say, D., Guzeler, N. (2016). Süt pıhtılaştırılmasında kullanılan bazı bitkiler. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi (Özel Sayı)*, 5, 253–260.

- Şekeroğlu, N., Gezici, S. (2021). Türkiye'nin virüs savar bitkisi Laden (*Cistus* spp.) türleri: Geleneksel kullanımları, biyoaktif kimyasal bileşenleri ve farmakolojik aktiviteleri. *Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 11(2), 258–268.
- Tanker, M., Tanker, N. (1967). *Journal of Faculty of Pharmacy*, 3, 63–74.
- Tarhan, A., Fırat, M., Topal, G. (2023). Comprehensive study of all *Gundelia* L. taxa: LC-MS/MS based phytochemical investigation and bioactivity potential of 22 species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 109, 104672.
- Taylor, J. L., Gomez-Barreiro, P., Mattana, E., Howes, M. J., Battison, A., Abulaila, K., et al. (2019). Wild edible plants research to support traditional diet preservation in the Eastern Mediterranean. *Plants, People, Planet Symposium*, Royal Botanic Gardens, Kew, London.
- Turhan, H., Afat, O., Turhan, P. (2005). Bitki sıklığının kışnişte verim ve verim unsurlarına etkisi. In *Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi* (pp. 471–475).
- Vitek, E., Yüce, E., Ergin, C. (2014). *Gundelia dersim* and *Gundelia munzuriensis* (Compositae), two new species from Turkey. *Phytotaxa*, 161, 130–138.

BÖLÜM 7

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BİTKİ GELİŞİMİNİ TEŞVİK EDEN RİZOBAKTERİLER (PGPR): MEKANİZMALAR, UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

¹Ziraat Yüksek Mühendisi Ahu KILAVUZ

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18129505>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü; ORCID: 0009-0005-3269-227X; kilavuzahu65@gmail.com

GİRİŞ

Tarımsal üretimde verimliliğin sınırlarını belirleyen en temel faktörlerden biri, bitki kökleri ile toprak mikroorganizmaları arasındaki karmaşık ve dinamik ilişkidir. 20. yüzyılın başlarına kadar toprak, bitkiler için sadece bir tutunma ortamı ve besin deposu olarak görülürken, Alman agronomist ve bitki fizyoloğu Lorenz Hiltner'in 1904 yılında ortaya attığı Rizosfer (Rhizosphere) kavramı, bu bakış açısını kökten değiştirmiştir. Hiltner, bitki köklerinin hemen çevresindeki toprağın, köklerden salgılanan organik bileşikler (eksüdatlar) nedeniyle mikrobiyal aktivite açısından diğer toprak kısımlarına göre çok daha zengin olduğunu fark etmiştir. Bu bölge, bitki ve mikroorganizmalar arasındaki sinyalleşmenin ve besin alışverişinin gerçekleştiği, biyolojik olarak en aktif "sıcak bölge" olarak tanımlanmıştır.

Ancak, bu bölgedeki bakterilerin bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin sistematik olarak isimlendirilmesi ve bir disiplin haline gelmesi yaklaşık 70 yıl sürmüştür. 1978 yılında Kloepper ve Schroth, turp bitkileri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, kök bölgesinde kolonize olan ve bitki gelişimini önemli ölçüde artıran bakterileri tanımlamak için ilk kez "Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria - PGPR) terimini kullanmışlardır. Bu tanımlama, tarımsal mikrobiyolojide bir milat kabul edilmiş ve o günden bu yana *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium* ve *Burkholderia* gibi birçok cinsin, bitki gelişimi üzerindeki çok yönlü etkileri detaylıca araştırılmaya başlanmıştır.

PGPR'ların bitki gelişimini teşvik etme mekanizmaları, literatürde genel olarak "doğrudan" ve "dolaylı" olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir. Doğrudan mekanizmalar, bakterinin bitki metabolizmasına veya besin alımına bizzat katkı sağladığı süreçleri kapsar. Bu süreçlerin en bilineni ve tarihsel olarak en eski keşfedileni Biyolojik Azot Fiksasyonu dur (BNF). *Rhizobium* türlerinin baklagillerle kurduğu simbiyotik ilişki yüzyıllardır bilinse de, 1980'li ve 90'lı yıllarda yapılan çalışmalar (Döbereiner, 1992), *Azospirillum* ve *Azotobacter* gibi serbest yaşayan veya birleşici (associative) yaşayan bakterilerin de atmosferik azotu (N_2) bitkilerin kullanabileceği amonyum (NH_4^+) formuna dönüştürebildiğini göstermiştir. Bu bakteriler, sahip oldukları

nitrojenaz enzim kompleksi sayesinde, bitkisel üretimde en çok sınırlayıcı olan azot elementini, endüstriyel Haber-Bosch sürecine gerek kalmadan doğal yollarla sisteme kazandırmaktadır.

Azotun yanı sıra, fosforun bitkiler tarafından alınabilirliği de kritik bir sorundur. Toprakta bol miktarda bulunan fosfor, genellikle kalsiyum, demir veya alüminyum ile kompleks oluşturarak çözünmez formda bulunur. Goldstein (1986) ve sonrasındaki araştırmacılar, bazı PGPR türlerinin (özellikle *Bacillus* ve *Pseudomonas*) glukonik asit gibi organik asitler salgılayarak toprak pH'ını lokal olarak düşürdüğünü ve bu sayede fikse olmuş fosforu çözerek bitkinin kullanımına sunduğunu (Fosfat Çözücü Bakteriler - PSB) ortaya koymuşlardır.

Besin sağlamanın ötesinde, PGPR'ların bitki fizyolojisine en doğrudan müdahalesi Fitohormon Üretimi yoluyla gerçekleşir. 1980'lerin sonlarında yapılan moleküler çalışmalar, birçok rizosfer bakterisinin Oksin (özellikle İndol-3-Asetik Asit / IAA), Sitokinin ve Gibberellin gibi bitki büyüme düzenleyicilerini sentezleyebildiğini kanıtlamıştır (Patten ve Glick, 1996). Bakteriyel kökenli bu hormonlar, bitkinin kök morfolojisini değiştirerek kök yüzey alanını genişletir, kılcal kök oluşumunu artırır ve böylece bitkinin topraktan daha fazla su ve mineral alabilmesini sağlar. Özellikle IAA üretimi, bakterinin bitki kök yüzeyine tutunması ve bitki ile iletişim kurması açısından kritik bir sinyal molekülü olarak kabul edilmektedir.

PGPR'LARIN BİYOGÜBRE OLARAK ÖZELLİKLERİ

Günümüz tarımsal üretim sistemlerinde, artan nüfusun gıda talebini karşılamak amacıyla yoğun kimyasal gübre kullanımı, toprak verimliliğinin sürdürülebilirliği ve çevre sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, kimyasal girdilere alternatif olarak geliştirilen ve "Biyogübre" olarak nitelendirilen Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR), çevre dostu tarım stratejilerinin merkezinde yer almaktadır. İmriz ve ark.,(2014) tarafından belirtildiği üzere, bitki kök yüzeyini (rizoplan) veya kök çevresini (rizosfer) habitat edinen bu bakteriler, bitki gelişimini hem doğrudan hem de dolaylı mekanizmalarla teşvik etme yeteneğine sahiptir. Biyogübre olarak PGPR'ların en temel özelliği, bitkiler için hayati öneme sahip besin elementlerinin biyoyararlılığını artırmalarıdır.

PGPR'ların doğrudan bitki gelişimini teşvik eden mekanizmalarının başında, biyolojik azot fiksasyonu ve fosfat çözücülük gelmektedir. Ahemad ve Kibret (2014), PGPR'ların atmosferdeki serbest azotu fikse ederek bitkinin kullanabileceği forma dönüştürdüğünü ve bu sayede sentetik azotlu gübre ihtiyacını azalttığını vurgulamaktadır. Azotun yanı sıra, fosforun bitkiler tarafından alınabilirliği de tarımsal üretimde kritik bir sınırlayıcı faktördür. Ingle ve Padole (2017), toprakta bulunan fosforun büyük bir kısmının çözünmez formda olduğunu, ancak *Bacillus* ve *Pseudomonas* gibi fosfat çözücü bakterilerin (PSM) salgıladıkları organik asitler ve fosfataz enzimleri sayesinde bu fosforu çözerek bitki alımına sunduklarını belirtmektedir. Bu süreç, bitkinin kök bölgesindeki pH dengesini değiştirerek besin elementlerinin mobilizasyonunu kolaylaştırmaktadır.

Besin sağlamanın ötesinde, PGPR'lar fitohormon üretimi yoluyla bitki kök mimarisini de modüle etmektedir. Mantelin ve Touraine (2004), PGPR inokülasyonunun bitkilerde kök gelişimini ve özellikle nitrat alım kapasitesini artırdığını, bunun da bitkinin su ve mineral madde emilim yüzeyini genişlettiğini ifade etmektedir. Oksin (IAA), sitokin ve gibberellin gibi bakteriyel kaynaklı hormonlar, kök uzamasını ve yan kök oluşumunu teşvik ederek bitkinin topraktan daha etkin yararlanmasını sağlar. Çakmakçı ve ark.,(2007) buğday ve ıspanak üzerinde yürüttüğü çalışmalar, azot fikse eden ve fosfat çözen bakterilerin enzim aktivitelerini artırarak bitkisel biyokütle üretimini önemli ölçüde desteklediğini kanıtlamaktadır.

PGPR'ların bir diğer kritik biyogübre özelliği ise abiyotik stres koşullarına karşı bitkiye tolerans kazandırmalarıdır. Samancıoğlu ve Yıldırım (2015), kuraklık ve tuzluluk gibi stres faktörlerinin bitkide etilen üretimini artırarak yaşlanmayı hızlandırdığını; ancak ACC deaminaz enzimi üreten rizobakterilerin, etilenin öncü maddesi olan ACC'yi parçalayarak stresin bitki üzerindeki olumsuz etkilerini minimize ettiğini rapor etmiştir. Ayrıca, Çelik ve ark., (2020), yararlı bakteri uygulamalarının bitkisel verimi artırmanın yanı sıra, antioksidan enzim sistemlerini aktive ederek bitki direncini güçlendirdiğini belirtmektedir. Hammerschmidt ve Kuć (1995) ise bu bakterilerin sadece besin sağlamakla kalmayıp, Uyarılmış Sistemik Direnç (ISR) mekanizması ile bitkiyi patojenlere karşı da koruduğunu, böylece bitki

sağlığının bütüncül bir yaklaşımla desteklendiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, PGPR'lar çok yönlü etki mekanizmalarıyla, modern tarımda kimyasal gübrelerle bağımlılığı azaltan stratejik bir biyolojik girdi niteliği taşımaktadır.

Biyolojik gübreleme potansiyeliyle dikkat çeken PGPR'lar, bitkisel üretimde verimliliği sınırlayan temel besin elementlerinin bitkiye kazandırılmasında kritik bir rol üstlenmekte; bu işlevi esas olarak biyolojik azot fiksasyonu ve fosfatın çözünür hale getirilmesi mekanizmaları aracılığıyla gerçekleştirmektedir.

PGPR'LARIN BESİN ALIMINI KOLAYLAŞTIRILMASI VE BİYOLOJİK AZOT FİKSASYONUNA ETKİLERİ

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR), bitkilerin büyümesi ve metabolik faaliyetlerini sürdürebilmesi için elzem olan hayati besin maddelerinin toprakta mobilizasyonunu ve bitki kökleri tarafından alımını kolaylaştıran en önemli biyolojik ajanlardan biridir. Ahemad ve Kibret (2014) tarafından belirtildiği üzere, bu bakteriler bitki gelişimini doğrudan etkileyen mekanizmalarla, özellikle doğada bol miktarda bulunmasına rağmen bitkiler tarafından doğrudan kullanılamayan atmosferik azotu ve toprakta fikse haldeki fosforu biyoyararışlı hale getirmektedir. İmriz ve ark., (2014), PGPR'ların rizosfer bölgesinde kolonize olarak kök yüzey alanını genişlettiğini, bu sayede bitkinin su ve mineral madde emilim kapasitesini artırdığını vurgulamaktadır. Bu süreçte, bakterilerin ürettiği organik asitler ve enzimler, topraktaki besin elementlerinin çözünürlüğünü artırarak bitki köklerine taşınmasını hızlandırır.

PGPR'ların bitki beslenmesindeki en stratejik katkısı, şüphesiz Biyolojik Azot Fiksasyonu (BNF) sürecidir. Azot, klorofil molekülünün ve proteinlerin temel yapı taşı olması nedeniyle bitkisel üretimde verimi sınırlayan en kritik elementtir. Ancak atmosferde %78 oranında bulunan azot gazı (N_2), bitkiler tarafından doğrudan kullanılamaz.

Toprakta bulunan fosforun büyük bir kısmı, kalsiyum, demir veya alüminyum ile kompleks oluşturarak çözünmez formda fikse edilmiştir ve bitkiler tarafından doğrudan kullanılamaz. Ancak rizosfer bölgesinde yoğunlaşan PGPR popülasyonları, Şekil 1'de detaylıca gösterildiği üzere, temel

olarak iki farklı biyokimyasal strateji ile bu engeli aşmaktadır. Şeklin sol kısmında görüldüğü gibi, bakteriler glukonik, sitrik ve oksalik asit gibi düşük molekül ağırlıklı organik asitler salgılayarak ortam pH'sını düşürmekte ve inorganik fosfat bileşiklerini ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) asidifikasyon yoluyla çözmektedir. Eş zamanlı olarak, şeklin sağ kısmında belirtilen enzimatik süreçte ise bakteriyel fosfataz ve fitaz enzimleri, topraktaki organik maddeye bağlı fosforu hidrolize ederek mineralize etmekte ve sonuçta her iki mekanizma da fosforu bitki köklerinin alabileceği çözünebilir iyon formlarına (H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-}) dönüştürmektedir (Ahemad ve Kibret, 2014; Ingle ve Padole, 2017).



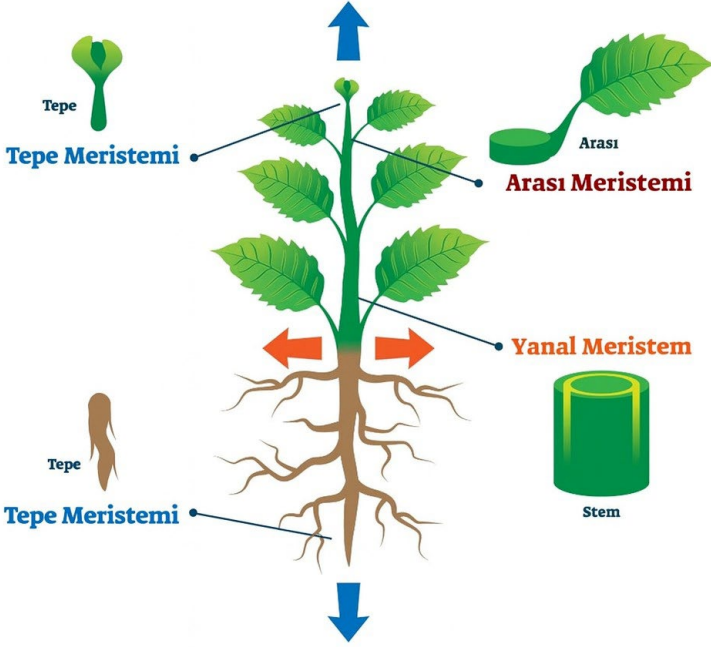
Şekil 1. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin (PGPR), inorganik fosfatı organik asitler yoluyla çözme ve organik fosfatı enzimler yoluyla mineralize etme mekanizmalarının şematik gösterimi (<https://scienceinfo.com/nitrogen-cycle-definition-5-cycle-steps/#nitrogen-cycle>)

Bu noktada, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* ve *Burkholderia* gibi diazotrof bakteriler devreye girer. Ahemad ve Kibret (2014), bu bakterilerin sahip oldukları nitrojenaz enzim kompleksi sayesinde, atmosferik azotu bitkilerin kullanabileceği amonyak (NH) formuna indirgediğini ifade etmektedir. Simbiyotik (baklagil-*Rhizobium* ilişkisi gibi) veya serbest yaşayan (asembiyotik) formda gerçekleşebilen bu biyolojik süreç, sentetik azotlu gübrelerle olan bağımlılığı azaltarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Mantelin ve Touraine (2004) ise çalışmalarında, *Azospirillum brasilense* gibi PGPR türlerinin sadece azot fikse etmekle kalmayıp, bitki köklerinde nitrat taşıyıcı genlerin ekspresyonunu ve nitrat alım hızını da modüle ettiğini, böylece azot kullanım etkinliğini maksimize ettiğini ortaya koymuştur. PGPR'ların azot fiksasyonu ve bitki gelişimi üzerine etkileri, tarihsel süreçte birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu alandaki temel çalışmalardan biri olan ve *Rhizobium* ile baklagil olmayan bitkiler arasındaki etkileşimi inceleyen Yanni ve ark., (1997), Mısır üçgülü ile simbiyotik olan *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* bakterisinin, çeltik bitkisi köklerinde doğal bir endofitik birliktelik kurabildiğini ve bitki gelişimini teşvik ettiğini göstermiştir. Bu çalışma, rizobakterilerin konukçu yelpazesinin sanılandan daha geniş olduğunu kanıtlaması açısından bir dönüm noktasıdır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, bakteriyel inokülasyonların verim üzerindeki somut etkileri ortaya konmuştur. Çakmakçı ve ark., (2007), Türkiye'de yürüttükleri kapsamlı çalışmada, azot fikse eden ve fosfat çözen *Bacillus* ve *Pseudomonas* suşlarının buğday ve ıspanak bitkilerine inokülasyonunun etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, bakteri aşılmasının bitkilerde kök ve sürgün ağırlığını artırdığı, azot ve fosfor alımını teşvik ettiği ve enzim aktivitelerini (özellikle nitrat redüktaz) yükselttiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, *Pseudomonas stutzeri* A15 suşu üzerine yapılan araştırmalarda (Rediers ve ark., 2003; Pham ve ark., 2002 gibi çalışmalara atıfla literatürde yer alan bilgiler ışığında), bu bakterinin çeltik bitkisi içinde endofitik olarak yaşayabildiği ve *nifH* (azot fiksasyonu) genlerini

eksprese ederek bitkiye fikse edilmiş azot sağladığı belirtilmiştir. Afify ve ark., (2019) tarafından yürütülen güncel bir çalışmada ise, *Rhizobium leguminosarum*, *Pseudomonas stutzeri* ve *Anabaena* sp. gibi azot fikse eden farklı biyolojik ajanların tekli ve karışım (konsorsiyum) halindeki kullanımları Mısır çeltik çeşitleri üzerinde test edilmiştir. Araştırma bulguları, özellikle üçlü bakteri karışımının (konsorsiyum), inorganik azot gübresi kullanımını azalttığı halde tane ve sap verimini önemli ölçüde artırdığını ve en yüksek agronomik azot kullanım etkinliğini sağladığını göstermiştir. Bu sonuçlar, biyolojik azot fiksasyonunun modern tarımda kimyasal gübrelere güçlü bir alternatif olduğunu doğrulamaktadır.

Bitkilerde büyümenin gerçekleştiği meristematik dokunun konumlarını ve görevlerini bütüncül bir şekilde Şekil 2’de göstermektedir. En üstte ve en altta yer alan apikal meristem, sürgün ve kök uçlarında bulunarak bitkinin boyca uzamasını sağlar. Gövde boğumlarında yer alan interkalar meristem, özellikle hızlı uzama gerektiren türlerde büyümeyi destekler ve zararlı etkilere karşı dokuların çabuk yenilenmesine yardımcı olur. Gövde ve kök boyunca yanlarda bulunan lateral meristem ise bitkinin enine kalınlaşmasını, yani ikincil büyümeyi gerçekleştirir. Şekilde mavi oklarla boyuna, kırmızı oklarla enine büyüme yönlerinin belirtilmesi, her meristem tipinin büyümeye yaptığı katkıyı net biçimde ortaya koymaktadır. Bu bütünlük içinde şekil, bitkilerin büyüme dinamiğinin yalnızca tek bir noktayla sınırlı olmadığını; farklı meristem bölgelerinin koordineli çalışmasıyla bitkinin hem uzunluk hem de kalınlık olarak geliştiğini açıklayıcı biçimde yansıtmaktadır.

MERİSTEM DOKU



Şekil 2. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin (PGPR), inorganik fosfatı asidifikasyon yoluyla çözme ve organik fosfatı enzimler aracılığıyla mineralize etme mekanizmalarının şematik gösterimi (<https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/meristematic-tissue-vector-illustration-labeled-educational-1748663747>)

1. PGPR ile Hastalık ve Zararlılarla Mücadelede Doğal Savunma

Kimyasal pestisitlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, PGPR'ların Biyokontrol Ajanı olarak kullanımını modern tarımın merkezine yerleştirmiştir. Çelik ve ark., (2020), bu bakterilerin bitki kök bölgesinde patojenlerle (zararlı mantar ve bakteriler) rekabete girerek yer ve besin kaynaklarını kısıtladığını, bu sayede hastalık etmenlerini baskıladığını ifade etmektedir. Bu rekabetin en önemli araçlarından biri siderofor üretimidir. Ahemad ve Kibret (2014), PGPR'ların demire yüksek afinitesi olan sideroforlar salgılayarak ortamdaki demiri bağladığını, böylece Fusarium gibi toprak kökenli fungal patojenlerin demir eksikliği çekerek gelişimlerinin durdurulduğunu belirtmektedir. Ayrıca, bazı bakteriler kitinaz ve glukanaz gibi

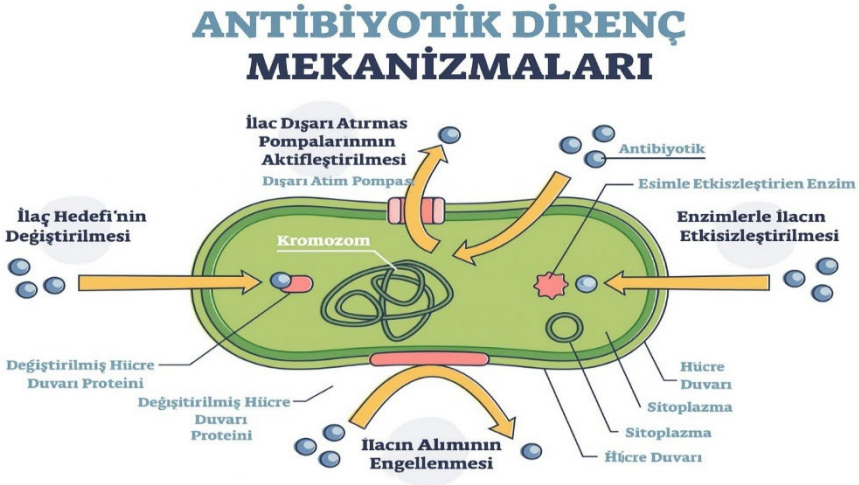
litik enzimler üreterek patojenlerin hücre duvarlarını doğrudan parçalayabilmektedir.

Doğrudan rekabetin ötesinde, PGPR'lar bitkinin kendi bağışıklık sistemini de aktive etmektedir. Bu alandaki temel başvuru kaynağı olan Hammerschmidt ve Kuć (1995), rizobakterilerin bitkide Uyarılmış Sistemik Direnç (ISR) mekanizmasını tetiklediğini vurgulamaktadır. Bu mekanizma sayesinde bitki, henüz bir patojen saldırısı olmadan önce savunma durumuna geçer. Baysal ve ark., (2003) tarafından domates bitkileri üzerinde yürütülen çalışmada, kimyasal bir bitki aktivatörü ile benzer etki gösteren biyolojik ajanların, bitki dokularında peroksidad (POX) ve kitinaz enzim aktivitelerini artırarak *Clavibacter michiganensis* kaynaklı bakteriyel kanser hastalığına karşı direnç sağladığı gösterilmiştir. Dolayısıyla PGPR uygulamaları, sadece patojeni öldürmekle kalmayıp, bitkinin savunma potansiyelini hazır bulunuşluk durumuna getirerek bütüncül bir koruma kalkanı oluşturmaktadır.

PGPR'ların Fosforun Biyoyararışlılığını Üzerine Etkisi:

Fosfor (P), bitki gelişiminde azotun ardından verimi sınırlayan ikinci en kritik makro besin elementidir; ancak tarımsal topraklarda paradoksal bir sorun teşkil eder. Toprakta bol miktarda fosfor bulunmasına rağmen, bunun çok büyük bir kısmı bitkiler tarafından alınamaz formdadır. Ingle ve Padole (2017) tarafından detaylandırıldığı üzere, fosfor toprakta kalsiyum, demir veya alüminyum iyonlarıyla birleşerek çözünmez kompleksler oluşturur veya kil mineralleri tarafından sıkıca fikse edilir. İşte bu noktada, Fosfat Çözücü Mikroorganizmalar (PSM) olarak da işlev gören PGPR'lar devreye girer. Ahemad ve Kibret (2014), bu bakterilerin (özellikle *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Rhizobium* türleri) çeşitli organik asitler (glukonik, sitrik, laktik asit vb.) salgılayarak rizosfer pH'ını düşürdüğünü, bu asidifikasyon sayesinde kalsiyum fosfat gibi mineral formları çözerek fosforu serbest hale getirdiğini belirtmektedir. Ayrıca, organik maddeye bağlı fosforun serbest bırakılması için de fosfataz ve fitaz enzimlerini sentezleyerek mineralizasyon sürecini yönetirler. Bu biyokimyasal süreç, bitkinin fosfor alımını artırmanın yanı sıra, kimyasal fosforlu gübrelerin aşırı kullanımından kaynaklanan toprak birikimlerini ve çevresel sorunları da azaltma potansiyeline sahiptir.

Bakterilerin antibiyotiklere karşı direnç geliştirme mekanizmalarını bir hücre modeli üzerinden açıklayıcı şekilde 3’de göstermektedir. Şekil 3’de dört temel direnç yolu vurgulanmaktadır. İlk olarak, ilaç hedefinin değiştirilmesi mekanizmasında bakteri, antibiyotiğin bağlandığı protein veya yapıyı değiştirerek ilacın etkisiz hale gelmesini sağlar; bu durum hedef değişikliği ile antibiyotiğin hücre içinde işlev görememesine yol açar. İkinci mekanizma olan ilaç alımının engellenmesi, hücre duvarı veya membran yapısındaki değişikliklerle antibiyotiğin hücre içine girişinin azaltılması ya da tamamen engellenmesi üzerine kuruludur. Üçüncü mekanizmada, ilacın dışarı atılmasını sağlayan effluks pompalarının aktivasyonu yer alır; bu pompalar hücre içine giren antibiyotiği hızlıca dışarı atarak ilacın etkisini göstermesine fırsat vermez. Enzimlerle ilacın inaktive edilmesi mekanizmasında bakteriler, antibiyotiği kimyasal olarak parçalayabilen veya yapısını değiştirebilen enzimler üretir; böylece antibiyotik etkili olmadan etkisiz bir moleküle dönüşür. Şekil genel olarak, antibiyotik direncinin tek bir nedene bağlı olmadığını; bakterilerin hücresel yapılarını, enzimlerini ve membran proteinlerini değiştirerek çok yönlü savunma stratejileri geliştirdiğini göstermektedir.



Şekil 3. PGPR kökenli organik asit ve enzim üretiminin fosforun biyoyararlılığı üzerindeki etkileşim şeması

(<https://www.istockphoto.com/tr/vekt%C3%B6r/antibiotic-resistance-outline-diagram-illustrated-mechanism-in-bacteria-cell-gm1346337090-424136046>)

PGPR'ların fosfat çözündürme yeteneklerinin tarımsal üretime etkileri, tarihsel süreçte birçok saha ve laboratuvar çalışmasıyla kanıtlanmıştır. Kronolojik olarak incelendiğinde; Turan ve ark., (2004) tarafından yürütülen ve Çelik ve ark., (2020) atıfta bulunduğu çalışmada, fosfat çözücü bir bakteri olan *Bacillus megaterium* M-3 suşunun domates (*Lycopersicon esculentum* L.) yetiştiriciliğinde kullanımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, bakteri inokülasyonunun bitki verimini ve fosfor alımını önemli ölçüde artırdığı, böylece kimyasal gübre girdisinin azaltılabileceği rapor edilmiştir.

Bu bulguları destekler nitelikte, Çakmakçı ve ark., (2007) buğday ve ıspanak bitkileri üzerinde kapsamlı bir çalışma yürütmüştür. Araştırmacılar, rizosferden izole ettikleri azot fikse eden ve fosfat çözen *Bacillus* ve *Pseudomonas* suşlarını kullanarak yaptıkları denemelerde, bakteri aşılmasının bitkilerde sadece kök gelişimini değil, aynı zamanda dokulardaki fosfor konsantrasyonunu ve bitkisel biyokütle (verimi) de artırdığını belirlemiştir.

Mekanistik açıdan daha derinlemesine yapılan incelemelerde ise Ahemad ve Kibret (2014), en güçlü fosfat çözücülerin genellikle *Bacillus*, *Rhizobium* ve *Pseudomonas* cinslerine ait olduğunu; bu bakterilerin ana mekanizmasının glukonik asit üretimi olduğunu vurgulamışlardır. Son olarak, Ingle ve Padole (2017) tarafından hazırlanan derlemede, fosfat çözücü mikroorganizmaların (PSM) "biyo-gübre" olarak kullanımının, küresel fosfor rezervlerinin tükenme tehlikesine karşı en sürdürülebilir strateji olduğu ve bu bakterilerin bitki büyüme hormonları (oksinler) ile sinerjik çalışarak kök yüzey alanını genişlettiği, böylece çözünen fosforun alımını maksimize ettiği sonucuna varılmıştır.

PGPR’LARIN KULLANIMININ VERİM ARTIŞI, FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Tarımsal üretimde nihai hedef olan ekonomik verim, bitkinin genetik potansiyeli ile çevresel koşulların etkileşimi sonucunda şekillenir. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR), bu etkileşimi bitki lehine optimize ederek birim alandan alınan ürün miktarını ve kalitesini artıran stratejik biyolojik ajanlardır. Ahemad ve Kibret (2014) tarafından belirtildiği

üzere, PGPR'ların verim üzerindeki pozitif etkisi tek bir mekanizmadan ziyade kümülatif bir biyolojik sürecin sonucudur. İlk olarak, İndol-3-Asetik Asit (IAA), giberellin ve sitokinin gibi fitohormonların üretimi, kök yüzey alanını ve hacmini artırır. Gelişmiş bir kök sistemi, bitkinin topraktaki su ve mineral rezervlerine (azot ve fosfor) daha etkin ulaşmasını sağlar. İmriz ve ark., (2014), bu besin elementlerinin (özellikle N ve P) bitki bünyesine daha fazla alınmasının, fotosentetik kapasiteyi artırdığını ve neticesinde kuru madde birikimini, meyve tutumunu ve tane dolgunluğunu teşvik ettiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, Samancıoğlu ve Yıldırım (2015), stres koşulları altında (kuraklık vb.) PGPR'ların ACC deaminaz enzimi üreterek bitkideki etilen seviyesini düşürdüğünü, bu sayede "stres kaynaklı verim kayıplarını" minimize ederek dolaylı yoldan verimi koruduğunu ifade etmektedir.

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin (PGPR) tarımsal üretimde verim bileşenleri üzerindeki somut etkileri, son otuz yılda farklı bitki türlerinde gerçekleştirilen kapsamlı saha ve sera çalışmalarıyla literatürde sağlam bir temele oturtulmuştur. Kronolojik bir perspektifle incelendiğinde, bu alandaki paradigmayı değiştiren öncü çalışmalardan biri Yanni ve ark., (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, üçgül simbiyotu olan *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*'nin çeltik bitkisiyle doğal bir endofitik birliktelik kurarak su kullanım etkinliğini ve fotosentezi iyileştirdiğini, bu durumun da tane verimine doğrudan yansıdığını kanıtlamışlardır. Türkiye ekolojik koşullarında yapılan çalışmalarda ise Turan ve ark., (2004), fosfat çözücü *Bacillus megaterium* (M-3) suşunun domateste meyve ağırlığını ve toplam verimi artırırken kimyasal fosfor ihtiyacını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur.

Bunu takiben Çakmakçı ve ark., (2007), buğday ve ıspanak üzerinde yürüttükleri detaylı araştırmada, N-fikse eden ve P-çözen *Bacillus* ve *Pseudomonas* suşlarının sadece kök ve sürgün biyokütlesini artırmakla kalmayıp, katalaz ve peroksidaz gibi enzim aktivitelerini uyararak bitki metabolizmasını hızlandırdığını belirlemiştir. Topraksız tarım (perlit) ortamında ise Gül ve ark., (2008), ticari *Bacillus amyloliquefaciens* preparatlarının domateste özellikle kısıtlı besin koşullarında dahi toplam verimi %8-9 oranında artırdığını ve ürün kalitesini yükselttiğini rapor etmiştir. Güncel

stratejilerde ise tekli inokülasyonlardan ziyade mikrobiyal konsorsiyumlar öne çıkmaktadır; nitekim Afify ve ark., (2019), *Rhizobium*, *Pseudomonas* ve *Anabaena* türlerinin üçlü kombinasyonunun, %33 azaltılmış azot dozunda dahi tam doz gübrelemeyle rekabet edebilir bir çeltik verimi sağladığını göstererek, bu biyolojik ajanların kimyasal girdileri ikame etmedeki başarısını teyit etmişlerdir.

4.PGPR'ların Çevresel Stres Faktörlerine Etkisi

Tarımsal üretim, küresel iklim değişikliğinin tetiklediği kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık ve ağır metal kirliliği gibi çevresel (abiyotik) stres faktörlerinin ciddi baskısı altındadır. Bu stres koşulları, bitki metabolizmasında geri dönüşümsüz hasarlara yol açarak verim kayıplarına neden olmaktadır. Samancıoğlu ve Yıldırım (2015) tarafından detaylandırıldığı üzere, bitkiler bu tür streslere maruz kaldığında, stres hormonu olarak bilinen etilenin üretimi artar; bu durum kök gelişimini engeller ve yaşlanmayı hızlandırır. PGPR'ların bu noktadaki en kritik işlevi, ürettikleri 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz enzimi aracılığıyla ortaya çıkar. Ahemad ve Kibret (2014), bu enzimin, etilen biyosentezindeki öncü madde olan ACC'yi amonyak ve α ketobutirata parçalayarak bitki dokularındaki etilen seviyesini düşürdüğünü ve böylece stresin yarattığı büyüme baskısını ortadan kaldırdığını belirtmektedir. Buna ek olarak, Çelik ve ark., (2020), yararlı bakterilerin bitkilerde prolin, glisin betain ve çözünebilir şekerler gibi ozmolitlerin birikimini teşvik ederek ozmotik dengeyi sağladığını vurgulamaktadır. Bu ozmotik ayarlama, hücrelerin su tutma kapasitesini artırarak kuraklık ve tuzluluk stresine karşı fiziksel bir direnç oluşturur. Ayrıca PGPR inokülasyonu, stres altında bitki hücrelerinde biriken ve toksik etki yaratan Reaktif Oksijen Türlerini (ROS) temizleyen Süperoksit Dismutaz (SOD), Katalaz (CAT) ve Peroksidaz (POX) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif hasarı minimize etmektedir.

PGPR'ların çevresel stres faktörlerine karşı bitkilerde sağladığı koruyucu etkiler, son yirmi yılda moleküler ve fizyolojik düzeyde yapılan kapsamlı araştırmalarla literatürde yerini almıştır. Bu alandaki teorik çerçeveyi çizen öncü çalışmalardan biri Glick ve ark., (1998) tarafından gerçekleştirilmiş olup, bakteriyel ACC deaminaz enziminin bitkilerdeki stres hormonu etilen

seviyesini düşürerek tolerans sağladığı modeli ortaya konmuştur. Bu mekanizmanın pratik yansımalarını inceleyen Mayak ve ark., (2004), *Achromobacter piechaudii* inokülasyonunun kuraklık stresi altındaki domateslerde turgor basıncını koruyarak biyokütle kaybını önlediğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Sandhya ve ark., (2010), kuraklık baskısı altındaki ayçiçeği bitkilerinde *Pseudomonas* spp. uygulamalarının sadece kök gelişimini teşvik etmekle kalmayıp, yapraklarda prolin birikimini artırarak ozmotik koruma sağladığını göstermişlerdir.

Tuzluluk stresi üzerine odaklanan Karlıdağ ve ark., (2010), çilek bitkilerinde *Bacillus* ve *Pseudomonas* uygulamalarının klorofil içeriğini ve yaprak su oransal içeriğini (RWC) iyileştirirken, stres kaynaklı membran hasarını (elektrolit sızıntısını) önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir. Daha sonraki yıllarda Vardharajula ve ark., (2011), mısır bitkisiyle yaptıkları çalışmada, kuraklığa toleranslı *Bacillus* türlerinin, ACC deaminaz aktivitesi ve oksin (IAA) üretimi sayesinde stomatal iletkenliği koruduğunu ve antioksidan enzim (SOD, CAT) seviyelerini artırarak oksidatif hasarı minimize ettiğini kanıtlamışlardır. Çelik ve ark., (2020) ise bu süreçlerin bütününde, PGPR kaynaklı ozmolit birikimi ve antioksidan aktivitenin bitki direncini oluşturan temel fizyolojik yanıtlar olduğunu vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Afify, A. H., et al. (2019). Inoculation with Single, Dual or Consortia of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, *Pseudomonas stutzeri* and *Anabaena* sp. and their effect on Yield Components of Rice Plant. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*.
- Baysal, Ö., Soylu, E. M., & Soylu, S. (2003). Induction of defence-related enzymes and resistance by the plant activator acibenzolar-S-methyl in tomato seedlings against bacterial canker. *Plant Pathology*.
- Çakmakçı, R., M. Erat, Ü.Erdoğan and M.F. Dönmez, 2007. The influence of plant growthpromoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 288-295 Çelik, Y., Yarşi, G., & Özarslandan, A. (2020). Yararlı Bakteri Uygulamalarının Bitkisel Verim ve Dayanıklılık Mekanizmalarına Etkileri. *Dünya Sağlık ve Tabiat Bilimleri Dergisi*.
- Glick, B. R., Penrose, D. M., & Li, J. (1998). A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of Theoretical Biology*.
- Gül, A., Kıdoğlu, F., Tüzel, Y., & Tüzel, İ. H. (2008). Effects of nutrition and *Bacillus amyloliquefaciens* on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growing in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research*.
- Hammerschmidt, R., & Kuć, J. (1995). *Induced Resistance to Disease in Plants*. Springer Science & Business Media.
- Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie.
- İmriz, G., et al. (2014). Bitkisel Üretimde Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteri (PGPR)'ler ve Etki Mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*.
- Ingle, K. P., & Padole, D. A. (2017). Phosphate Solubilizing Microbes: An Overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*.

- Karlıdağ, H., et al. (2010). Salicylic acid and/or plant growth promoting bacteria improve strawberry growth and nutrient acquisition under salt stress.
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes.
- Mantelin, S., & Touraine, B. (2004). Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany*.
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Samancıoğlu, A., & Yıldırım, E. (2015). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteri Uygulamalarının Bitkilerde Kuraklığa Toleransı Arttırmadaki Etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*.
- Sandhya, V., et al. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and growth of maize under drought stress.
- Turan, M., Ataoğlu, N., & Sezen, Y. (2004). Fosfor çözücü bakterinin (*Bacillus megaterium*) domates bitkisinin verimi ve fosfor alımı üzerine etkileri.
- Vardharajula, S., et al. (2011). Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *Journal of Plant Interactions*.
- Yanni, Y. G., et al. (1997). Natural endophytic association between *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* and rice and assessment of its potential to promote rice growth. *Plant and Soil*.
- <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/meristematic-tissue-vector-illustration-labeled-educational-1748663747>
- <https://scienceinfo.com/nitrogen-cycle-definition-5-cycle-steps/#nitrogen-cycle>
- <https://www.istockphoto.com/tr/vekt%C3%B6r/antibiotic-resistance-outline-diagram-illustrated-mechanism-in-bacteria-cell-gm1346337090-424136046>

BÖLÜM 8

TOPRAK ANALİZLERİNDE YAKIN KIZILÖTESİ YANSIMA SPEKTROSKOPİSİ (NIRS) KULLANILABİRLİĞİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Zir. Yük. Müh. Mehmet Can DİKİCİ¹

Doç. Dr. Siyami KARACA²

Dr. Öğr. Üyesi Bulut SARĞIN³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18131808>

¹ Van Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Van, Türkiye.

mehmetcan.dikici@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0009-0005-6834-3979

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye.

s.karaca@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2434-1171

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye.

bulutsargin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4752-4333

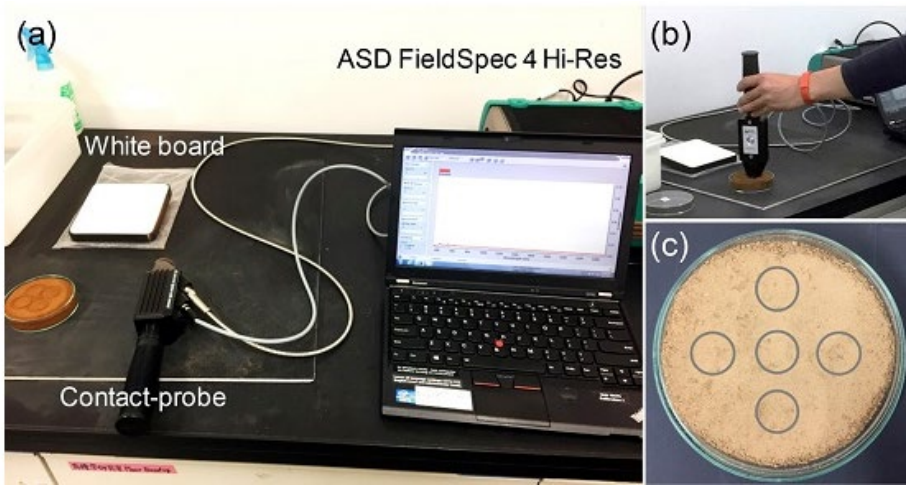
GİRİŞ

Toprak, kısa mesafelerde dahi fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler bakımından yüksek değişkenlik gösteren heterojen bir yapıdır. Tarımsal üretimde verimliliği sağlamak ve ürünün besin maddesi isteklerini karşılamak adına, bu heterojen yapının doğru tanımlanması gereklidir. Ancak toprağın bu değişken doğası, arazinin genelini temsil edebilmek için çok sayıda numune alınmasını zorunlu kılmaktadır (Rossel ve ark., 2006). Konvansiyonel (geleneksel) laboratuvar yöntemleri ile gerçekleştirilen analiz süreçleri; numunenin kurutulması, öğütülmesi ve ekstrakte edilmesi gibi uzun ve meşakkatli ön hazırlık aşamalarını gerektirir. Ayrıca her bir parametre (pH, organik madde, azot vb.) için farklı kimyasal reaktiflerin ve cihazların kullanılması, analiz maliyetlerini artırmakta, analiz sürecini uzatmakta ve kullanılan kimyasallar nedeniyle laboratuvar kaynaklı çevre kirliliğine yol açmaktadır (Soriano-Disla ve ark., 2014). Bu durum, hassas tarım uygulamalarının gerektirdiği yoğun veri akışını sağlamada geleneksel yöntemlerin hantal ve sürdürülemez kalmasına neden olmaktadır.

Toprak özelliklerinin belirlenmesinde optik yöntemlerin kullanımı, bu sınırlılıkları aşmak için güçlü bir alternatif sunmaktadır. Toprak rengi genellikle Munsell Renk Skalası kullanılarak belirlenir. Bu ölçek; renk çeşidi (Hue), renk değeri (Value) ve renk berraklığı (Chroma) parametrelerine dayanır. Uzaktan algılama tekniğinde kullanılan uydu görüntüleri toprak yüzeyinin renk farklılıkları, içerdiği organik madde, nem ve mineral kompozisyonun bir yansımasıdır (Şenol, 2024a). Ancak bu yöntemin, özellikle büyük ölçekte çalışılan alanlarda bazı olumsuzlukları olmaktadır ve toprağın karmaşık yapısını tam olarak açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu noktada, maddenin ışıkla etkileşimini inceleyen spektroskopi bilimi devreye girmektedir. Spektroskopi, atom ve moleküllerin enerji düzeyleri arasındaki geçişlerde ışığı soğurması veya yayması esasına dayanır (Kılıç ve ark., 1998). Bu süreçte oluşan elektromanyetik radyasyon ölçülür. Moleküler bağlar (C–H, N–H, O–H gibi) titreşim enerjilerine sahiptir. Bu titreşimlere dayanan spektroskopik yöntemler, maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini yansıtan “spektral imzalar” üretir.

Günümüzde optik prensiplerin toprak analizine en başarılı uyarlamalarından biri Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi (Near Infrared Spectroscopy – NIRS) teknolojisidir. NIRS, elektromanyetik spektrumun 780–

2500 nm aralığındaki yansımaları ölçer (Stenberg ve ark., 2010). Bu yöntem; hızlı, düşük maliyetli, tahribatsız ve kimyasal atık oluşturmamayan çevre dostu bir teknoloji olarak öne çıkar (Şenol, 2024b). NIRS cihazları laboratuvar tipi sabit sistemler şeklinde kullanılabildiği gibi, arazide anlık ölçüm yapabilen portatif modeller ve traktör üstü sensörlerle de uygulanabilmektedir. Spektral ölçümlerde kullanılan cihaz ve örnekleme düzeni Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. ASD FieldSpec. 4 Hi-Res cihazı ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen spektral ölçüm düzeni (a: Cihaz, dizüstü bilgisayar ve temas probundan oluşan sistemin genel görünümü, b: Temas probunun toprak numunesi üzerinde ölçüm sırasında kullanımı, c: Numune kabında spektral ölçüm noktalarının düzeni).

Kaynak: Kawamura ve ark.,2017

NIRS teknolojisinin başarısı yalnızca spektral verinin toplanmasına bağlı değildir. Aynı zamanda bu verinin doğru işlenmesi gerekir. Ham spektral veriler; toprak nemi, tekstür ve yüzey pürüzlülüğü gibi fiziksel özelliklerden etkilenebilir (Minasny ve ark., 2011). Bu nedenle spektral yansıma değerleri ile laboratuvar ölçümleri arasındaki ilişkiyi kurmak için istatistiksel, matematiksel ve bilgisayar tabanlı yöntemlerin (Kemometrik yöntemler) kullanılması zorunludur. Bu yöntemlere Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLSR) gibi çok değişkenli istatistiksel modeller örnek verilebilir (Kuang ve ark., 2012). Yeterli büyüklük ve çeşitliliğe sahip kalibrasyon veri setleri oluşturulduğunda,

cihazın tahmin doğruluğu da (R^2 ve RMSE üzerinden) belirgin şekilde artmaktadır.

Yalnızca bir toprak taraması ile çok sayıda parametrenin eş zamanlı tahmin edilmesine olanak tanıyan NIRS teknolojisi, geleneksel analiz yöntemlerinin zaman ve maliyet açısından yarattığı dezavantajları ortadan kaldırır. Bu yönüyle NIRS, sürdürülebilir toprak yönetimi ve hassas tarım uygulamaları için temel bir araç hâline gelmiştir.

1. NIRS - VNIRS Tekniklerinin Spektral Kapsamları ve Toprak Analizindeki Yeri

Toprak özelliklerini hızlı, ekonomik ve tahribatsız biçimde belirleyen spektroskopik yöntemler, kapsadıkları elektromanyetik spektrum aralığına göre farklılık gösterir. Bu kapsamda Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (NIRS) ve Görünür–Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (VNIRS) en yaygın kullanılan iki optik tekniktir. İki yöntem arasındaki temel fark yalnızca taranan dalga boyu aralığı değildir. Işığın maddeyle etkileştiği fiziksel mekanizmalar da bu farkın önemli bir parçasıdır (Barnes ve ark., 2018).

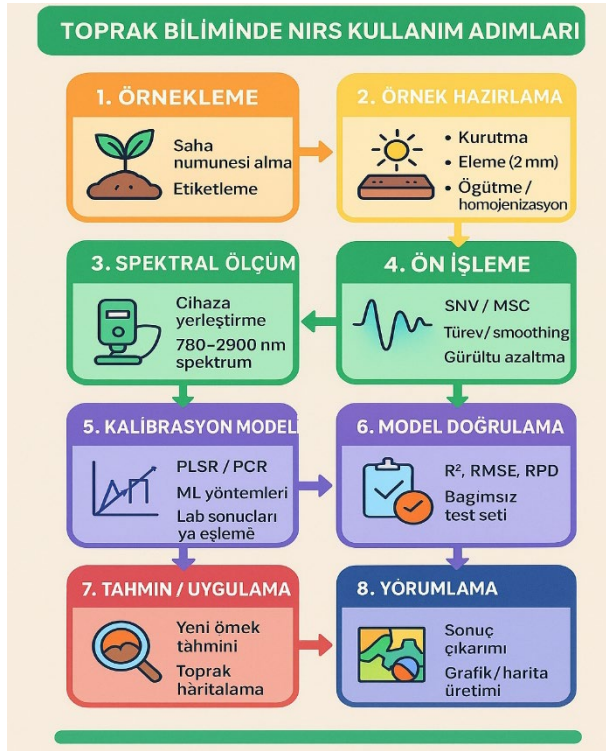
Spektral açıdan NIRS, yalnızca 780–2500 nm aralığındaki yakın kızılötesi bölgeyi kapsar. VNIRS ise görünür ışık bölgesini de içeren daha geniş bir spektrum sunar (400–2500 nm). NIRS bölgesinde moleküler bağlar (C–H, N–H, O–H) titreşimsel aşırı tonlar ve kombinasyon bantları üretir. Bu nedenle NIRS, nem, protein ve toplam karbon gibi organik bileşenlere yüksek duyarlılık gösterir (Viscarra Rossel ve ark., 2006). VNIRS’in kapsadığı görünür bölge (VIS) ise atomların dış yörüngelerindeki elektronik geçişlere dayanır. Bu geçişler, toprağın rengini belirleyen kromoforlar ile hematit ve götit gibi demir oksit mineralleri hakkında spesifik bilgiler sağlar (Sherman ve Waite, 1985).

Bu teknik altyapı, analiz kapasitesini doğrudan etkiler. NIRS, kimyasal bileşenlerin kantitatif tahmini için güçlü bir araçtır. VNIRS ise görünür bölgeden elde edilen kolorimetrik ve mineralojik verileri analize dahil ederek hibrit bir veri seti oluşturur. Araştırmalar, görünür bölge verilerinin eklenmesinin organik madde ile toprak rengi arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle organik karbon tahmin modellerinin doğruluğunu artırdığını göstermektedir (Stenberg ve ark., 2010). Ancak veri hacminin artması, VNIRS sistemlerinde daha kapsamlı spektral ön işleme ve daha karmaşık kemometrik algoritmaların kullanılmasını gerektirir (Ben-Dor ve ark., 2015).

Uygulamada her iki yöntemin de laboratuvar tipi ve taşınabilir modelleri bulunmaktadır. Ancak VNIRS, görünür bölgeden sağladığı ek bilgiler sayesinde pedoloji, arazi sınıflandırması ve çevresel izleme çalışmalarında daha bütüncül bir yaklaşım sunar (Cozzolino ve Morón, 2006). Taşınabilir VNIRS cihazları, sahada anlık karar verme süreçlerinde sağladığı esneklik nedeniyle hassas tarım ve haritalama çalışmalarında metodolojik açıdan daha üstün bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Mouazen ve ark., 2007).

1.1. Toprak Analizinde NIRS'in Kullanım Aşamaları

Sürdürülebilir arazi yönetimi ve hassas tarım, toprağın fizikokimyasal özelliklerinin doğru ve yüksek çözünürlükte belirlenmesini gerektirir. Geleneksel yaş kimya yöntemleri bu ihtiyacı tam olarak karşılayamaz. Çünkü bu yöntemler zaman alır, maliyetlidir ve yoğun kimyasal kullanımı gerektirir. Bu nedenle geniş ölçekli veri üretiminde yetersiz kalmaktadır. Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (NIRS), bu sınırlamalara güçlü bir alternatif sunar. NIRS, 780–2500 nm aralığındaki yansıma verilerini kullanarak çok sayıda toprak parametresini hızlı ve tahribatsız bir şekilde tahmin edebilir. Ayrıca çevre dostu bir yöntemdir. Bu teknolojinin başarısı yalnızca cihazın hassasiyetine bağlı değildir. Başarı, örneklemeden yorumlamaya kadar uzanan metodolojik zincirin bütünlüğü ile belirlenir (Şekil 2). Süreç doğru örnekleme ile başlar. Toprağın heterojen yapısını temsil eden stratejiler kullanılır. Ardından numuneler ince öğütme gibi hazırlama protokollerinden geçer. Bu adımlar spektral sinyal kalitesini artırır (Stenberg ve ark., 2010). Ham spektrumlar doğrudan kullanılmaz. Gürültüden arındırılmaları gerekir. Bu amaçla spektral ön işleme teknikleri ve aykırı değer analizleri uygulanır (Rinnan ve ark., 2009). Daha sonra veri seti Kennard–Stone algoritmasıyla dengeli bir şekilde ayrılır (Kennard ve Stone, 1969). Kalibrasyon modelleri kurulurken RPIQ gibi sağlam metrikler kullanılır (Bellon-Maurel ve ark., 2010). Bu sistematik iş akışı titizlikle uygulandığında NIRS, yalnızca bir tahmin aracı olmaktan çıkar. Besin maddesi haritalama, karbon stoku izleme ve değişken oranlı gübreleme gibi karar destek süreçlerinde güvenilir bir temel haline gelir.



Şekil 2. Toprak Analizinde NIRS Kullanım Aşamalarının Genel İş Akışı.

1. *Örnekleme:* NIRS analizinin doğruluğu, sahadan alınan örneklerin temsil gücüne bağlıdır. Çalışma alanı, toprağın heterojenliği dikkate alınarak sistematik veya rastgele yöntemlerle taranır. Her numune için etiketleme yapılır. Etiketle numara, GPS koordinatı, derinlik, eğim ve bitki örtüsü gibi bilgiler bulunur. Numuneler, nem kaybını önlemek için hava geçirmeyen kaplara alınır. Daha sonra örnekler laboratuvara taşınır.
2. *Örnek Hazırlama:* Laboratuvara getirilen numuneler standart bir hazırlık sürecinden geçirilir. Numuneler güneş ışığına maruz bırakılmadan kurutulur. Kuruyan topraklar 2 mm elekten geçirilir. Daha yüksek doğruluk gereken analizlerde ince öğütme yapılır. İnce öğütme ışık saçılmasını azaltır ve spektral sinyali güçlendirir (Stenberg ve ark., 2010).

3. *Spektral Ölçüm:* Hazırlanan numuneler 780–2500 nm aralığında taranır. Laboratuvar sıcaklığı sabit tutulur. Cihazın termal dengesi sağlanır. Her numune için çoklu tarama yapılır ve ortalaması alınır. Periyodik beyaz ve karanlık referans kalibrasyonları ile veri standardize edilir.
4. *Spektral Ön İşleme ve Aykırı Değer Analizi:* Ham spektrumlar gürültüden arındırılır. Bu amaçla SNV, MSC ve Savitzky–Golay türev işlemleri uygulanır. Daha sonra aykırı değer analizi yapılır. PCA yardımıyla merkezden uzak numuneler belirlenir. Mahalanobis mesafesi yüksek olan numuneler veri setinden çıkarılır (Rinnan ve ark., 2009).
5. *Veri Setinin Ayrılması ve Kalibrasyon:* Ön işlemde geçen veriler kalibrasyon ve validasyon setlerine ayrılır. Bu ayırma rastgele yapılabilir. Alternatif olarak Kennard–Stone algoritması ile daha dengeli bir dağılım sağlanır (Kennard ve Stone, 1969). Kalibrasyonda spektral veriler referans laboratuvar sonuçlarıyla eşleştirilir. PLSR, SVM veya Rastgele Orman gibi modellerle tahmin modelleri oluşturulur.
6. *Model Doğrulama:* Model başarıları bağımsız validasyon seti ile test edilir. R^2 yüksek, RMSE düşük olmalıdır. Sistemik hatayı görmek için Bias değeri incelenir. Toprak verileri genellikle çarpık dağıldığı için RPIQ değeri tercih edilir (Bellon-Maurel ve ark., 2010).
7. *Tahmin / Uygulama:* Doğrulanmış modeller rutin analizlerde kullanıma alınır. Bu aşama NIRS’in hız ve maliyet avantajını ortaya koyar. Binlerce numune kimyasal sarfiyat olmadan saniyeler içinde analiz edilebilir. Model, yeni toprak numunelerinin özelliklerini spektral yansılardan tahmin eder.
8. *Yorumlama:* Tahmin edilen veriler doğrudan kullanılmaz. CBS ve jeostatistiksel yöntemlerle mekansal haritalara dönüştürülür. Besin elementi dağılım haritaları oluşturulur. Bu haritalar değişken oranlı gübreleme, karbon stok takibi ve arazi degradasyonunun izlenmesi gibi amaçlar için kullanılır. Sonuçlar grafikler, haritalar ve teknik raporlar şeklinde sunulur.

2.Toprak Analizlerinde NIRS ve Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması

Toprak analizleri, tarımsal verimliliğin yönetimi ve ekosistem sağlığının korunmasında kritik bir role sahiptir. Geleneksel laboratuvar yöntemleri uzun yıllardır standart kabul edilmektedir. Bu yöntemler, kimyasal reaksiyonlara dayalı referans tekniklerdir (Gee ve Bauder, 1986; Helmke ve Sparks, 1996). Belirli protokoller izlenerek doğrudan sonuç ürettikleri için güvenilir kabul edilirler. Ancak bu analizler zaman alır ve yüksek iş gücü gerektirir. Ayrıca kullanılan kimyasallar tehlikeli laboratuvar atığı oluşturur. Bu durum geniş ölçekli haritalama ve sürdürülebilir arazi yönetimi için önemli bir kısıt oluşturur. Bu sınırlamalara alternatif olarak NIRS teknolojisi geliştirilmiştir. NIRS çabuk ve çevreye duyarlı, bir yöntemdir. Ayrıca kimyasal atık üretmediği için çevre dostudur (Stenberg ve ark., 2010). NIRS ve geleneksel yöntemlerin farkları aşağıda Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Geleneksel Yöntemler ile NIRS Teknolojisinin Kıyaslanması

Karşılaştırma Kriteri	Geleneksel Laboratuvar Yöntemleri	NIRS Teknolojisi (Spektroskopik Yöntem)
Temel Prensip	Kimyasal reaksiyonlar ve ekstraksiyon (Ör: Titrasyon, AAS)	Işık-madde etkileşimi (Moleküler titreşim ve absorpsiyon)
Ölçüm Niteliği	Doğrudan ölçüm (Referans kabul edilir)	Dolaylı tahmin (Tahmin modeli gerektirir)
Analiz Hızı	Yavaş (Saatler/Günler sürer)	Çok Hızlı (Saniyeler sürer)
Örnek Hazırlığı	Karmaşık (Tartım, ekstraksiyon, süzme, ısıtma)	Basit (Kurutma, öğütme ve tarama)
Maliyet Yapısı	Numune başına yüksek maliyet (Sürekli kimyasal sarfiyatı)	İlk yatırım yüksek, işletme maliyeti çok düşük
Çevresel Etki	Tehlikeli kimyasal atık üretir (Asitler, ağır metaller)	Kimyasal atık üretmez (Yeşil Teknoloji)
Numune Durumu	Numune bozulur/yok olur	Numune tekrar kullanılabilir
Parametre Sayısı	Her analiz için ayrı işlem gerekir (Tek parametre odaklı)	Tek taramada çoklu parametre (Eş zamanlı analiz)
Uygulama Alanı	Sadece Laboratuvar ortamı	Laboratuvar + Arazi

Analitik Prensip ve Doğruluk: Geleneksel yöntemler (örneğin organik madde için Walkley-Black, fosfor için Olsen yöntemi), topraktaki elementlerin stokiometrik kimyasal reaksiyonlarla doğrudan ölçülmesine dayanır ve bu nedenle literatürde "altın standart" veya "referans yöntem" olarak kabul edilir (Helmke ve Sparks, 1996). Buna karşılık NIRS, toprağın kimyasal içeriğini doğrudan ölçmez; spektral yansıma verileri ile referans değerler arasında kurulan istatistiksel modellere dayalı dolaylı bir tahmin (prediction) sunar. Dolayısıyla NIRS'in doğruluğu, doğası gereği geleneksel yöntemlerin hassasiyetine bağlıdır (Stenberg ve ark., 2010).

Operasyonel Verimlilik ve Maliyet: Geleneksel analizler yoğun emek, zaman ve kimyasal sarfıyatı gerektirir. Örneğin, bir toprak örneğinin tam analizi geleneksel yöntemlerle günler sürebilirken, NIRS teknolojisi ile numune hazırlığı dahil dakikalar içinde, sadece spektral tarama süresi baz alındığında ise saniyeler içinde sonuç alınabilmektedir (Rossel ve ark., 2006). Maliyet açısından bakıldığında; NIRS cihazlarının ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da, kimyasal reaktif kullanmadığı için birim analiz maliyeti (cost per sample) geleneksel yöntemlere göre marjinal düzeyde düşüktür. Bu durum, NIRS'i binlerce numunenin işlendiği geniş ölçekli haritalama projeleri için ekonomik açıdan rakipsiz kılmaktadır.

Çevresel Sürdürülebilirlik: Günümüzde laboratuvar yönetiminin en büyük zorluklarından biri, analizler sonucu ortaya çıkan tehlikeli kimyasal atıkların bertaraf edilmesidir. Geleneksel yöntemler asitler, bazlar ve ağır metal içeren çözeltiler kullanırken; NIRS teknolojisi herhangi bir kimyasal tüketimi gerektirmediği için "Yeşil Analitik Kimya" (Green Analytical Chemistry) prensiplerine tam uyum sağlar ve çevre dostu bir alternatif sunar (Cuzzolino, 2015).

3. NIRS Tekniği Kullanılarak Yapılmış Olan Bilimsel Çalışmalar

Aydın ve ark., (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışma, NIRS tekniğinin toprak analizlerindeki uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Araştırma, hassas tarımın gerektirdiği hızlı ve düşük maliyetli veri ihtiyacına yönelik bir çözüm geliştirmeyi hedeflemiştir. Çalışma, Aydın ili Söke Ovası'nda bulunan Yuvaca, Köprü ve Sarıkemer mevkiilerinde yürütülmüştür. Bu alanlardan toplam 352 adet toprak örneği toplanmıştır. Numuneler hem arazi koşullarında hem de laboratuvar ortamında analiz

edilmiştir. Arazi ölçümleri doğal nemli topraklarda yapılmıştır. Laboratuvar ölçümleri ise kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirilmiş numunelerle gerçekleştirilmiştir. Spektral yansımalar 350–2500 nm dalga boyu aralığında kaydedilmiştir. Spektral veriler ile laboratuvar analizleri arasındaki ilişkileri modellemek için PLS regresyonu kullanılmıştır. Araştırma bulguları, arazi ölçümlerinin yüksek nem nedeniyle düşük doğruluk verdiğini göstermiştir. Buna karşılık, hava kurusu numunelerle yapılan laboratuvar ölçümleri daha yüksek performans sergilemiştir. Tekstür sınıflarına göre yapılan değerlendirmede tınlı toprakların birçok parametre için yüksek tahmin başarısı sağladığı belirlenmiştir. Kumlu tın topraklarda kireç içeriğinin çok yüksek doğrulukla tahmin edildiği raporlanmıştır. Kil bünyeli topraklarda ise organik madde ve tuzluluk tahminlerinin başarılı olduğu görülmüştür. Çalışmanın genel sonucu, NIRS tekniğinin geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik bir yaklaşım sunduğudur. Ancak başarının toprak nemi ve tekstür gibi fiziksel özelliklere duyarlı olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle NIRS, geniş ölçekli tarımsal planlamalarda tamamlayıcı bir araç olarak önerilmektedir.

Şenol ve Akgül (2013) tarafından yapılan çalışma ile, NIRS tekniğinin farklı toprak özelliklerini tahmin etme kapasitesi incelenmiştir. Araştırma, Isparta, Burdur, Antalya, Denizli ve Afyonkarahisar illerindeki yaygın toprak gruplarını kapsamaktadır. Çalışmanın amacı, geleneksel analizlere alternatif olabilecek hızlı ve tahribatsız bir yöntem geliştirmektir. Ayrıca bölgesel bir spektral veri kütüphanesi oluşturulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda farklı ana materyaller üzerinde gelişmiş 16 profilden toplam 68 toprak örneği alınmıştır. Numuneler laboratuvarda kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirilmiştir. Tekstür, pH, organik madde, kireç ve KDK gibi referans analizler klasik yöntemlerle yapılmıştır. Aynı numuneler 350–2500 nm aralığında taranarak spektral yansıma değerleri elde edilmiştir. Spektral veriler ile laboratuvar sonuçları arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak modellenmiştir. Sonuçlar, kireç, tarla kapasitesi ve kütle yoğunluğu için yüksek tahmin başarısı göstermiştir. Organik madde, kil ve pH için ise orta düzeyde doğruluk elde edilmiştir. Genel olarak NIRS'in kireç ve hidro-fiziksel özelliklerin hızlı belirlenmesinde güçlü bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Bilgili ve ark., (2014) tarafından yapılan bu çalışma, Harran Ovası'nda yaygın bir sorun olan toprak tuzluluğunu modern algılama teknikleri ile belirlemeyi amaçlamıştır. Araştırma alanında bilinçsiz sulama, yetersiz drenaj

ve kurak iklim koşulları nedeniyle yaklaşık 17.000 hektarlık bir bölgede ciddi tuzluluk oluşmuştur. Çalışmanın temel hedefi, tuzluluğun mekânsal değişkenliğini hızlı ve ekonomik şekilde belirleyebilecek yöntemleri değerlendirmektir. Bu kapsamda VNIRS ve Elektromanyetik İndüksiyon (EMI) tekniklerinin uygulanabilirliği test edilmiştir. Saha çalışmaları 90 örnek noktasında yürütülmüştür. Bu noktalarda EM38 cihazı ile elektromanyetik iletkenlik ölçümleri alınmıştır. Aynı noktalardan toprak örnekleri toplanmış ve laboratuvarda spektral yansıma değerleri kaydedilmiştir. EC, ESP ve çözünebilir katyon içerikleri ise referans analizlerle belirlenmiştir. Sonuçlar, EMI tekniğinin tuzluluk ve çözünebilir katyonlarla yüksek korelasyon verdiğini göstermiştir. VNIRS yöntemi de EC, ESP ve saturasyon yüzdesi gibi parametrelerde başarılı tahminler üretmiştir. Çalışma, EMI ve NIRS'in birlikte kullanımının tuzlu toprakların hızlı ve güvenilir biçimde haritalanmasında etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Budak ve Günal (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışma, Tokat-Kazova Ovası topraklarında VNIRS tekniğinin standart analizlerdeki kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Araştırmanın amacı, zaman alıcı ve maliyetli laboratuvar yöntemlerine alternatif bir yaklaşım sunmaktır. Bu doğrultuda VNIRS'in hızlı, tahribatsız ve çevre dostu yapısı test edilmiştir. Çalışmada 0–30 cm derinlikten alınan 400 adet toprak örneği kullanılmıştır. Numuneler önce geleneksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Daha sonra 350–2500 nm aralığında spektroskopik ölçümler yapılmıştır. Spektral veriler ile laboratuvar sonuçları arasındaki ilişki PLSR modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular, VNIRS'in özellikle kil, organik madde ve kireç içeriklerinde yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Kil için $R^2=0.90$, organik madde için $R^2=0.86$ ve kireç için $R^2=0.80$ değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık EC ve alınabilir fosfor için tahmin başarısı oldukça düşüktür. Bu durum, bu parametrelerin NIR bölgesinde belirgin bir absorpsiyon göstermemesiyle ilişkilidir. Genel olarak çalışma, VNIRS'in birçok toprak bileşeninin hızlı belirlenmesinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Aldemir (2016) tarafından yapılan bu tez çalışması, farklı bitkisel atıklardan üretilen biyokömürlerin uygulandığı topraklarda NIRS tekniğinin kullanım potansiyelini incelemiştir. Çalışmada tütün sapı, pamuk sapı, zeytin posası, mısır koçanı ve fıstık kabuğundan elde edilen biyokömürler

kullanılmıştır. Amaç, biyokömür uygulanan tuzlu ve tuzsuz topraklarda organik madde, pH, EC ve KDK gibi özelliklerin hızlı tahmin edilebilirliğini test etmektir. Toprak örnekleri 90 günlük inkübasyon sonunda alınmıştır. Numuneler elenmiş ve ince öğütülmüş olmak üzere iki farklı formda hazırlanmıştır. Bu ayrımın spektral yansıma üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Spektral veriler ile referans laboratuvar sonuçları arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak modellenmiştir. Bulgular, numune hazırlama yönteminin model başarısı üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Öğütülmüş örnekler daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Ayrıca NIRS'in tuzlu topraklarda daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. En yüksek tahmin başarısı, tuzlu ve öğütülmüş numunelerde organik madde içeriğinin belirlenmesinde elde edilmiştir. Çalışma, biyokömür uygulanan topraklarda organik madde takibinde NIRS'in hızlı ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur

Omer ve ark., (2020) tarafından yapılan çalışma, kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak kalite göstergelerinin belirlenmesinde VNIRS ve LIBS tekniklerinin etkinliğini incelemiştir. Araştırmanın amacı, geleneksel laboratuvar analizlerine alternatif olabilecek hızlı ve güvenilir spektroskopik yöntemleri değerlendirmektir. Çalışmada New Mexico'daki sulu tarım alanlarından 82 toprak örneği alınmıştır. Bu örneklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri referans yöntemlerle belirlenmiştir. Aynı numuneler VNIRS ve LIBS cihazlarıyla taranmıştır. VNIRS 350–2500 nm aralığında, LIBS ise 190–1040 nm aralığında ölçüm yapmıştır. Verilerin modellenmesinde PLSR yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında, VNIRS'in özellikle organik karbon ve mikrobiyal biyokütle gibi biyolojik özelliklerde yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Bu parametrelerde belirleyicilik katsayısı 0.80'in üzerinde bulunmuştur. Buna karşılık LIBS, element içeriğine dayalı çalışan bir yöntem olduğu için kalsiyum ve magnezyum gibi kimyasal özelliklerde daha başarılı olmuştur. Tekstür bileşenlerinin tahmininde ise iki teknik benzer performans göstermiştir. Çalışma, VNIRS ve LIBS yöntemlerinin toprak kalite indekslerinin belirlenmesinde birbirini tamamlayan güçlü araçlar olduğunu ortaya koymaktadır.

Turgut ve Şenol (2020), Çukurova Bölgesi'nde yayılış gösteren farklı toprak serilerinin ayırt edilmesinde NIRS tekniğinin kullanılabilirliğini değerlendirmektedir. Araştırmanın temel amacı, geleneksel toprak etüt çalışmalarına destek olabilecek hızlı, ekonomik ve güvenilir bir yaklaşım geliştirmektir. Bu amaçla spektral yansıma verilerinin toprak serileri için ayırt edici bir özellik taşıyıp taşımadığı test edilmiştir. Çalışmada, bölgenin alüvyal ve kolüvyal arazilerini temsil eden on iki farklı toprak serisine ait toplam yüz seksen altı arşiv numunesi kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar ortamında hazırlanmış ve üç yüz elli ile iki bin beş yüz nanometre arasındaki spektral aralıkta taranmıştır. Elde edilen yansıma verileri Temel Bileşenler Analizi ile SIMCA gibi kemometrik yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgular, serilerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik farklılıklarının spektral eğrilerde ayırt edici imzalar ürettiğini göstermiştir. İncirlik, Arık ve Misis gibi belirgin serilerin sınıflandırılmasında yüksek doğruluk elde edilmiştir. Buna karşılık genç alüvyal topraklarda bazı spektral örtüşmeler gözlenmiştir. Sonuç olarak çalışma, NIRS tekniğinin toprak serilerinin tanımlanmasında güçlü ve tamamlayıcı bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Das ve ark., (2023) Hindistan-Ganj Odaları'ndaki Inceptisol topraklarında Toprak Organik Karbonu (SOC) içeriğinin tahmin edilmesinde Görünür-Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (VNIR) tekniğinin potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışmanın temel amacı; zaman alıcı geleneksel laboratuvar analizlerine alternatif olarak, PLSR, PCR, SVR ve MARS gibi farklı çok değişkenli makine öğrenmesi algoritmalarının performanslarını karşılaştırmak ve en uygun tahmin modelini belirlemektir. Metodolojik süreçte, çalışma alanından toplanan 145 adet yüzey toprağı örneğinin spektral yansıma değerleri (350–2500 nm) kaydedilmiş ve referans SOC değerleri ile eşleştirilmiştir. Veri setinin modellenmesi aşamasında, ham spektral veriler üzerinde çeşitli türev ve yumuşatma (Savitzky-Golay) işlemleri uygulanarak sinyal gürültüsü minimize edilmiştir. Araştırma bulguları, test edilen modeller arasında Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLSR) yönteminin en yüksek tahmin başarısını ($R^2 = 0.74$; RPD = 2.01) gösterdiğini, bunu Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri (MARS) modelinin takip ettiğini ortaya koymuştur. Spektral açıdan, özellikle görünür bölge (koyu renk etkisi) ile 1400, 1900 ve 2200 nm dalga boylarındaki (C-H ve O-H bağları) absorpsiyonların model başarısında belirleyici olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak çalışma; VNIR spektroskopisinin

PLSR algoritması ile entegre edildiğinde, bölgesel ölçekte toprak karbon stoklarının hızlı ve güvenilir takibi için etkili bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

Çullu ve ark., (2024) Harran Ovası'nda farklı pedogenetik süreçlerle gelişmiş toprak serilerinin horizon düzeyinde tanımlanmasında VNIR spektroskopisinin uygulanabilirliğini değerlendirmiştir. Araştırmanın temel amacı, genetik horizonlar arasındaki fiziksel ve kimyasal değişimlerin spektral yansımaları nasıl yansıdığını ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda teknik, klasik toprak etütlerine destek olacak hızlı ve tahribatsız bir karakterizasyon yöntemi olarak ele alınmıştır. Çalışmada sekiz farklı toprak profilinden toplam otuz altı numune kullanılmıştır. Numunelerden organik madde, kireç ve tekstür analizleri referans laboratuvar yöntemleriyle belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak numunelerin görünür ve yakın kızılötesi yansımaları kaydedilmiştir. Spektral veriler PCA yöntemi ile değerlendirilmiş ve horizonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, horizonların kimyasal ve mineralojik yapılarındaki değişimlerin spektral eğrilere net biçimde yansıdığını göstermiştir. A horizonlarının organik madde bakımından zengin olması nedeniyle görünür bölgede düşük yansımaya sergilediği belirlenmiştir. Ck horizonlarında ise yüksek kireç birikiminin yansımaya önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. PCA sonuçları, spektral verilerin horizon içi varyansın büyük bir bölümünü açıklayabildiğini ortaya koymuştur. Genel olarak çalışma, VNIR tekniğinin toprak profillerindeki genetik katmanların hızlı ve güvenilir biçimde ayrılmasında etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Hesen ve ark., (2024) tarafından Çin'in Guangdong Eyaleti'ndeki tipik tarım arazilerinde toprak verimliliğinin izlenmesi amacıyla Görünür-Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (VNIRS) tekniğinin performansını değerlendirmiştir. Çalışmanın temel amacı; bölgeye özgü organik madde, toplam azot, pH, alınabilir fosfor ve alınabilir potasyum parametreleri için hızlı ve tahribatsız analiz modelleri geliştirmektir. Metodolojik süreçte, Conghua, Huizhou ve Haifeng bölgelerinden toplanan toplam 138 adet yüzey toprağı (0-20 cm) örneği kullanılmıştır. Numunelerin laboratuvar ortamında spektral yansımaya değerleri (350–2500 nm) kaydedilmiş ve model performansını artırmak adına Dalgacık Dönüşümü (WT), Standart Normal Varyate (SNV) ve türev alma gibi farklı ön işleme teknikleri karşılaştırılmıştır. Tahmin modellerinin

oluşturulmasında Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLSR) algoritması kullanılmıştır. Araştırma bulguları, geliştirilen VNIRS modellerinin özellikle organik madde ($R^2=0.84$; RPD=2.47) ve toplam azot ($R^2=0.80$; RPD=2.21) içeriklerini yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini göstermiştir. Toprak pH değeri için de kabul edilebilir düzeyde ($R^2=0.73$) başarı sağlanırken; alınabilir fosfor ve potasyum parametrelerinin tahmin doğruluğu düşük seviyede ($R^2<0.60$) kalmıştır. Sonuç olarak çalışma; VNIRS tekniğinin Guangdong bölgesi topraklarında karbon ve azot yönetiminde etkili bir araç olduğunu, ancak alınabilir besin elementleri için dolaylı tahmin kapasitesinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu çalışma kapsamında incelenen bilimsel çalışmalara göre, NIRS ve VNIRS tabanlı spektroskopik yaklaşımların toprak analizlerinde giderek artan bir doğruluk ve uygulama çeşitliliği kazandırdığı görülmektedir. Başlangıçta sadece kireç ve organik madde gibi temel fiziksel-kimyasal özelliklerin tahmininde kullanılan bu teknoloji; zamanla gelişen kemometrik yöntemler (PLSR, SVM, ANN vb.) ve sensör füzyonu (LIBS) sayesinde, tuzluluk izleme, biyokömür etkileşimleri ve toprak serilerinin ayırt edilmesi gibi karmaşık pedolojik süreçlerin çözümlemesinde de etkin hale gelmiştir. Ancak, literatür bulguları bütüncül değerlendirildiğinde; yöntemin başarısının sadece cihaz hassasiyetine değil, numunelerin ince öğütülmesi gibi fiziksel ön hazırlıklara ve çevresel faktörlerin (nem, pürüzlülük) kontrolüne sıkı sıkıya bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle organik karbon ve toplam azot gibi parametrelerde yüksek doğruluk sağlanırken, fosfor ve potasyum gibi elementlerin tahmininde dolaylı korelasyonların sınırlayıcı etkisinin devam ettiği görülmektedir. Sonuç olarak, spektroskopik yöntemler geleneksel laboratuvar analizlerinin yerini tamamen alacak tekil bir çözümden ziyade; hız, düşük maliyet ve çevreci özellikleriyle onları tamamlayan güçlü bir spektroskopik tarama aracıdır. Gelecekteki çalışmalarda, referans yöntemlerin kesinliği ile spektroskopinin hızının birleştirildiği hibrit (melez) modellerin kullanılması, sürdürülebilir toprak yönetimi, hassas tarım ve dijital toprak haritalama süreçlerinde en rasyonel yaklaşım olacaktır.

Kaynaklar

- Aldemir, B. (2016). *Yakın kızılötesi spektroskopi (NIRS) tekniğinin biyokömür (biochar) uygulanan toprakların bazı kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanım olanakları/Utilization of near infrared spectroscopy (NIRS) technique to determinesome chemical properties of the biochar applied soils* (PhD Thesis).
- Aydın, G., Atatanır, L., Yorulmaz, A., Kurucu, Y., Öztürk, H. S., Kızılkaya, K., & Kaptan, M. A. (2011). Nirs (Near Infrared) Yansıma Tekniği İle Toprak Parametrelerinin Belirlenebilirliği. *Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu*, 25-27.
- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S., & Lister, S. J. (2018). Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Applied Spectroscopy*, 43(5), 772–777.
- Bellon-Maurel, V., Fernandez-Ahumada, E., Palagos, B., Roger, J. M., & McBratney, A. (2010). Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(9), 1073-1081.
- Ben-Dor, E., Ong, C., & Lau, I. C. (2015). Reflectance spectroscopy as a real time method for monitoring soil contamination. *Environmental Science & Technology*, 49(1), 1–15.
- Bilgili, A. V., Çullu, M. A., & Aydemir, S. (2014). Tuzdan etkilenmiş toprakların yakın kızılötesi yansıma spektrometre ve elektromanyetik indüksiyon tekniği yardımıyla karakterize edilebilme potansiyelinin araştırılması. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 18(1), 32-45..
- Budak, M., & Günal, H. (2015). Standart Toprak Analizlerinin Belirlenmesinde Görülebilir-Yakın Kızılötesi Spektroskopisinin (VNIRS) Kullanımı. *GAP VII. Tarım Kongresi. Sunulu Bildiri*, 28.
- Cozzolino, D. (2015). Near-infrared spectroscopy: A rapid, non-destructive analytical technique for soil analysis. *Applied Spectroscopy Reviews*, 50(7), 517–532.
- Cozzolino, D., & Morón, A. (2006). Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict soil properties. *Journal of Agricultural Science*, 144(5), 421–427.

- Çullu, M. A., Şeker, H., Gozukara, G., Günal, H., & Bilgili, A. V. (2024). Rapid characterization of soil horizons for different soil series utilizing Vis-NIR spectral information. *Geoderma Regional*, 38, e00853.
- Du, X., Wang, J., Dong, D., & Zhao, X. (2019). Development and testing of a portable soil nitrogen detector based on near-infrared spectroscopy. In *2019 IEEE 8th joint international information technology and artificial intelligence conference (ITAIC)* (pp. 822-826). IEEE.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods* (pp. 383–411). ASA and SSSA.
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, 5, 551-574.
- Hesen, Z., Weil, L., Zeyul, Z., Ling, W., Dongmei, E., Menghao, Z., Tengwei, X., Jun, D., Chl, Z. (2024). Assessment for soil nutrient content prediction model based on visible-near infrared spectroscopy in the typical regions of Guangdong Province. *Journal of South China Agricultural University*, 45(2), 218-226.
- Kawamura, K., Tsujimoto, Y., Rabenarivo, M., Asai, H., Andriamananjara, A., & Rakotoson, T. (2017). Vis-NIR spectroscopy and PLS regression with waveband selection for estimating the total C and N of paddy soils in Madagascar. *Remote Sensing*, 9(10), 1081.
- Kennard, R. W., & Stone, L. A. (1969). Computer aided design of experiments. *Technometrics*, 11(1), 137-148.
- Kılıç, E., Köseoğlu, F., Yılmaz, H. (Çeviri Editörleri). 1998. *Enstrümental Analiz İlkeleri*. Bilim Yayıncılık. Ankara.
- Kuang, B., Mahmood, H. S., Quraishi, Z., Hoogmoed, W. B., Mouazen, A. M., & Van Henten, E. J. (2012). Sensing soil properties in the laboratory, in situ and on-line; A review. *Advances in Agronomy*, 114(1), 155–223.
- Minasny, B., McBratney, A. B., Bellon-Maurel, V., Roger, J. M., Gobrecht, A., Ferrand, L., & Joalland, S. (2011). Removing the effect of soil moisture from NIR diffuse reflectance spectra for the prediction of soil organic carbon. *Geoderma*, 167, 118-124.
- Mouazen, A. M., Maleki, M. R., De Baerdemaeker, J., & Ramon, H. (2007). On-line measurement of some selected soil properties using a VIS–NIR sensor. *Soil and Tillage Research*, 93(1), 13-27.

- Omer, M., Idowu, O., J., Brungard, C., W., Ulery, A., L., Adedokun, B., & McMillan, N. (2020). Visible near-infrared reflectance and laser-induced breakdown spectroscopy for estimating soil quality in arid and semiarid agroecosystems. *Soil Systems*, 4(3), 42.
- Rinnan, Å., Van Den Berg, F., & Engelsen, S. B. (2009). Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(10), 1201-1222.
- Rossel, R. V., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1-2), 59-75.
- Sherman, D. M., & Waite, T. D. (1985). Electronic spectra of Fe^{+3} oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist*, 70(11-12), 1262-1269.
- Soriano-Disla, J. M., Janik, L. J., Viscarra Rossel, R. A., Macdonald, L. M., & McLaughlin, M. J. (2014). The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties. *Applied spectroscopy reviews*, 49(2), 139-186.
- Stenberg, B., Rossel, R. A. V., Mouazen, A. M., & Wetterlind, J. (2010). Visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107, 163-215.
- Şenol, H. (2024a). Arazi Şartlarında Munsell Renk Skalasında Belirlenen Toprak Renkleri İle Spektrometrede Elde Edilen Yansıma Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler. *Tarımsal Araştırmalar*, 21-22.
- Şenol, H. (2024b). Yakın-Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi İle Toprak Tekstürünün Belirlenebilirliği. *Tarımsal Araştırmalar*, 31-50.
- Şenol, H., & Akgül, M. (2013). Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) ile bazı Toprak özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18, 197-213.
- Turgut, Y. Ş., & Şenol, S. (2020). Toprak Serilerinin Ayırt Edilmesinde NIRS Yansıma Tekniğinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Ziraat Mühendisliği*, (371), 25-40.
- Viscarra Rossel, R. A., McGlynn, R. N., & McBratney, A. B. (2006). Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 137(1), 70-82.

BÖLÜM 9

AÇIK KAYNAK KODLU CBS YAZILIMLARININ TOPRAK BİLİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi. Bulut SARĞIN¹

Doç. Dr. Siyami KARACA²

Arş. Gör. Metehan AYDIN³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18131824>

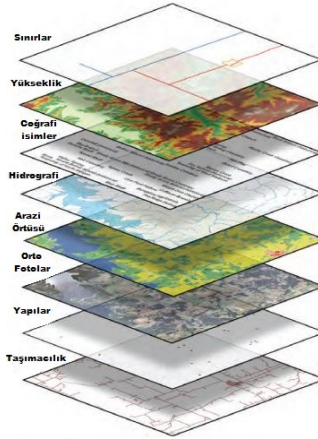
¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. bulutsargin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4752-4333

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. s.karaca@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2434-1171

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van, Türkiye. metehanaydin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0009-0004-3770-2302

1. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN (CBS) TANIMI

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yeryüzü referanslı verilerin entegrasyonuna dayanan ve bu verilerin mekânsal ile zamansal boyutlarının eş zamanlı analizine olanak tanıyan bir metodoloji olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2008). Bu sistem, donanım, yazılım, veri, yöntem ve insan unsurlarını bir araya getiren bütünlük bir yapı olup; konumsal verinin elde edilmesi, depolanması, işlenmesi, analizi ve görselleştirilmesi fonksiyonlarını icra eder (Turoğlu, 2020; Goodchild ve Haining, 2004). CBS, temel nerede ? sorusuna yanıt vermenin ötesinde, coğrafi olguların altında yatan neden ve nasıl gibi analitik sorgulamalara nicel ve görsel temelli yanıtlar üretme kapasitesine sahiptir. Raster ve vektör veri modellerini etkin bir biçimde kullanan modern CBS uygulamaları; yer bilimleri, çevre yönetimi, planlama ve mühendislik dahil olmak üzere pek çok disiplinde bilimsel bir temel sunar. Bu bağlamda CBS, salt bir haritalama aracından ziyade, karmaşık mekânsal süreçler için gelişmiş bir modelleme ve karar destek sistemi olarak kabul edilmektedir (Neteler ve ark., 2012). CBS teknolojisi, yeryüzüne ait karmaşık verileri tek bir bütün olarak değil, yönetilebilir parçalara ayırarak işler. Her veri grubu ayrı bir tematik katman olarak tutulur. Ulaşım ağları, hidrografya, arazi örtüsü ve yapılar bu katmanlara örnektir. Bu katmanlar üst üste getirilerek analiz yapılır (Şekil 1). Böylece veriler arasında anlamlı ve bütüncül bir ilişki kurulmuş olur.



Şekil 1: Coğrafi Bilgi Sistemlerinde gerçek dünya bileşenlerinin katmanlı (layer) veri yapısı ile modellenmesi ve tematik entegrasyonu. (<https://www.usgs.gov/media/images/8-base-layers-national-map>)

2. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) entelektüel kökleri, mekânı nicel olarak anlama ve temsil etme çabasına dayanan kadim bir kartografik geleneğe dayanmaktadır. Coğrafi verinin sistematik temsiline yönelik en erken girişimler, M.Ö. 13. yüzyılda Mısır'da, II. Ramses döneminde parşömen üzerine çizilen ve jeolojik kaynak (altın yatakları) dağılımını gösteren tematik haritalara kadar izlenebilmektedir. Bilimsel kartografyanın kurucusu olarak kabul edilen Eratosthenes (M.Ö. 276–194), yeryüzünü bir grid sistemi (enlem-boylam) ile tanımlayarak, modern mekânsal referans sistemlerinin kavramsal temelini atmış ve coğrafi konumlandırmayı nicel bir çerçeveye oturtmuştur (Turoğlu, 2020). Takip eden yüzyıllarda, özellikle Orta Çağ'da İslam coğrafyacıları ve Rönesans döneminde Avrupalı denizciler, projeksiyon metodolojilerini geliştirerek ve gözlemsel verileri entegre ederek harita üretiminde doğruluk, ölçek ve tekrarlanabilirlik standartlarını önemli ölçüde yükseltmiştir. CBS'nin analitik bir araca dönüşümünün prototipi, 19. yüzyılda belirginleşmiştir. Bu dönemde, karmaşık altyapı, ulaşım ağları ve mühendislik projelerinin planlanması, coğrafi veriye olan ihtiyacı nicel ve nitel olarak artırmıştır. Bu bağlamda, 1854 yılında İngiliz hekim John Snow 'un Londra'daki kolera epidemisini analiz etme biçimi, bir paradigma değişimi olarak kabul edilir. Snow, salgının mekânsal dağılımını (mortalite vakaları) su pompalarının konumuyla harita üzerinde karşılaştırarak (overlay analizi), hastalığın kaynağını (kontamine bir su pompası) istatistiksel ve mekânsal olarak belirlemiştir. Bu çalışma, basit kartografik temsilden mekânsal korelasyon yoluyla epidemiyolojik sonuca varan ilk sistematik uygulama olarak, modern mekânsal analizin ve coğrafi bilgi sistemlerinin öncüsü olarak kabul görmektedir (Turoğlu, 2020; Longley ve ark., 2015).

20. yüzyıl, veri toplama teknolojilerindeki devrimlerin CBS'nin dijital temellerini attığı bir dönemdir. Yüzyılın başlarında fotogrametri ve hava fotoğraflarının kullanımı, yeryüzü verisinin toplanmasını hızlandırmış ve standartlaştırmıştır. II. Dünya Savaşı sonrasında askeri amaçlarla geliştirilen uzaktan algılama teknolojileri ise, yeryüzü verisinin analog formattan dijital formata kitlesel olarak aktarılabilmesinin yolunu açmıştır. Bu teknolojik ilerlemeler, 1960'lı yıllarda ilk operasyonel CBS'nin doğuşuna zemin hazırlamıştır.

Kanada Hükümeti'nin geniş ölçekli doğal kaynak envanterini yönetme ihtiyacına yanıt olarak geliştirilen Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi (CGIS), literatürde CBS teriminin sistematik olarak kullanıldığı ve mekânsal veritabanı ile analitik yetenekleri bütünleştiren ilk proje olarak kayıtlara geçmiştir (Turoğlu, 2020).

1970–1980 dönemi, teknolojinin ana bilgisayar (mainframe) tabanlı pahalı sistemlerden, daha erişilebilir olan kişisel bilgisayarlara doğru evrildiği gelişme evresi olarak nitelendirilmektedir. Bu evre, mekânsal veritabanı yönetim sistemlerinin (SDBMS) kavramsallaştırılması, verilerin dijital ortama aktarılmasını sağlayan sayısallaştırıcıların (digitizer) yaygınlaşması ve ilk vektör tabanlı analiz yazılımlarının geliştirilmesiyle karakterize edilir (Goodchild ve Haining, 2004). 1980–2000 arası ise, pazar odaklı ticarileşme dönemi olarak adlandırılır. Bu dönemde Arc/Info, MapInfo, Intergraph ve Idrisi gibi ticari yazılımlar, CBS teknolojisinin standartlarını belirlemiş ve geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmıştır. Aynı zamanda, bu ticari hegemonyaya bir alternatif olarak, özellikle akademik ve askeri çevrelerde, GRASS GIS gibi güçlü ve açık kaynak kodlu yazılımların geliştirilmesine de başlanmıştır (Neteler ve ark., 2012). 2000'li yıllar ve sonrası, CBS'nin internet teknolojileriyle tam entegrasyonuna ve mekânsal veri altyapısı kavramının yükselişine tanıklık etmiştir. Web tabanlı haritalama servisleri (WMS, WFS), çevrimiçi veri paylaşım portalları ve bulut tabanlı mekânsal analiz platformları, CBS'yi izole bir masaüstü aracından küresel ölçekte erişilebilir, işbirlikçi bir teknolojiye dönüştürmüştür. Günümüzde CBS, salt harita üretimi fonksiyonunun çok ötesine geçmiştir; veri madenciliği, yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi disiplinlerle derin bir etkileşim içindedir. Bu entegrasyon sayesinde CBS, artık karmaşık mekânsal örüntüleri modelleyen ve geleceğe yönelik öngörüler sunan mekânsal karar destek sistemlerinin analitik omurgasını oluşturmaktadır (Yılmaz, 2008; Neteler ve ark., 2012).

3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) alanındaki araştırmaların temel amacı, konumsal verinin elde edilmesi, işlenmesi, analizi ve görselleştirilmesini içeren süreçleri sistemik bir yaklaşımla ortaya koymaktır. Beş temel bileşenden

(donanım, yazılım, veri, yöntem ve insan) teşekkül eden CBS, karmaşık sosyal, ekonomik ve çevresel problemlerin çözümünde kritik bir karar destek mekanizması işlevi görmeyi hedefler. Bu bağlamda, disiplinin kapsamı salt kartografik üretiminin ötesine geçerek; mekânsal veritabanı yönetimi, ileri düzey mekânsal analiz ve tematik modelleme disiplinlerini de içermektedir. Teknik açıdan kapsam, jeodezik koordinat sistemlerine dayalı coğrafi verinin toplanmasıyla başlar ve raster ile vektör veri modellerinin yapılandırılması, sayısallaştırma, projeksiyon dönüşümleri, mekânsal sorgulama ve analitik süreçleri kapsar; bu süreçler bilimsel doğrulukta, organize edilmiş ve birlikte çalışabilir (paylaşılabilir) veri setlerinin üretilmesiyle sonuçlanır (Turoğlu, 2020).

CBS'nin bir diğer temel amacı, veri-odaklı mekânsal karar destek sistemlerinin (MKDS) geliştirilmesine metodolojik bir zemin sağlamaktır. Bu sistemler; altyapı yönetimi, kent planlama, tarımsal kaynak optimizasyonu, doğal kaynak yönetimi, çevresel izleme ve afet risk analizi gibi çok çeşitli disiplinlerde konuma dayalı modelleme kabiliyetleri sunar (Yılmaz, 2008). Güncel araştırmaların önemli bir kısmı, veri toplama aşamasından model çıktılarının yorumlanmasına dek tüm iş akışının, QGIS, GRASS GIS, PostGIS ve GDAL gibi açık kaynak kodlu yazılım (AKKY) altyapıları kullanılarak yürütülmesine odaklanmaktadır (Neteler ve ark., 2012).

CBS günümüzde yalnızca teknik bir analiz alanı olmaktan çıkmış; veri yönetimi, bilgi teknolojileri ve açık bilim felsefesi ile bütünleşmiş çok disiplinli bir araştırma sahası haline gelmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmaların kapsamı, AKKY'nin CBS içindeki stratejik rolünü, maliyet-etkin çözümler sunma potansiyelini ve metodolojik şeffaflık ile kullanıcı bağımsızlığını artırmadaki işlevlerini de analiz etmeyi içermektedir (Tsou ve Smith, 2011).

4. AÇIK KAYNAK KODLU YAZILIMLAR VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNDEKİ YERİ

4.1. Açık Kaynak Kodlu Yazılımın (AKKY) Tanımı ve Kullanımı

Açık Kaynak Kodlu Yazılım (AKKY), en temel tanımıyla; kaynak kodlarının kullanıcı erişimine açık olduğu, incelenebileceği, değiştirilebileceği ve kısıtlama olmaksızın yeniden dağıtılabilirdiği bir yazılım geliştirme modelidir (Stallman, 2002). Ticari yazılımların kara kutu (black box) yaklaşımının aksine,

bu model şeffaflığı ve özgürlüğü merkeze alır. Raymond (1999), bu değişimi yazılım dünyasında kapalı ve hiyerarşik katedral tarzı üretimden, açık ve katılımcı pazar yeri tarzı üretime geçiş olarak tanımlar.

AKKY'nin sunduğu özgürlük ortamı, yazılımın sadece tüketilmesine değil, kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda evrilmesine de olanak tanır. Bu üretim modelini kültürel kodlarımızla ifade etmek gerekirse, en uygun kavram şüphesiz imece olacaktır. Anadolu kültüründe toplumsal dayanışmanın simgesi olan imece, dijital dünyada kolektif zeka olarak vücut bulur. Nasıl ki geleneksel imecede köyün ortak bir sorunu elbirliğiyle çözülüyorsa; açık kaynak dünyasında da binlerce geliştirici, Linux çekirdeği gibi projelerde karşılaşılan sorunları aynı ruhla çözüme kavuşturmaktadır (Von Hippel, 2005).

Özellikle 2000'li yıllardan itibaren ivme kazanan AKKY; Almanya, Brezilya ve Hindistan gibi ülkeler ile UNESCO ve AB gibi kuruluşlar tarafından stratejik bir öncelik olarak benimsenmiştir. Bu tercihin arkasında maliyet tasarrufunun ötesinde; bilgi güvenliği, teknolojik bağımsızlık ve satıcıya bağımlılıktan kurtulma gibi kritik gerekçeler yatmaktadır (Wong, 2004). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler açısından AKKY, bir tercih olmaktan öte stratejik bir zorunluluktur. Bilgi toplumuna dönüşüm sürecinde, sadece teknolojiyi tüketen değil, üreten bir nesil yetiştirmek; ancak kodun mutfağına girilebilen, standartların açık olduğu bir ekosistemle mümkündür. Bu bağlamda AKKY, ulusal ekonominin dijital egemenliğini sağlamada kilit bir rol üstlenmektedir (Ergen ve ark., 2018).

4.2. Açık Kaynaklı Coğrafi Bilgi Teknolojilerinde Gelecek Projeksiyonu

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve mekânsal veri üretimi, son on yılda teknolojinin demokratikleşmesiyle birlikte köklü bir paradigma değişimi geçirmiştir. Özellikle akıllı mobil cihazların yaygınlaşması, Goodchild (2007) tarafından kavramsallaştırılan Gönüllü Coğrafi Bilgi (VGI) olgusunu gündelik yaşamın merkezine yerleştirmiştir. Gelecek on yılın projeksiyonu incelendiğinde, açık coğrafi veri hacminin ve erişilebilirliğinin artarak devam edeceği öngörülmektedir. Bu süreçte, Open Street Map (OSM) gibi işbirlikçi platformların, çevrimiçi harita servisleri için standart bir altlık harita haline

gelmesi ve resmi kurumlarca üretilen yetkili verileri tamamlayıcı bir rol üstlenmesi beklenmektedir (Haklay, 2010). Teknolojik altyapı perspektifinden bakıldığında, veri erişim modellerinde statik dosya indirme yönteminden bulut tabanlı servis mimarilerine doğru keskin bir geçiş yaşanmaktadır. Yang ve ark., (2011) tarafından vurgulandığı üzere; bulut bilişim, kullanıcıların sabit veri setleri yerine, talep üzerine özelleştirilebilir veri ürünlerine erişmesine olanak tanımaktadır. Bu dönüşüm, teknik birlikte çalışabilirlik ihtiyacını artırmış; Bulut İçin Optimize Edilmiş GeoTIFF (COG) ve STAC (SpatioTemporal Asset Catalog) gibi yeni nesil standartların, resmi kuruluşlardan önce endüstriyel fiili standartlar olarak yerleşmesine zemin hazırlamıştır (Percivall, 2010).

Veri üretim metodolojilerinde ise yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları devrim niteliğinde fırsatlar sunmaktadır. Uydu görüntüleri ve İnsansız Hava Araçları (İHA) verilerinden otomatik öznitelik çıkarımı, üretim maliyetlerini düşürmekte ve özellikle gelişmekte olan ülkeler için sahadan veri toplama zorunluluğunu minimize etmektedir (Ma vd., 2019). Bu durum, sınırlı bütçeye sahip bölgelerin küresel coğrafi arenada rekabet edebilirliğini artırmakta ve disiplinler arası ekiplerin afet yönetimi veya iklim değişikliği gibi toplumsal sorunlara mekânsal çözümler üretmesini kolaylaştırmaktadır.

Bununla birlikte, verinin bu denli büyümesi ve çeşitlenmesi, Li ve ark., (2016) tarafından Büyük Mekânsal Veri (Geospatial Big Data) olarak tanımlanan yönetim krizini beraberinde getirmektedir. Temel zorluk artık veriye erişim değil; ham veriyi anlamlı bilgiye dönüştürecek işlem gücünü ve depolama kapasitesini yönetebilmektir. Ek olarak, katılımcı üretim modelleri veri güvenilirliği ve kalite güvencesi sorunlarını doğurmaktadır. Mooney ve Minghini (2017)'nin işaret ettiği gibi; veri kaynağının belirsizleşmesi, veri vandalizmi ve manipülasyon riskleri, açık veriye duyulan güveni sarsabilir. Bu bağlamda, verinin kim tarafından, ne zaman ve hangi amaçla değiştirildiğinin takibi (meta veri yönetimi), geleceğin en kritik teknik sorunu olacaktır. Sonuç olarak, açık coğrafi veriler inovasyon için muazzam bir potansiyel barındırır da kişisel mahremiyet ve ulusal güvenlik kaygılarıyla dengelenmek zorundadır. Kitchin (2013)'in belirttiği üzere, verilerin ulusal sınırları aştığı dijital dünyada, veri sahiplerinin kontrol kaybı korkusunu giderecek yasal çerçeveler ve Mekânsal Veri Altyapıları (MVA) geliştirilmelidir. Gelecek, sadece veriyi

üreten teknolojilerin değil, bu veriyi etik ve güvenilir bir şekilde yönetecek politikaların başarısına bağlı olacaktır.

5. AÇIK KAYNAK COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) YAZILIMLARI

Bu felsefenin mekânsal teknolojilerdeki yansıması olan Açık Kaynak CBS yazılımları, günümüzde ticari muadilleriyle rekabet edebilir seviyeye ulaşmıştır. Öne çıkan yazılımlar ve teknik özellikleri şunlardır:

a) **QGIS (Entegrasyon ve Kullanıcı Deneyimi):**

Açık kaynaklı masaüstü CBS pazarının lideri konumundadır. Graser (2016)'ın belirttiği üzere başarısı, Python tabanlı eklenti mimarisine dayanır. En stratejik özelliği olan Araç İşlem Kutusu (Processing Toolbox); GRASS, SAGA ve GDAL kütüphanelerini tek bir arayüzde birleştirerek QGIS'i entegre bir analiz merkezine dönüştürmektedir (Menke ve ark., 2016). Bu sayede kullanıcılar, kodlama bilgisine ihtiyaç duymadan karmaşık analizleri gerçekleştirebilir.

b) **GRASS GIS (Tarihsel Derinlik ve Modüler Analiz):**

Kökleri 1982 yılına dayanan ve ABD Ordusu Mühendisler Birliği (US Army CERL) tarafından geliştirilen en köklü yazılımdır (Neteler ve Mitasova, 2008). Modüler Unix felsefesine dayanan yapısı; özellikle topolojik vektör yönetimi ve hidroloji, erozyon gibi raster tabanlı çevresel modellemelerde yüksek hesaplama doğruluğu sunar (Neteler ve ark., 2012).

c) **Uzmanlaşmış Çözümler (SAGA, ILWIS, gvSIG):**

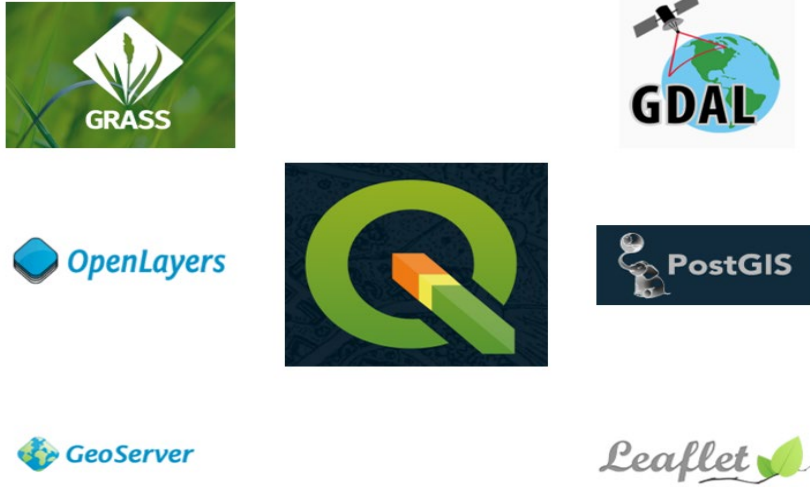
SAGA: Fiziki coğrafya ve yer bilimleri için geliştirilmiş olup, jeomorfometrik analizlerde üstün algoritmalara sahiptir (Conrad ve ark., 2015).

ILWIS: Uzaktan algılama ve su kaynakları yönetimindeki entegre görüntü işleme yetenekleriyle öne çıkar (Mannaerts ve ark., 2009).

gvSIG: Kamu yönetiminin kadastro ve planlama ihtiyaçlarına yönelik geliştirilen, CAD benzeri çizim araçları sunan bir çözümdür (Anguix ve Díaz, 2008).

d) **Web CBS Mimarisi (PostGIS, Geo Server, Open Layers, Open Street Map):**

Masaüstünden bağımsız, servis tabanlı modern mimarinin omurgasını Web CBS Mimarisi oluşturur. Obe ve Hsu (2015)'e göre bu yapının temelinde, veritabanı standardı olan PostGIS yatar. Sunucu tarafında GeoServer veya MapServer verileri OGC standartlarında (WMS, WFS) yayınlarken (Youngblood, 2013); OpenLayers veya Leaflet gibi kütüphaneler tarayıcı tabanlı sunumu gerçekleştirir. Goodchild (2007) tarafından Gönüllü Coğrafi Bilgi (VGI) olarak kavramsallaştırılan bu modelde, vatandaşlar pasif veri tüketicisi olmaktan çıkıp, coğrafi veri üreten birer sensör konumuna yükselmiştir. OSM, düğüm (node), yol (way) ve ilişki (relation) geometrilerine dayalı esnek topolojik yapısıyla, geleneksel haritaların ötesinde dinamik bir veritabanı sunar. Literatürde veri kalitesi üzerine yapılan tartışmalarda Haklay (2010), OSM verisinin kentsel alanlarda resmi haritalarla yarışır düzeyde olduğunu, ancak kırsal bölgelerde veri yoğunluğunun azaldığını tespit etmiştir. Buna rağmen, Zook ve ark., (2010) tarafından belgelendiği üzere, 2010 Haiti depremi gibi afet durumlarında OSM topluluğunun (Humanitarian Open Street Map Team) gösterdiği hızlı refleks, bu verinin kriz yönetimindeki hayati rolünü kanıtlamıştır. Açık kaynak CBS ekosisteminde yaygın olarak kullanılan yazılımları (QGIS, GRASS GIS, GDAL, PostGIS, GeoServer, OpenLayers ve Leaflet) göstermektedir ve ilgili görseller resmi projelerin açık lisanslı tanıtım materyallerinden derlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Açık kaynak kodlu CBS yazılımlarının temel bileşenleri ve ekosistem içindeki konumları.

6. AÇIK KAYNAK KODLU CBS'NİN TEMEL İLKELERİ, AVANTAJLARI VE TEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

Açık Kaynak Kodlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (AKK-CBS), günümüzde sadece ücretsiz yazılım olmanın ötesine geçerek; şeffaflık, ekonomik erişilebilirlik ve topluluk tabanlı üretim modelleriyle CBS ekosisteminde köklü bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Bu sistemlerin ticari (tescilli) yazılımlarla karşılaştırıldığında sunduğu avantajlar ve beraberinde getirdiği teknik gereksinimler, beş temel eksenle değerlendirilmektedir.

Açık kaynak felsefesi, Özgür Yazılım Vakfı (FSF) tarafından tanımlanan dört temel özgürlüğe dayanır: Yazılımı çalıştırma, inceleme, değiştirme ve dağıtma özgürlüğüdür (Tsou ve Smith, 2011). Genel Kamu Lisansı (GPL) gibi lisanslar, bilginin tekelleşmesini önleyerek kamusal bir değer olarak kalmasını teminat altına almaktadır (Maurya ve ark., 2015). Bilimsel perspektiften bakıldığında ise bu yapı, kapalı kutu (black box) olarak çalışan ticari yazılımların aksine, araştırmacılara algoritmaların iç yapısını denetleme imkânı sunar. Neteler ve ark. (2012), GRASS GIS üzerine yaptıkları analizde, açık kod yapısının algoritmaları hakem değerlendirmesine açtığını; bunun da bilimsel

modellerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırarak, analiz sonuçlarını matematiksel olarak kanıtlanabilir kıldığını vurgulamıştır.

Ekonomik Erişilebilirlik ve Maliyet Etkinliği

CBS projelerinde yazılım lisanslama maliyetleri, özellikle gelişmekte olan ülkeler ve kısıtlı bütçeye sahip kamu kurumları için kritik bir engeldir. Yılmaz (2008), ticari yazılımların yüksek lisans ücretlerinin bilimsel üretim hızını yavaşlattığını belirtmektedir. Buna karşılık AKK-CBS araçları, lisans ücreti gerektirmediği için Toplam Sahip Olma Maliyeti (TCO) açısından ciddi bir avantaj sağlar. Feller ve ark., (2005) ile Akçay ve Yılmaztürk (2005), maddi kısıtlarla yürütülen projelerde açık kaynak tercihinin, bütçenin yazılım yerine donanım veya veri üretimi gibi alanlara kaydırılmasına olanak tanıdığını ve proje verimliliğini artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, kaynak koduna erişim imkânı, kurumlara satıcı bağımlılığı yaşamadan kendi ihtiyaçlarına özel araçlar geliştirme esnekliği sunar (Bonaccorsi ve Rossi, 2003).

Topluluk Tabanlı Geliştirme ve Yazılım Kalitesi

Açık kaynak ekosisteminin sürdürülebilirliği, tek bir firmanın ticari kararlarına değil, küresel bir geliştirici ve kullanıcı topluluğunun kolektif zekasına dayanır. Beyhan ve ark. (2010), bu yazılımların dünya genelindeki binlerce gönüllü tarafından sürekli test edildiğini ve Linus Yasası gereği hataların ticari yazılımlara kıyasla çok daha hızlı tespit edilip düzeltildiğini belirtmektedir. Bu yatay iş birliği modeli, QGIS örneğinde görüldüğü gibi, yazılımın yeteneklerini artıran yüzlerce eklentinin üretilmesini sağlamıştır. Lakhani ve Wolf (2005) ile Benkler ve Nissenbaum (2006), topluluk katılımının sadece hata düzeltme değil, aynı zamanda farklı disiplinlere (hidroloji, uzaktan algılama vb.) özgü inovatif araçların geliştirilmesinde de itici güç olduğunu vurgulamaktadır.

Veri Standardizasyonu ve Birlikte Çalışabilirlik

Farklı sistemlerin birbiriyle iletişim kurabilmesi modern CBS altyapılarının en kritik gereksinimidir. Açık kaynak projeleri, OGC (Open Geospatial Consortium) standartlarına (WMS, WFS, GML vb.) sıkı sıkıya bağlı olarak veri formatı bağımsızlığı sağlar (Neteler ve ark., 2012). Ancak uygulamada, farklı kurumların ürettiği verilerin standartlaşmaması durumunda

teknik uyumsuzluklar yaşanabilmektedir. Nyman ve ark. (2011), GeoServer ve PostGIS gibi araçların standartları desteklemesine rağmen, veri bütünlüğünün sağlanması için kurumlar arası ortak protokollerin benimsenmesinin zorunlu olduğuna dikkat çekmektedir.

Teknik Sınırlılıklar ve Kullanıcı Eğitimi Gereksinimi

Açık kaynak çözümler, güçlü işlevlerine rağmen belirli teknik zorlukları da beraberinde getirmektedir. Ticari yazılımların sunduğu 7/24 profesyonel teknik destek paketlerinin aksine, açık kaynak dünyasında kullanıcılar genellikle topluluk forumlarına ve dokümantasyonlara güvenmek durumundadır. Levesque (2004), bu durumun teknik uzmanlığı sınırlı olan kullanıcılar için bir bariyer oluşturabileceğini belirtir. Ayrıca, bazı açık kaynak araçlarının kurulum ve konfigürasyon süreçlerinin karmaşıklığı, öğrenme eğrisini (learning curve) dikleştirebilir. Bu nedenle, AKK-CBS'ye geçiş süreçlerinde personelin düzenli eğitimi ve kurumsal bilgi birikiminin oluşturulması stratejik bir öneme sahiptir (Nichols ve Twidale, 2002; Raymond, 2006).

7. TOPRAK BİLİMİNDE AÇIK KAYNAK CBS UYGULAMALARI

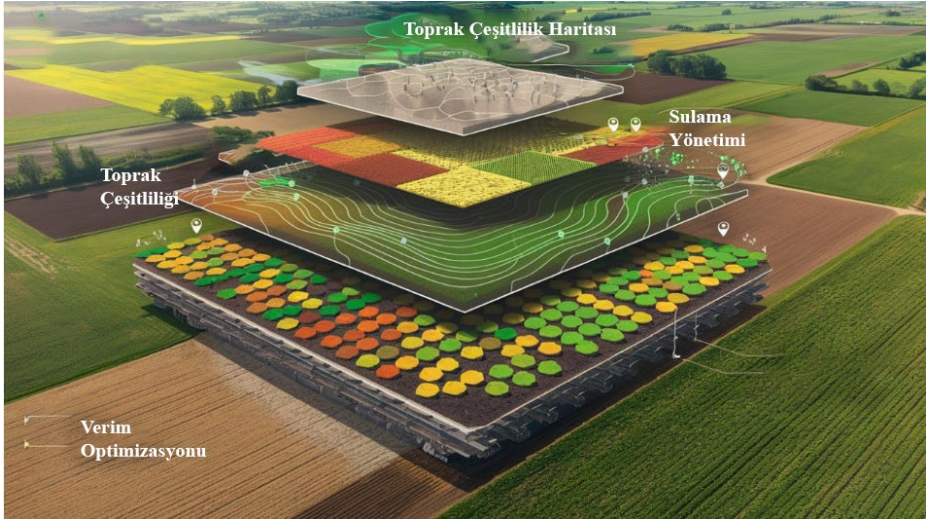
7.1. Toprak biliminde mekansal verinin önemi

Toprak biliminde geleneksel veri toplama yöntemleri, tarihsel olarak araziden alınan noktasal örneklerin laboratuvar analizlerine ve bu verilerin manuel yöntemlerle genelleştirilmesine dayanmaktaydı. Ancak toprağın yapısı gereği gösterdiği yüksek mekansal değişkenlik (spatial variability), noktasal verilerin tüm arazi yüzeyini temsil etmesinde metodolojik kısıtlılıklar yaratmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) gelişimiyle birlikte, bu kısıtlılıklar aşılıarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin mekânsal dağılımı, jeodezik koordinat sistemleri temelinde dijital ortamda analiz edilebilir hale gelmiştir.

Sürecin kronolojik gelişimine bakıldığında, 2000'li yılların başına kadar daha çok envanter ve basit haritalama odaklı olan toprak çalışmaları, bilgi teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte modelleme odaklı bir evreye geçiş yapmıştır. Yılmaz (2008), doğa bilimlerinde mekânsal verinin işlenmesinde,

özellikle açık kaynak kodlu yazılımların sağladığı maliyet avantajının ve teknik esnekliğin, araştırmacıların hidroloji, sıcaklık ve toprak nemi gibi değişkenleri daha kapsamlı modellemesine olanak tanıdığını vurgular. Bu dönemde, klasik kartografyadan Dijital Toprak Haritalama (Digital Soil Mapping) paradigmasına doğru bir kayma yaşanmıştır.

Modern dönemde ise mekânsal veri, erozyon riski ve sediment taşınımı gibi karmaşık pedolojik süreçlerin simülasyonunda merkezi bir rol oynamaktadır. Neteler ve ark (2012), GRASS GIS gibi gelişmiş araçların, peyzaj ekolojisi perspektifiyle toprak süreçlerini analiz etmede sunduğu algoritmik güce dikkat çekerek, bilimsel doğrulanabilirliğin önemini ortaya koymuştur. Günümüzde geline nokta, toprak bilimi ve mekânsal veri entegrasyonu, Büyük Veri (Big Data) ve Uzaktan Algılama teknolojileriyle yeni bir boyuta taşınmıştır. Mulder ve ark. (2011), spektral yansıma verilerinin CBS ortamında işlenmesiyle, geniş tarım arazilerinde tuzluluk, organik madde ve karbon stoklarının yüksek doğrulukla haritalanabildiğini ortaya koymuştur. Hengl ve ark., (2017) geliştirdiği küresel Toprak Ağı projesi ise, makine öğrenimi algoritmaları ile mekânsal verinin birleştirilerek, dünyanın herhangi bir noktasındaki toprak özelliklerinin tahmin edilebildiği evrensel bir veritabanı oluşturmuştur. Ek olarak hassas tarım uygulamalarından arazi kullanım planlamasına ve iklim değişikliğiyle mücadeleyle kadar uzanan geniş bir yelpazede; mekânsal veri, toprağın sürdürülebilir yönetimi için vazgeçilmez, bilimsel ve stratejik bir temel oluşturmaktadır. Tarımsal karar destek süreçlerinde kullanılan çok katmanlı CBS yapısını kavramsal olarak Şekil 3'te gösterilmektedir.

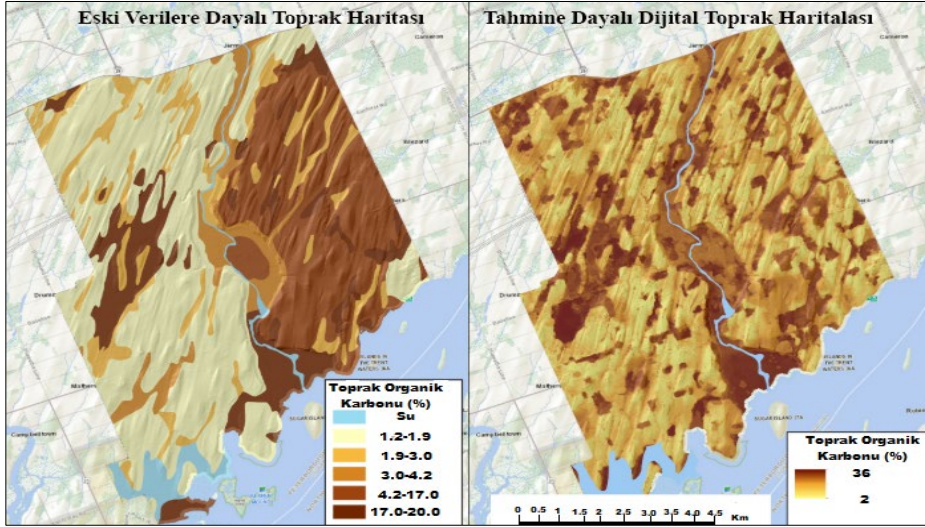


Şekil 3. Tarımsal üretimde toprak çeşitliliği, sulama yönetimi ve verim optimizasyonunu gösteren katmanlı CBS entegrasyonu (<https://ecotechtonic.com/gis-in-precision-agriculture-enhancing-crop-yields/>)

7.2. Dijital Toprak Haritalama ve Mekansal Modelleme

Dijital Toprak Haritalama (DTH) ve mekânsal modelleme alanında yapılan güncel araştırmalar, açık kaynak kodlu CBS yazılımlarının (QGIS, GRASS GIS ve R entegrasyonu) geleneksel yöntemlere kıyasla maliyet etkinliği, şeffaflık ve doğrulanabilirlik açısından üstün performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Chen ve ark., (2020) tarafından yapılan geniş kapsamlı literatür çalışmasında, QGIS ve SAGA GIS gibi açık kaynak platformların, özellikle Topoğrafik Nem İndeksi (TNI) gibi arazi türevlerinin üretilmesinde ve bu verilerin Sentinel uydu görüntüleri ile birleştirilerek toprak organik karbon (TOK) stoklarının tahmin edilmesinde kritik rol oynadığı belirtilmektedir. Hengl ve ark., (2017) ise küresel ölçekli Soil Grids projesinde, tamamen açık kaynak kodlu araçlar kullanarak 250 metre çözünürlükte tutarlı ve güncellenebilir toprak haritaları üretmiş, bu yaklaşımın veri madenciliği ve büyük veri analizindeki kapasitesini kanıtlamıştır. Bu çalışmalar, açık kaynak ekosisteminin sadece veri görselleştirme değil, aynı zamanda karmaşık mekânsal istatistik ve pedometrik modelleme süreçlerinde de ticari yazılımlara güçlü bir alternatif oluşturduğunu ve bilimsel araştırmalarda yeniden

üretilebilirlik standardını yükselttiğini göstermektedir. Geleneksel ve dijital haritalama yöntemleri Şekil 4'te verilmiştir. Eski toprak haritası ile dijital tabanlı organik karbon haritası yan yana gösterilmiştir. Dijital harita, tahmine dayalı modelleme ile üretilmiştir. Görsel, açık kaynaklı kaynaklardan derlenmiştir.



Şekil 4. Geleneksel yöntemlerle üretilen toprak haritası ile tahmine dayalı dijital toprak haritalamasının karşılaştırılması (Heung ve ark.,2021)

Toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğinin belirlenmesi, sürdürülebilir tarım ve arazi yönetimi için kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde Açık Kaynak Kodlu (AKK) CBS yazılımları ve açık erişimli bulut platformları (Google Earth Engine), geleneksel laboratuvar analizlerinin maliyet ve zaman kısıtlamalarını aşarak toprak parametrelerinin (pH, organik madde, tuzluluk) geniş ölçekte haritalanmasına olanak tanımaktadır. Özellikle Lemenkova (2023) tarafından yapılan çalışmada, GRASS GIS gibi açık kaynaklı yazılımların görüntü işleme yetenekleri kullanılarak, Sentinel-2 ve Landsat verileri üzerinden tuzlu su kütleleri ve çevresindeki toprak yüzey değişimleri yüksek doğrulukla izlenmiştir. Bu tür yazılımlar, spektral indekslerin hesaplanması ve sınıflandırılması süreçlerinde araştırmacılara şeffaf ve maliyet-etkin bir çalışma ortamı sunmaktadır. Toprak reaksiyonu (pH) gibi karmaşık kimyasal özelliklerin tahmininde ise makine öğrenimi

algoritmaları ile açık kaynak verilerin entegrasyonu ön plana çıkmaktadır. Gogumalla ve ark., (2022), Sentinel-1, Sentinel-2 ve Landsat-8 gibi açık kaynaklı uydu verilerini Google Earth Engine platformunda işleyerek, Random Forest (Rastgele Orman) algoritması aracılığıyla toprak pH değerlerini tahmin etmiş ve bu yöntemin geniş tarım arazilerinde pahalı toprak örneklemelerine güçlü bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymuştur. Mekânsal enterpolasyon teknikleri açısından bakıldığında, Shit ve ark.,(2016) ile Ahmed ve ark., (2015), CBS ortamında Kriging ve Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntemlerini kullanarak pH, Elektriksel İletkenlik (EC) ve Organik Karbon (OC) gibi verilerin noktasal örneklerden sürekli yüzey haritalarına dönüştürülmesinde jeostatistiksel modellerin başarısını kanıtlamışlardır. Benzer şekilde Mohamed ve ark., (2019), Toprak Organik Karbonu (SOC) havuzlarının haritalanmasında uzaktan algılama indekslerini (NDVI vb.) kullanarak, insan faaliyetlerinin toprak kalitesi üzerindeki mekânsal etkilerini modellemişlerdir. Ma ve ark., (2023) ise kurak alanlarda toprak tuzluluğunun (EC) izlenmesi için çoklu kaynak verilerini XGBoost gibi gelişmiş algoritmalarla birleştirerek, AKK-CBS yaklaşımlarının dinamik çevresel izlemedeki tahmin gücünü ortaya koymuştur.

Kaynaklar

- Ahmed, M., et al. (2015). "Assessment of soil fertility status using GPS and GIS techniques in some villages of...". *Journal of the Indian Society of Soil Science*.
- Akçay, O., & Yılmaztürk, F. (2005). Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar ile Web Tabanlı CBS Tasarımı. 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. (Dosya: 36VC_199_ek.pdf)
- Anguix, A., & Díaz, L. (2008). gvSIG: A GIS desktop solution for an open SDI. *Journal of Geography and Regional Planning*.
- Benkler, Y., & Nissenbaum, H. (2006). "Commons-based peer production and virtue". *Journal of Political Philosophy*, 14(4), 394-419.
- Beyhan, B., Belge, B., & Zorlu, F. (2010). Özgür ve Açık Kaynak Kodlu Masaüstü CBS Yazılımları Üzerine: Karşılaştırmalı ve Sistemli Bir Değerlendirme. *Harita Dergisi*, Sayı 143. (Dosya: ozgur-ve-acik-kaynak-kodlu-masaustu-cbs-yazilimlari-uzerine-karsilastirmali-ve-sistemli--1095.pdf)
- Bonaccorsi, A., & Rossi, C. (2003). "Why Open-Source software can succeed". *Research Policy*, 32(7), 1243-1258.
- Chen, S., et al. (2020). "Digital Soil Mapping and GlobalSoilMap. Main advances and ways forward". *Geoderma Regional*, e00306.
- Conrad, O., et al. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development.
- Ergen, M. vd. (2018). "Kamuda Açık Kaynak Kodlu Yazılım Kullanımı ve Stratejik Planlar". TÜBİTAK ULAKBİM Raporu veya ilgili sempozyum bildirisi.
- Feller, J., et al. (2005). Perspectives on Free and Open-Source Software. MIT Press.
- Fitzgerald, B. (2006). "The transformation of open-source software". *MIS Quarterly*, 30(3), 587-598.
- Gogumalla, P., Rupavatharam, S., Datta, A., Khopade, R., Choudhari, P., Dhulipala, R., & Dixit, S. (2022). Detecting soil pH from open-source remote sensing data: a case study of Angul and Balangir Districts, Odisha State. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(7), 1275-1290.

- Goodchild, M. F. (2007). "Citizens as sensors: the world of volunteered geography". *GeoJournal*, 69(4), 211-221.
- Goodchild, M. F., & Haining, R. P. (2004). "GIS and spatial data analysis: science and technology". *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2), 37-52.
- Graser, A. (2016). *Learning QGIS*. Pact Publishing Ltd.
- Haklay, M. (2010). "How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4), 682-703.
- Hengl, T., Mendes, D. J. J., Heuvelink, G. B. M., Ruiperez, G. M., Kilibarda, M., Blagoić, A., ... & Bauer-Marschallinger, B. (2017). *SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning*. PLoS ONE.
- Heung, B., Saurette, D., & Bulmer, C. E. (2021). *Digital soil mapping. Digging into Canadian Soils*.
- Kitchin, R. (2013). "Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks". *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 262-267.
- Lakhani, K. R., & Wolf, R. G. (2005). "Why Hackers Do What They Do: Understanding Motivation and Effort in Free/Open-Source Software Projects". *Perspectives on Free and Open-Source Software*, MIT Press.
- Lemenkova, P. (2023). *Monitoring seasonal fluctuations in saline lakes of Tunisia using Earth observation data processed by GRASS GIS*. *Land*, 12(11), 1995.
- Levesque, L. M. (2005). *Investigating landscape change and ecological restoration: an integrated approach using historical ecology and GIS in Waterton Lakes National Park, Alberta (Doctoral dissertation)*.
- Li, S., et al. (2016). "Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 119-133.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science (4th ed.)*. John Wiley & Sons.
- Ma, L., et al. (2019). "Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on the state of the art". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 7(2), 23-42.

- Ma, S., He, B., Xie, B., Ge, X., & Han, L. (2023). Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using Google Earth Engine: a case study at Werigan-Kuqa Oasis, West China. *Scientific Reports*, 13(1), 2754.
- Mannaerts, C. M., et al. (2009). The seamless integration of remote sensing and GIS in ILWIS Open.
- Maurya, S. P., Ohri, A., & Mishra, S. (2015). Open-Source GIS: A Review. *Proceedings of National Conference on Open-Source GIS: Opportunities and Challenges*. (Dosya: [OpenSourceGISARewiew.pdf](#))
- Menke, K., et al. (2016). *Mastering QGIS*. Packt Publishing.
- Mooney, P., & Minghini, M. (2017). "A review of OpenStreetMap data". *Mapping and the Citizen Sensor*, Ubiquity Press, 37-59.
- Mulder, V. L., De Bruin, S., Schaepman, M. E., & Mayr, T. R. (2011). The use of remote sensing in soil and terrain mapping—A review. *Geoderma*, 162(1-2), 1-19.
- Neteler, M., & Mitasova, H. (2008). *Open-Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Springer.
- Neteler, M., Bowman, M. H., Landa, M., & Metz, M. (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open-source GIS. *Environmental Modelling & Software*, 31, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>
- Nichols, D. M., & Twidale, M. B. (2002). "The Usability of Open-Source Software". *First Monday*, 8(1).
- Nyman, L., et al. (2011). "Code reuse in open-source software". *Open-Source Systems: Grounding Research*, 74-88.
- Obe, R., & Hsu, L. (2015). *PostGIS in Action*. Manning Publications.
- Percivall, G. (2010). *OGC Reference Model*.
- Raymond, E. S. (1999). *The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary*. O'Reilly Media.
- Raymond, E. S. (2006). *The Art of Unix Programming*. Addison-Wesley.
- Shit, P. K., Bhunia, G. S., & Maiti, R. (2016). Spatial analysis of soil properties using GIS based geostatistics models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 107.
- Stallman, R. (2002). *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman*. GNU Press.

- Tsou, M. H., & Smith, J. (2011). Free and Open-Source Software for GIS education. National Geospatial Technology Center of Excellence. (Dosya: tsou_free-GIS-for-educators-whitepaper.pdf)
- Turoğlu, H. (2020). CBS Temel Esasları (5. Baskı). Nobel Yayınları.
- Von Hippel, E. (2005). Democratizing Innovation. MIT Press.
- Wong, K. (2004). Free/Open-Source Software: Government Policy. UNDP-APDIP.
- Yang, C., Yu, M., Hu, F., Jiang, Y., & Li, Y. (2017). Utilizing cloud computing to address big geospatial data challenges. Computers, environment and urban systems, 61, 120-128.
- Yang, C., et al. (2011). Utilizing cloud computing to support spatial web services.
- YILMAZ, O. Y. (2008). Doğa Bilimlerinde Özgür Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı ile Modelleme. 2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu
- Youngblood, B. (2013). GeoServer Beginner's Guide. Packt Publishing Ltd.
- Zook, M., et al. (2010). "Volunteered geographic information and crowdsourcing disaster relief: a case study of the Haitian earthquake". World Medical & Health Policy, 2(2), 7-33.
- <https://www.usgs.gov/media/images/8-base-layers-national-map>
- <https://ecotechtonic.com/gis-in-precision-agriculture-enhancing-crop-yields/>

CHAPTER 10

GLOBAL WARMING AND RUMINANT NUTRITION: HEAT-ADAPTED FEEDING, GHG MITIGATION, AND SUPPLY-CHAIN PERSPECTIVES

Assoc. Prof. Dr. Cemal BUDAĞ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132281>

¹ Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Feeds and Animal Nutrition Department, Van, Türkiye.
cbudag@yyu.edu.tr Orcid ID: 0000-0003-3532-7727

1. INTRODUCTION

Global warming is reshaping the thermal, hydrological, and feed-quality constraints within which ruminant systems operate. Heat exposure depresses intake and productivity, compromises fertility, and increases health risks; meanwhile, drought and forage-quality variability add pressure on nutrient supply chains (Polsky & von Keyserlingk, 2017; West, 2003). For dairy systems, these pressures are already measurable and are projected to intensify over the coming decades. High-frequency datasets and classic syntheses converge on consistent declines in milk yield and composition during hot periods, with carryover effects beyond heat events (St-Pierre, Cobanov, & Schnitkey, 2003; Becker, Collier, & Stone, 2020).

Within this context, nutrition plays a two-fold role. As adaptation, feeding strategies aim to sustain intake and rumen function under heat (e.g., ration energy density, DCAD/electrolytes, antioxidant support, water management); as mitigation, diet design lowers greenhouse-gas intensity per unit of product (e.g., improved forage quality, precision protein, lipid/tannin strategies) (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021). These levers must be framed against robust nutrient requirements and tolerance data. Authoritative compendia including the modern NASEM dairy requirements and the NRC mineral tolerance monograph guide formulation and safety margins (NASEM, 2021; NRC, 2005).

Recent evidence indicates that thresholds for adverse heat responses have shifted downward with higher-producing cows. While a THI of ~ 72 was historically cited as discomfort, contemporary work places critical responses near THI ≈ 68 for high-yield Holsteins, with observable changes in behavior and output at or below that value (Allen et. al., 2015; Becker et al., 2020).

Climate warming intensifies thermal and hydrological constraints in ruminant systems, depressing intake and productivity while raising health and fertility risks. This synthesis integrates nutrition-based adaptation (diet densification; DCAD/electrolytes; amino-acid targeting; antioxidant and water management) with mitigation options that lower greenhouse-gas (GHG) intensity per unit of product (protected lipids, tannins/nitrate where safe, 3-NOP; manure CH₄ controls), framed within life-cycle assessment (LCA).

Across datasets, critical responses in high-yield dairy cows now emerge near $THI \approx 68$, underscoring the need for prepared ‘summer rations’ and data-driven cooling. Repeatable enteric CH_4 reductions ($\sim 20\text{--}40\%$) are achievable with 3-NOP; protected fat at $\sim 2\text{--}3\%$ DM typically lowers CH_4 by $\sim 5\text{--}10\%$ while defending energy balance. LCA highlights that the most durable intensity gains arise from interventions that lift yield and prevent leakage between enteric, manure, and feed domains. Precision nutrition—leveraging sensors, milk records, and decision models—enables timely ration adjustments and practical MRV of CH_4/N inputs/outputs. Policy pathways should align MRV, risk-aware finance, and knowledge ecosystems to diffuse proven packages beyond early adopters.

Do not make any changes to the sections containing author names and addresses. This information and volume, number, page number, and date information will be updated when your work is published. Do not modify these parts

2. HEAT STRESS AND PERFORMANCE

Heat load impairs the cow’s capacity to dissipate metabolic heat, eliciting endocrine and behavioral responses (reduced DMI, increased standing time, altered rumination) that reduce milk yield and components (West, 2003; Becker et al., 2020). Large syntheses report consistent declines in milk output and fertility during hot periods; importantly, effects can persist several days beyond the heat event (carryover) (St-Pierre et al., 2003; Polsky & von Keyserlingk, 2017).

The Temperature–Humidity Index (THI) remains a practical indicator of thermal load at herd scale. Across multiple datasets, responses begin around $THI \approx 68$ in high-yielding cows—e.g., increased standing time and reductions in intake/milk yield—though inflection points vary with production level, lactation stage, and acclimation (Allen et al., 2015; Becker et al., 2020). Humid heat and wet-bulb metrics refine risk assessment where evaporative cooling is constrained (IPCC, 2021).

From a nutrition and water standpoint, heat elevates maintenance energy requirements and shifts energy partitioning; therefore, sustaining DMI and

lowering the heat increment of feeding are central. Diet densification with careful starch strategy, DCAD/electrolyte management to support acid–base balance, and antioxidant provisioning are commonly recommended. Critically, water access and quality (temperature, flow, and palatability limits such as Fe–Mn–hardness) modulate the effectiveness of these strategies. Formulation and limits should be grounded in NASEM (2021) requirements and, for safety, NRC (2005) tolerances—especially where drinking water contributes to Na, SO_4^{2-} , or trace-metal loads that interact with diet (NASEM, 021; NRC, 2005).

3. ADAPTATION VIA FEEDING STRATEGIES

Heat stress simultaneously raises maintenance energy needs, lowers voluntary dry-matter intake (DMI), and alters rumen function via changes in behavior, saliva buffering, and microbial ecology (Becker et al., 2020). Nutritional adaptation pursues two goals: (1) sustain intake and rumen stability despite thermal load; and (2) reduce the heat increment of feeding so a greater share of metabolizable energy supports productive functions. These goals complement shade/ventilation/cooling, with coordinated nutrition–environment packages curbing losses and accelerating recovery after heat events (Polsky & von Keyserlingk, 2017).

Energy density and carbohydrate strategy. Because DMI declines under heat, raising dietary energy density helps defend energy balance—via higher-quality forages (greater digestibility), optimized forage-to-concentrate ratio while maintaining physically effective fiber (peNDF), judicious non-structural carbohydrate (NSC) supply, and moderate use of rumen-protected fats (NASEM, 2021). Overly unsaturated fat sources can depress fiber digestion; protected/saturated sources mitigate this risk (Grainger & Beauchemin, 2011).

Fiber quality and peNDF. Reduced cud-chewing under heat weakens endogenous buffering; adequate peNDF and higher NDF digestibility (NDFd) are therefore critical to maintain rumen mat and chewing activity without overly depressing energy density (NASEM 2021).

Buffers and DCAD/electrolytes. Heat increases bicarbonate losses via panting and alters acid–base balance. Raising DCAD with Na^+/K^+ sources and providing direct buffers (e.g., sodium bicarbonate with magnesium oxide) is

common practice. In many herds, DCAD is raised to $\sim +350\text{--}450$ mEq/kg DM during hot months, provided adequate effective fiber is present (NASEM, 2021). These adjustments must respect sodium/potassium tolerances and account for minerals supplied by drinking water (NRC, 2005).

Protein supply and amino acid balance. Under heat, N-use efficiency declines; diets should avoid excessive rumen-available N and synchronize degradable protein with fermentable carbohydrate, while maintaining metabolizable protein via RUP sources and—where warranted—rumen-protected lysine/methionine (NASEM, 2021; NRC, 2005).

Antioxidants and direct-fed microbials. Oxidative stress rises with heat; ensuring adequate vitamin E/selenium and key trace minerals is standard, and selected yeast cultures may help stabilize rumen pH and fiber digestion in some contexts (Hristov et al., 2013).

Feeding management and TMR hygiene. Delivering more feed during cooler hours, increasing push-ups, maintaining bunk access, and preventing TMR heating (e.g., via moisture management and, where appropriate, organic-acid preservatives) help align intake with lower ambient heat and reduce day-to-day variability (Polsky & von Keyserlingk, 2017; West, 2003).

Water access and quality. Abundant, cool, and palatable water with adequate linear trough space and flow is essential; Fe–Mn–hardness that limit palatability or foul lines can be managed with aeration/oxidation plus filtration, and softening/blending where necessary. Because Na and SO_4^{2-} from water contribute to total dietary load, laboratory reports should be integrated into formulation decisions—especially when DCAD is elevated (NRC, 2005).

Table 1. Example THI thresholds and expected production/behavioral responses

THI Range	Indicative Condition	Typical Responses	Notes
< 60	Thermoneutral	No consistent heat-stress responses	Monitor for humidity spikes
60–67	Mild heat load	Slight ↑ standing; minimal DMI/yield effects	Sensitive animals may respond
≈ 68–72	Moderate heat load	↓ DMI, ↓ milk yield; behavior changes	High-yield herds respond near ≈68
> 72	Severe heat load	Marked ↓ DMI and yield; fertility at risk	Cooling + nutrition strategies essential

4. MITIGATION OF GREENHOUSE GASES

Mitigation proceeds along two axes: diet-based strategies that directly reduce enteric methane (CH₄) and manure-management solutions that lower CH₄/ N₂O from stored and field-applied excreta. Diet strategies aim to reduce emission intensity while preserving performance; manure strategies target volatile solids and emission pathways (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021).

Key diet levers include protected fat (~2–3% added DM; ~2–4% CH₄ drop per 1% added fat), condensed tannins (~10–20%, variable), nitrate (~10–20% with careful adaptation), and 3-NOP (~20–40% with good repeatability) (Grainger & Beauchemin, 2011; Hristov et al., 2013; Hristov et al., 2015; Beauchemin et. al., 2020). Asparagopsis can achieve higher reductions but carries regulatory and residue considerations (Kinley et al., 2020).

Table 2. Diet- and manure-based mitigation options and typical effect sizes

Lever / Additive	Typical effect on enteric CH ₄ (%)	Typical inclusion / notes	Evidence & caveats
Higher forage quality (↑NDFd)	↓ intensity via yield	Better cutting/ensiling; optimize F:C with peNDF	Effect via productivity (Gerber et al., 2013)
Protected fat	~2–4% per 1% added fat; ~5–10% at ~2–3% added	~2–3% added (DM); monitor butterfat & intake	Source matters (Grainger & Beauchemin, 2011; Hristov et al., 2013)
Condensed tannins	~10–20% (variable)	Plant/source- and dose-dependent	Standardization; context dependence (Jayanegara et al., 2018)

Nitrate (partial replacement)	~10–20% (with adaptation)	Stepwise adaptation; monitor methemoglobin	Safety critical (van Lingen et al., 2016)
3-NOP	~20–40% (consistent)	Label dose; homogeneous mixing	Good repeatability (Hristov et al., 2015; Beauchemin et al., 2020)
Asparagopsis (bromoform)	Up to >50% (variable)	Regulatory and supply constraints	Food-safety/residue questions (Kinley et al., 2020)
Anaerobic digestion (manure)	Storage CH ₄ ↓ substantially	Covered digesters; energy co-benefit	Manage post-digestion N ₂ O (IPCC, 2021)

5. FEED SYSTEMS AND SUPPLY CHAINS (LCA)

Life-cycle assessment (LCA) provides a systems lens to quantify greenhouse-gas (GHG) emissions across the feed–animal–manure continuum and to identify ‘hot spots’ where mitigation delivers the largest returns per unit of product. In ruminant supply chains, enteric methane is typically the largest single source, but feed production, transport, and manure handling also contribute substantially depending on region, feeding systems, and allocation choices (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021).

System boundaries and functional unit. For dairy, a common functional unit is g CO₂e per kg energy-corrected milk (ECM). A cradle-to-farm-gate boundary attributes emissions from feed cultivation (on- and off-farm), feed processing and transport, enteric CH₄, on-farm energy, and manure storage/application; downstream processing and retail are sometimes considered in expanded boundaries (Gerber et al., 2013). Allocation among co-products (e.g., milk vs meat; manure as fertilizer) materially influences results; economic or biophysical allocation is standard practice, and sensitivity analysis is recommended (Poore & Nemecek, 2018).

Hot spots in feed production. Feed-related emissions arise from field operations, fertilizer manufacture and use (notably N₂O from soils), irrigation energy, and land-use change (LUC) risks for certain commodities. High-N input systems can experience elevated N₂O intensity if N-use efficiency is poor. Conversely, improved forage quality and home-grown forages with high digestibility can reduce both feed purchase footprint and enteric CH₄ intensity

via productivity gains (Gerber et al., 2013; Poore & Nemecek, 2018). Where by-products (e.g., distillers grains, beet pulp) displace primary crops without inducing additional LUC, overall intensity can decrease as part of circular feed strategies (Poore & Nemecek, 2018).

Transport and processing. Relative to cultivation and enteric/manure sources, transport burdens are usually modest per kg product, yet they can be material in long-haul concentrate supply chains. Pelleting/extrusion can raise feed-conversion efficiency but adds energy demand; net effects should be evaluated case by case (Gerber et al., 2013).

Enteric–feed interactions in LCA. Because enteric CH₄ per animal is partially a function of diet fermentability and intake, feed interventions that raise yield (kg ECM per cow per day) often reduce emission intensity even if absolute CH₄ changes little—the ‘dilution’ effect. Thus, LCA underscores that interventions delivering sustained productivity (e.g., higher NDF digestibility, amino-acid balanced rations, water-quality enabling higher DMI) frequently outperform measures with short-lived or inconsistent effects (Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2013).

Manure management within LCA. Storage method (e.g., deep-pit vs covered lagoon), temperature, and volatile solids flow determine CH₄ from manure; solid–liquid separation, crusting/covers, and anaerobic digestion can markedly reduce storage emissions. However, post-digestion handling and field application influence N₂O; integrating nitrification inhibitors or timely incorporation can mitigate trade-offs (IPCC, 2021). Nutrient recycling credits (fertilizer offsets) should be transparently reported with assumptions (Gerber et al., 2013).

Water, drought, and feed risks. Climate variability affects forage yield/quality and irrigation needs, shifting both enteric and feed-production footprints. Drought can increase purchased feed miles and reliance on concentrates; proactive forage planning, drought-tolerant cultivars, and water-saving irrigation (where relevant) help stabilize both emissions and costs (IPCC, 2021).

Methodological choices and comparability. Reported footprints differ with databases (emission factors), soil N₂O models, and allocation. Best practice includes: (i) transparent boundary and allocation statements; (ii) uncertainty ranges; (iii) region-specific emission factors for fertilizer and electricity; and (iv) sensitivity analysis for feed mixes and productivity assumptions (Poore & Nemecek, 2018; IPCC, 2021).

Prioritized levers from an LCA perspective. First, protect productivity through forage quality and balanced rations; second, deploy repeatable enteric mitigators (e.g., 3-NOP, protected fats) when compatible with diet and regulation; third, reduce feed N₂O via improved N management and consider by-products where truly additionality-free; fourth, upgrade manure storage to reduce CH₄ and recover energy (biogas), while managing downstream N₂O; fifth, align procurement with verified low-LUC commodities and credible certification (Gerber et al., 2013; Poore & Nemecek, 2018; IPCC, 2021).

Evidence from global syntheses. Large harmonized datasets show wide between-system variation in dairy/beef footprints driven by yield, feed conversion, and manure-storage regimes; improving productivity in low-yield systems yields the largest intensity gains, while high-yield systems benefit most from targeted diet and manure technologies (Poore & Nemecek, 2018; Gerber et al., 2013). Regional studies align with this pattern, highlighting the primacy of feed quality and manure storage in temperate dairies, and grazing management and enteric CH₄ in extensive systems.

Table 3. LCA hot spots and practical levers (cradle-to-farm-gate)

Supply-chain stage	Main drivers	Typical share (directional)	High-impact levers
Feed cultivation	Fertilizer N ₂ O; field energy; LUC risk	Low–high (context)	Improve N-use efficiency; high-NDFd forages; credible low-LUC sourcing; by-products
Feed processing/transport	Thermal/electric energy; long-haul freight	Low–moderate	Optimize logistics; evaluate pelleting vs efficiency gains
Enteric fermentation	Diet fermentability; intake; animal productivity	High (often dominant)	Higher forage quality; 3-NOP; protected fats; AA balancing

Manure storage	Volatile solids; temperature; storage type	Low–high (climate- dependent)	Covers/crusting; anaerobic digestion; solid–liquid separation
Field application	N ₂ O from soils; timing; method	Low–moderate	Rapid incorporation; nitrification inhibitors; align to crop demand

6. PRECISION NUTRITION AND DIGITAL TOOLS

Precision nutrition integrates sensor data, on-farm analytics, and nutritional models to tailor rations and management to dynamic animal and environment signals. In heat- and climate-constrained systems, precision tools help maintain intake, stabilize rumen function, and document greenhouse-gas (GHG) intensity metrics. The approach hinges on three pillars: (i) high-frequency measurements (behavior, intake proxies, rumination, activity, microclimate); (ii) predictive/diagnostic models (intake, CH₄ proxies, nitrogen-use efficiency, risk alerts); and (iii) workflow integration that translates signals into timely ration and management adjustments (Caja et al., 2016; Knapp, Laur, Vadas, Weiss, & Tricarico, 2014).

High-frequency behavioral and intake proxies. Accelerometer-based collars/ear-tags and rumination sensors capture changes in activity, lying/standing bouts, and chewing that precede measurable declines in dry-matter intake (DMI) under heat. Rumination minutes/day, bunk visit patterns, and feeding-time redistribution toward cooler hours are robust indicators of thermal strain and ration sortability. Near real time bunk data (push-up counts, feed refusals by orts auditing) improve precision of DMI estimates used in formulation updates (Caja et al., 2016). Combined with parlor milk-yield streams, component data, and milk urea nitrogen (MUN), the system can flag imbalances in energy–protein synchronization and estimate nitrogen-use efficiency (NUE).

Enteric CH₄ quantification and proxies. Gold-standard respiration chambers are impractical for routine farm use; thus, GreenFeed systems, sniffer methods, and tracer techniques are used in research herds. For on-farm tracking, models using milk-recorded data and diet composition provide CH₄ intensity estimates (g CH₄/kg ECM) with adequate rank discrimination for management

decisions (Knapp et al., 2014). Milk mid-infrared (MIR) spectroscopy offers additional potential for CH₄ proxy development; integration with activity/rumination streams further enhances predictive power (van Gastelen & Dijkstra, 2016).

Nutritional decision support. Modern requirement systems (e.g., NASEM, 2021) include updated equations for DMI, energy, and amino acids under contemporary genetics. Embedding these equations in digital tools enables rapid recalculation of ration density, DCAD, and amino-acid balance as weather and intakes shift. Rule-based alerts can trigger pre-emptive actions—e.g., raise DCAD, swap to slower-fermenting starch, increase protected fats—when THI forecasts exceed thresholds or when rumination drops >10% day-over-day. Historical case studies show that proactive adjustments mitigate losses during heat waves and speed recovery once conditions normalize (Becker, Collier, & Stone, 2020; Knapp et al., 2014).

Water and microclimate telemetry. Precision water meters and temperature loggers at troughs quantify access, peak demand, and thermal load. Flow shortfalls or elevated water temperature correlate with intake depression; pairing water chemistry (Fe–Mn–hardness, SO₄²⁻, Na⁺) reports with DCAD targets avoids hidden electrolyte excess. Microclimate arrays (barn-level THI, airspeed at stalls, radiant load near waiting pens) guide placement of fans/foggers and inform feeding windows; data-driven cooling plus ration changes outperform either alone (Becker et al., 2020).

KPI design and benchmarking. Precision systems are most useful when key performance indicators (KPIs) connect signals to actions and outcomes. Common KPIs include CH₄ intensity (g CH₄/kg ECM), energy-corrected milk per cow per day, DMI tracking error (%), rumination minutes/day, milk urea nitrogen (mg/dL), and NUE (g milk-N/g N intake). From a mitigation standpoint, reporting product-based emissions (e.g., g CO₂e/kg ECM) aligned with life-cycle boundaries ensures comparability across herds and seasons (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021).

From sensors to rations: an iterative loop. A practical workflow is: (1) monitor THI/rumination/feeding patterns; (2) detect deviations (e.g., two-

standard-deviation drop in rumination, DMI warning, or THI>68 for 6 h); (3) apply predefined nutrition levers (DCAD↑, starch strategy shift, +protected fat, antioxidant top-up); (4) verify outcomes via yield/components and MUN/NUE within 72 h; and (5) institutionalize successful changes into a ‘summer ration’ template. The same loop applies in shoulder seasons to avoid over-conditioning when heat abates (Knapp et al., 2014; NASEM, 2021).

Data quality and governance. Sensor validity, calibration, and missing-data handling determine the credibility of precision nutrition programs. Routine ground-truthing (manual DMI checks, spot checks of rumination with observers), clear data ownership, and privacy-compliant cloud services are prerequisites for durable adoption (Caja et al., 2016).

Table 4. Precision KPIs and target bands for decision support

KPI	Definition / unit	Typical target band (illustrative)	Decision trigger
CH ₄ intensity	g CH ₄ /kg ECM	Herd-specific baseline; target ↓5–15% with levers	↑ vs baseline for 7 d → review diet/cooling
NUE	g milk-N / g N intake	0.25–0.35 (system-dependent)	NUE <0.25 or MUN >14 mg/dL → adjust CP/AA
Rumination	min/cow/day	450–550 (breed/stage dependent)	↓ ≥10% 24–48 h → raise DCAD/buffers; starch strategy
DMI tracking error	% (model vs measured)	<±5%	> 5 % for 3 d → recalibrate intakes/ration density
THI exposure	h/day above 68	As low as feasible	≥6 h/day for 2 d → deploy heat-playbook changes
Water access	L/cow/day & trough temp	Ad libitum; ≤20°C	Flow bottlenecks or temp >25°C → intervene

7. POLICY AND ADOPTION PATHWAYS

Accelerating mitigation and adaptation in ruminant systems requires aligning farm-level incentives, supply-chain programs, and public policy so that evidence-based practices diffuse beyond early adopters. Three enabling pillars recur across regions: (i) credible measurement, reporting, and

verification (MRV) frameworks that translate on-farm actions into recognized emissions outcomes; (ii) risk-aware finance that lowers the cost of adoption and rewards performance; and (iii) knowledge ecosystems—extension, nutritionists, veterinarians, and advisors—that convert science into local playbooks (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021; Rogers, 2003).

MRV and target-setting. Product-based intensity metrics (e.g., g CO₂e/kg ECM) anchored in transparent LCA boundaries improve comparability and eligibility for incentives (ISO 14040/44; Poore & Nemecek, 2018). Sector initiatives such as the Science Based Targets initiative—FLAG create roadmaps for land-based emissions and removals, while national inventories increasingly incorporate updated enteric and manure methodologies (IPCC, 2021). On farms, pairing routine milk records with ration logs and cooling/water telemetry provides practical MRV inputs for programs focused on enteric CH₄ intensity (Knapp et al., 2014).

Incentives and finance. Adoption is sensitive to net returns and risk. Cost-share support for anaerobic digestion, manure covers, and water/feeding infrastructure reduces upfront barriers, while pay-for-performance schemes reward verified reductions (e.g., sustained CH₄ intensity decreases under defined baselines) (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021). Private supply-chain procurement standards increasingly credit verified low-LUC feeds and diet-based CH₄ reductions; clear baselines and leakage safeguards are essential (Poore & Nemecek, 2018).

Knowledge systems and co-design. Effective uptake depends on co-development with producers—aligning ration changes with workflow, animal health, and processor requirements. Diffusion theory predicts higher adoption when innovations offer relative advantage, compatibility, trialability, and observability (Rogers, 2003). Producer-led trials, benchmarking clubs, and decision dashboards increase observability; small-scale pilots enhance trialability; and nutritionists close the compatibility gap by tailoring rations to local forage, water chemistry, and climate (Caja et al., 2016; Knapp et al., 2014).

Guardrails and trade-offs. Policies should prevent problem shifting—e.g., enteric CH₄ reductions that increase manure N₂O or feed changes that raise LUC risk. Standards call for reporting uncertainty ranges, allocation choices, and system boundaries alongside results (ISO 14040/44; IPCC, 2021). For diet additives (nitrate, 3-NOP, Asparagopsis), food-safety and residue rules,

animal-welfare safeguards, and contingency plans for supply variability are prerequisites for large-scale programs (Hristov et al., 2015; Kinley et al., 2020).

8. CONCLUSIONS AND RESEARCH GAPS

Heat and climate constraints are reshaping the feasible space of ruminant nutrition. Evidence across hundreds of trials shows that productivity-protecting diets (higher forage digestibility, amino-acid balanced protein, protected fats) and repeatable mitigators (e.g., 3-NOP) can materially lower emission intensity while safeguarding performance—especially when integrated with water quality, cooling, and manure upgrades (Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2015; Beauchemin et al., 2020). Life-cycle perspectives highlight that the largest, most durable gains flow from interventions that lift yield and avoid leakage across enteric/manure/feed domains (Poore & Nemecek, 2018; IPCC, 2021).

Research priorities include: (1) Context-robust effect sizes for tannins, nitrate, and seaweeds across diets, climates, and genetics; (2) Long-run persistence and carryover of mitigation effects, including interactions with reproduction and health; (3) Water–diet synergies, quantifying how Fe–Mn–hardness and sulfate from water modulate DCAD, intake, and additive efficacy; (4) Precision proxies for on-farm CH₄/N₂O MRV (e.g., MIR-based models integrated with behavior sensors), with open benchmarks; (5) Scalable MRV and finance architectures that align farm economics with climate outcomes while managing LUC and residue risks (Knapp et al., 2014; van Gastelen & Dijkstra, 2016; IPCC, 2021).

Bottom line. A package approach—feed quality and ration design, precision water and cooling, proven enteric mitigators, and manure CH₄ controls—delivers additive, monitorable benefits. With credible MRV and risk-aware finance, diffusion beyond early adopters can align herd-level resilience with supply-chain climate goals (Gerber et al., 2013; IPCC, 2021).

REFERENCES

- Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J., & Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 118–127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>
- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis—lessons learned and future challenges. *Animal*, 14(S1), s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 6751–6770. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17920>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO.
- Grainger, C., & Beauchemin, K. A. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered by dietary means? *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 308–320. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019>
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P. J., Henderson, B., & Tricarico, J. M. (2013). Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045–5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., ... Moate, P. J. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emissions from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2018). Divergence over time of in vitro rumen fermentation characteristics and microbial

- population in response to tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1–4), 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.06.011>
- Kinley, R. D., de Nys, R., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2020). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural feed additive to reduce enteric methane. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120862>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
- National Research Council. (2005). *Mineral tolerance of animals* (2nd rev. ed.). National Academies Press.
- Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86(E. Suppl.), E52–E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Caja, G., Castro-Costa, A., & Knight, C. H. (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83(2), 136–147. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- van Gastelen, S., & Dijkstra, J. (2016). A literature overview of methane emission measurement techniques in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.008>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.

ISO. (2006). ISO 14040:2006 Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework; ISO 14044:2006 Life cycle assessment—Requirements and guidelines.

BÖLÜM 11

YENİ ORTAYA ÇIKAN KİRLLETİCİLERİN HAYVAN BESLEMEDE ÖNEMİ: KAYNAKAR, ETKİLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM PERSPEKTİFLERİ

Cemal BUDAĞ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132318>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Ana Bilim Dalı, Van, Türkiye. cbudag@yyu.edu.tr Orcid ID: 0000-0003-3532-7727

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan nüfus, sanayileşme, ilaç ve kimyasal üretimindeki çeşitlilik, çevreye yeni türde kirleticilerin girmesine yol açmıştır. Bu bağlamda “ortaya çıkan kirleticiler” (emerging contaminants – ECs) terimi, geleneksel izleme ve mevzuat sistemlerinin kapsamı dışında kalan, fakat çevresel ve biyolojik etkileri giderek önem kazanan bileşikler tanımlamak için kullanılmaktadır (Li ve ark., 2024). EC’ler arasında ilaç kalıntıları, veteriner tıbbi ürünleri, endokrin bozucu kimyasallar, nanomalzemeler, mikro/nanoplastikler, alev geciktiriciler, pestisit türevleri ve yeni mykotoksinler gibi çok çeşitli gruplar yer almaktadır.

Bu bileşiklerin ortak özelliği, genellikle düşük derişimlerde bulunmalarına rağmen uzun süre çevrede kalabilmeleri, biyobirikim gösterebilmeleri ve karmaşık toksik etkiler yaratabilmeleridir. Geleneksel su ve yem kalite izleme sistemleri çoğu kez bu maddeleri tespit etmek için yeterli duyarlılığa sahip değildir. Son yıllarda analitik kimya alanında kaydedilen ilerlemeler (örneğin LC–MS/MS, yüksek çözünürlüklü MS, sensör teknolojileri) sayesinde çevresel örneklerde ng/L düzeyinde bile EC’lerin varlığı doğrulanabilmiştir (Patel ve ark., 2019).

EC’lerin önemi yalnızca çevre toksikolojisi ile sınırlı değildir; tarımsal üretim, gıda güvenliği ve halk sağlığı üzerinde de çok katmanlı etkiler yaratmaktadır. Hayvan besleme sistemleri, bu kirleticilerin çevreden biyosfere geçişinde kilit bir “ara basamak” niteliğindedir. Tarım arazilerinin sulanması, organik gübrelerin ve biyokatıların yem bitkisi üretiminde kullanılması, kirleticilerin doğrudan hayvan diyetine karışmasına neden olmaktadır (Kolawole ve ark., 2024).

Modern hayvancılıkta kullanılan karma yemler çok farklı kaynaklardan gelen bileşenlerin karışımından oluşur; bu da kontaminasyon riskini artırır. Özellikle ithal soya küspesi, mısır gluteni, balık unu, melas gibi bileşenlerde antibiyotik, pestisit ya da endokrin bozucu kalıntılara rastlanabilmektedir (Zhang ve ark., 2022). Ayrıca, içme ve sulama sularında görülen farmasötik kalıntılar, polimer türevleri ve deterjan bileşenleri de hayvanların su tüketimi yoluyla sistematik maruziyet yaratır (FAO, 2021).

Bu nedenle EC’lerin hayvan besleme perspektifinden incelenmesi, yalnızca yem kalitesiyle değil, aynı zamanda One Health çerçevesinde çevre–hayvan–insan etkileşimini anlamak açısından da kritik bir öneme sahiptir. Bir başka ifadeyle, EC’ler klasik anlamda “kimyasal riskler” olmanın ötesinde,

gıda güvenliği zincirinin bütün aşamalarını etkileyen çok boyutlu unsurlardır (Geissen ve ark., 2015).

Geleneksel kirleticiler (nitrat, ağır metaller, pestisitler gibi) büyük ölçüde düzenlenmiş ve izlenebilir hâle gelirken, EC'lerin çoğu henüz herhangi bir mevzuat sınırıyla tanımlanmamıştır. Avrupa Birliği'nin 2015 yılında yayımladığı "Watch List for Emerging Pollutants" belgesi, estron, 17 β -estradiol, diklofenak ve makrolid antibiyotikler gibi bazı EC'leri izleme kapsamına almış, ancak hayvansal beslenme özelinde herhangi bir limit belirlememiştir (European Environment Agency [EEA], 2015).

Hayvan besleme açısından bakıldığında, EC'lerin önemi dört temel eksenle toplanabilir:

1. Besin zincirine giriş yolları: Toprak, su, yem ve hava yoluyla kirletici transferi (Wang ve ark., 2024).
2. Hayvan sağlığı üzerindeki doğrudan etkiler: Sindirim, üreme, bağışıklık sisteminde bozulmalar (Santos ve ark., 2025).
3. Hayvansal ürünlerde kalıntı riski: Süt, et ve yumurta yoluyla insanlara geçiş (Salvatore ve Ferrer, 2025).
4. Ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik: Üretim verimliliği ve çevre kalitesi üzerindeki etkiler (Khalifa ve ark., 2024).

Bu çalışma, EC'lerin hayvan besleme sistemlerindeki varlığını ve etkilerini çok yönlü biçimde inceleyerek, mevcut bilimsel bulguları bir araya getirmeyi ve gelecek araştırmalar için bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

1. YENİ ORTAYA ÇIKAN KİRLETİCİLERİN KAYNAKLARI VE YAYILIM YOLLARI

EC'lerin çevreye girişi çoğunlukla noktasal olmayan kaynaklardan gerçekleşir. Endüstriyel atık sular, evsel atıklar, tarımsal drenaj, ilaç ve kozmetik üretimi, plastik kullanımı, veteriner uygulamaları gibi geniş bir alan EC'lerin potansiyel kaynağıdır. Bu bileşikler doğal bozunmaya dirençli olduklarından, çevrede uzun süre kalabilir ve çeşitli yollarla yem zincirine karışabilir (Li ve ark., 2024).

1.1. Tarımsal ve Endüstriyel Kaynaklar

Modern tarımda kullanılan pestisitler, gübre katkıları, veteriner ilaçları ve endüstriyel kimyasallar EC'lerin başlıca tarımsal kaynaklarını oluşturur. Özellikle antibiyotikler ve büyüme düzenleyicileri, hayvan beslemede uzun yıllar boyunca verim artırıcı olarak kullanılmıştır. Bu maddeler metabolize

edilmeden dışkı yoluyla çevreye atıldığında, toprağa ve suya karışarak yeniden yem bitkilerine dönerler (Abdallah ve ark., 2022).

Endüstriyel süreçlerde kullanılan alev geciktiriciler, nonilfenoller ve ftalatlar gibi bileşikler de yem hammaddelerinin üretim zincirine istemsiz biçimde dâhil olabilir. Örneğin, gıda ambalajlarından veya depolama tanklarından sızan ftalatların yemlerde bulunduğu gösterilmiştir (Patel ve ark., 2020).

1.2. Atık Su ve Sulama Sistemleri

EC'lerin çevresel döngüde en yaygın taşınma yolu atık sulardır. Kentsel ve endüstriyel atık suların büyük kısmı konvansiyonel arıtma tesislerinde yalnızca kısmen uzaklaştırılır. Özellikle ilaç kalıntıları ve hormon benzeri bileşikler, arıtma proseslerinden sonra dahi sucul sistemlerde varlığını sürdürebilir. Bu suların sulama amacıyla kullanılması, kirleticilerin yem bitkilerine geçişini hızlandırır (García-Rodríguez ve ark., 2014).

Sulama suyundaki EC'ler yaprak ve kök dokularına taşınabilir, oradan hayvanların tükettiği yemlere geçebilir. Araştırmalar, sulama suyunda ng/L düzeyinde tespit edilen diklofenak, karbamazepin ve 17 β -estradiol'ün bitki dokularında μ g/kg seviyelerine kadar biriktiğini göstermiştir. Bu birikim, özellikle yonca ve mısır silajı gibi su tüketimi yüksek yemlerde daha belirgindir (Li ve ark., 2024).

1.3. Biyokatılar, Gübreler ve Toprak Kontaminasyonu

Atık su arıtma tesislerinden elde edilen biyokatılar (çamur ve kompostlar), tarımda organik gübre olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu materyaller, EC'lerin önemli birikim alanıdır. Çalışmalar, arıtma çamurlarında antibiyotik kalıntılarının mg/kg düzeyinde olabildiğini ve toprağa uygulandığında uzun süre aktif kaldığını göstermektedir (Kolawole ve ark., 2024).

Ayrıca hayvan dışkıları da EC'lerin döngüsünde kritik rol oynar. Tedavi amaçlı kullanılan antibiyotikler ve antiparaziterler, dışkı ve idrar yoluyla ortama atıldığında, toprak mikrobiyotası üzerinde baskılayıcı etki yaratır. Bu durum, rumen ve toprak mikrobiyotasında benzer direnç genlerinin yayılımını kolaylaştırarak "rezistom"un tarım sistemine taşınmasına yol açar (Abdallah ve ark., 2022).

1.4. Yem Hammaddesi ve Su Yoluyla Maruziyet

EC'lerin hayvanlara ulaşmasında iki ana taşıyıcı ortam vardır: yem ve su. Yem hammaddeleri, özellikle ithal soya küspesi, mısır gluteni, pamuk tohumu küspesi gibi bileşenler; üretim bölgelerinde kullanılan pestisitler ve endüstriyel atıklar nedeniyle EC kalıntıları içerebilir. Küresel bir tarama çalışmasında, analiz edilen yemlerin %42'sinde emerging mykotoksinlere (enniatinler, beauvericin, moniliformin) rastlandığını bildirmiştir (Kolawole et al. 2024).

Su kaynakları ise EC'lerin taşınımında ayrı bir risk alanıdır. FAO (2021) verilerine göre, hayvansal üretim için kullanılan suların önemli bir bölümü geri dönüştürülmüş veya yüzeysel sulardan temin edilmektedir. Bu sular, hem pestisit hem de farmasötik kalıntılar içerebilir. İçme suyunda saptanan nonilfenol, triklosan ve bisfenol-A gibi bileşiklerin ruminantlarda hormonal yanıtları etkilediği, süt verimini ve doğurganlık parametrelerini düşürebildiği belirtilmiştir (Patel ve ark., 2020).

1.5. Yem İşleme ve Depolama Kaynaklı Kontaminasyon

Yemlerin üretim, taşıma ve depolama aşamalarında kullanılan plastik ambalajlar, katkı malzemeleri ve yağlayıcılar EC'lerin başka bir kaynağıdır. Özellikle polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET) kaplardan sızan ftalat ve bisfenol A kalıntıları, yemlerde $\mu\text{g/kg}$ düzeyinde ölçülmüştür. Bunun yanında yüksek sıcaklıkta preslenen pelet yemlerde organik kirleticilerin ısıl bozunma ürünleri de oluşabilir (Li ve ark., 2024).

Depolama ortamındaki nem ve mikrobiyal aktivite, özellikle yeni mykotoksinlerin oluşumunu tetikler. Bu toksinler henüz mevzuatla sınırlandırılmadığı için “gizli risk” olarak kabul edilmektedir (Kolawole ve ark., 2024).

1.6. Hava Yolu ve Atmosferik Taşınım

Son yıllarda EC'lerin havada taşınabildiği de gösterilmiştir. Aerosol parçacıklar ve tozlar, özellikle kurak bölgelerde pestisit ve ilaç kalıntılarının yem alanlarına ulaşmasına neden olabilir. Rüzgâr ve yağış taşınımı ile EC'ler uzak bölgelere ulaşabilir; böylece kirletici kontrolü yalnızca yerel düzeyde değil, bölgesel politikalarla da ele alınmalıdır (Boahen ve ark., 2025).

1.7. Karmaşık Maruziyet ve Etkileşimler

Gerçekte hayvanlar tek bir kirleticie değil, birçok bileşiğin karışımına aynı anda maruz kalırlar. Bu durum, additif veya sinerjistik etkilerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Örneğin, antibiyotik kalıntıları ile mikroplastiklerin birlikte bulunması, ilaç taşınımını kolaylaştırarak direnç gelişimini artırabilir. Aynı şekilde, EDC'lerin ve pestisitlerin birlikte varlığı hormonal etkileri şiddetlendirebilir (Patel ve ark., 2020).

Bu nedenle hayvan besleme sistemlerinde EC maruziyetini değerlendirirken, tekil kirleticilerden ziyade “toplam karışım etkisi” yaklaşımı benimsenmelidir (Gaudin, 2017). Bu yaklaşım, gelecekte risk modellemelerinde önem kazanacaktır.

2. KİRLETİCİ GRUPLARI VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ortaya çıkan kirleticiler (ECs), kimyasal yapılarına, çevresel kalıcılıklarına ve biyolojik etki mekanizmalarına göre çok geniş bir yelpazede sınıflandırılır. Bu bileşikler, genellikle polar, düşük molekül ağırlıklı ve biyolojik olarak aktif maddelerdir. Ayrıca, büyük bir kısmı biyolojik bozunmaya dirençli ve çevre ortamında (su, toprak, biyota) uzun süre kalabilir. Hayvan besleme açısından kritik dört grup, literatürde en sık tartışılan sınıflardır: (i) antibiyotikler ve veteriner ilaçları, (ii) endokrin bozucu bileşikler, (iii) mikro/nano-plastikler ve nanomalzemeler, (iv) yeni mykotoksinler ve kalıcı organik kirleticiler.

2.1. Antibiyotikler ve Veteriner İlaçları

Antibiyotikler, hayvancılıkta hem tedavi hem de performans artırma amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak bu uygulama, kalıntıların yem ve çevre ortamlarında birikmesine yol açarak antimikrobiyal direnç riskini güçlendirmektedir (Abdallah ve ark., 2022). Özellikle tetrasiklinler, sulfonamidler, makrolidler ve florokinolonlar gibi gruplar, arıtma sistemlerinden tam olarak uzaklaştırılamamakta ve çevrede ng/L–µg/L düzeylerinde tespit edilmektedir (Li ve ark., 2024).

Ruminantlarda antibiyotik maruziyeti, rumen mikrobiyotasının çeşitliliğini azaltarak lif sindirimi, uçucu yağ asidi (VFA) üretimi ve mikrobiyal protein sentezini olumsuz etkiler (Zhang ve ark., 2022). Monogastrik türlerde (özellikle domuz ve kanatlılarda) antibiyotik kalıntıları, bağırsak mukozasında inflamasyon ve mikrobiyal dengesizliklere neden olabilir. Uzun vadede antibiyotiklerin düşük dozda alınması, bakteriyel rezistomun (direnç gen

havuzu) besleme sistemi boyunca yayılmasına aracılık eder (García-Rodríguez ve ark., 2014).

Veteriner ilaç kalıntıları arasında antiparaziterler (ivermektin, albendazol gibi), non-steroidal antiinflamatuvarlar (diklofenak vd.) ve hormon türevleri de yer alır. Diklofenak gibi bileşiklerin karaciğer ve böbrek fonksiyonlarını baskıladığı, özellikle kanatlılarda akut toksisiteye neden olabileceği bilinmektedir (Patel ve ark., 2020).

2.2. Endokrin Bozucu Bileşikler (EDC)

Endokrin bozucu bileşikler, hormon sistemine müdahale ederek hayvanlarda üreme, gelişme, bağışıklık ve metabolik süreçleri etkileyen maddelerdir. Bu grup; bisfenoller, nonilfenoller, ftalatlar, pestisit türevleri, poliklorlu bifeniller (PCB'ler) ve bazı farmasötik hormon analoglarını içerir. EDC'ler, genellikle lipofilik özellikte olduklarından biyolojik dokularda birikir ve nesiller arası etkiler yaratabilir (Geissen ve ark., 2015).

Hayvan besleme açısından EDC'ler iki yönlü etki gösterir:

1. **Doğrudan etkiler:** Hormonal sistemde reseptör bağlanması veya gen ekspresyonunun değişmesiyle üreme fonksiyonlarını bozabilir. Örneğin, nonilfenol maruziyeti boğalarda sperm motilitesini düşürmekte, dişilerde östrus döngüsünü kısaltmaktadır (Li ve ark., 2024).

2. **Dolaylı etkiler:** EDC'ler oksidatif stres, bağışıklık baskılanması ve endokrin-metabolik dengesizlik yoluyla yemden yararlanma verimini azaltabilir (Boahen ve ark., 2025).

Bu bileşiklerin çevresel kalıcılığı oldukça yüksektir. Bisfenol-A'nın yarı ömrü toprakta 6 aydan fazla olabilir; ftalatlar ve nonilfenoller ise biyodegradasyona karşı dirençlidir. Hayvan vücudunda ise karaciğer ve yağ dokularında birikim eğilimi gösterirler (Boahen ve ark., 2025).

2.3. Mikro/Nano-Plastikler ve Nanomalzemeler

Son yıllarda mikro (1 μm –5 mm) ve nano (< 1 μm) plastiklerin çevresel ortamlarda ve gıda zincirinde yaygınlaştığı saptanmıştır. Mikroplastikler (MP'ler), yem bitkilerine, suya ve hayvansal ürünlere kadar ulaşabilmektedir. Yem karışımlarında polipropilen, polistiren, polietilen ve poliamid parçacıkları belirlenmiştir (Boahen ve ark., 2025).

Hayvanlar bu parçacıkları sindirim sırasında fiziksel ve kimyasal stres faktörü olarak algılar. Mikroplastikler bağırsak bariyerini bozabilir, mikrobiyota dengesini değiştirebilir ve kirleticileri adsorbe ederek “taşıyıcı” işlevi görebilir (Li ve ark., 2024). Antibiyotik veya ağır metal kalıntılarını yüzeylerinde biriktirdiklerinde, hayvanda sistemik toksisite riski artar.

Nanomalzemeler (örneğin gümüş, titanyum dioksit, çinko oksit nanoparçacıkları), tarımsal uygulamalarda ve yem katkı maddelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bunların biyolojik etkileşim potansiyeli ve uzun dönem toksikolojisi henüz tam aydınlatılamamıştır. Ruminantlarda nanoparçacık maruziyetinin rumen mikrobiyal enzim aktivitelerini azalttığı, sindirilebilirliği olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Abdallah ve ark., 2022).

2.4. Yeni Mykotoksinler Ve Kalıcı Organik Kirleticiler

Klasik mikotoksinler (aflatoksin, okratoksin, zearalenon, fumonisin) uzun süredir bilinse de, son yıllarda “emerging mycotoxins” adı altında tanımlanan enniatinler, beauvericin, moniliformin, fusaproliferin gibi toksinler ortaya çıkmıştır. Bu bileşikler, genellikle *Fusarium spp.* kaynaklıdır ve yemlerde yaygın biçimde tespit edilmektedir (Kolawole ve ark., 2024).

Yeni mikotoksinlerin toksik etkileri klasiklerden farklıdır: iyon kanallarında değişim, hücre membran geçirgenliği, mitokondriyal disfonksiyon gibi mekanizmalarla oksidatif stresi tetiklerler. Bu da bağışıklık sisteminde baskılanma ve yem tüketiminde azalma olarak yansır (Kim ve ark., 2023).

Kalıcı organik kirleticiler (POPs) ise kimyasal kararlılıkları nedeniyle çevrede uzun süre kalırlar. Poliklorlu bifeniller (PCB), polibromlu difenil eterler (PBDE) ve perfloroalkil maddeler (PFAS) gibi bileşikler, hem endüstriyel hem tarımsal kaynaklıdır. PFAS grubundaki perflorooktanoik asit (PFOA) ve perflorooktansülfonik asit (PFOS), süt ve yumurtalarda tespit edilmiştir (Li ve ark., 2024).

3. HAYVAN BESLEME SİSTEMİNDE MARUZİYET MEKANİZMALARI

Ortaya çıkan kirleticilerin hayvanlarda oluşturduğu etkiler, yalnızca dozla değil, maruziyet süresi, bileşiklerin biyoyararlanımı, biyotransformasyon yeteneği ve türler arası farklılıklarla da ilişkilidir. Bu nedenle EC’lerin hayvan besleme sistemlerindeki davranışı, hem toksikokinetik (emilim-dağılım-metabolizma-atılım) hem de fizyolojik süreçler üzerinden değerlendirilmelidir.

3.1. Emilim, Dağılım ve Biyobirikim

Kirleticilerin çoğu, sindirim kanalından pasif difüzyon veya taşıyıcı aracılı mekanizmalarla emilir. Lipofilik bileşikler (EDC’ler, POP’lar vd.) yağ dokularında birikme eğilimindedir. Hidrofilik bileşikler (antibiyotikler, farmasötikler vd.) ise genellikle idrarla atılır, fakat rumen ve karaciğerde metabolitleri birikebilir (Abdallah ve ark., 2022).

Biyobirikim katsayısı (BCF) yüksek olan bileşikler (> 1000), hayvan dokularında kalıcı hale gelir. PFAS, PCB ve bazı mikotoksinler bu gruba dâhildir. Ruminantlarda bu maddelerin süt ve yağ dokusunda birikimi, hayvansal ürünlerin insanlara kirletici taşıyıcısı haline gelmesine yol açabilir (FAO, 2021).

3.2. Mikrobiyota Etkileşimleri

Rumen mikrobiyotası, besleme fizyolojisinin merkezinde yer alır. EC’lerin birçoğu (özellikle antibiyotikler, EDC’ler ve nanomalzemeler) mikrobiyota dengesini bozabilir. Bu durum, fermentasyon süreçlerinde uçucu yağ asitleri (VFA) profili değişimlerine, metan üretiminde artışa ve sindirim verimliliğinde düşüşe neden olur (Zhang ve ark., 2022).

Mikro/nano-plastiklerin rumen veya bağırsak mikrobiyotasında **biyofilm benzeri** yapılar oluşturduğu, böylece diğer kirleticilerin (ağır metaller, pestisitler vd.) adsorpsiyonunu artırdığı saptanmıştır (Boahen ve ark., 2025). Bu “taşıyıcı etki”, antibiyotik kalıntılarıyla birleştiğinde direnç genlerinin taşınmasını kolaylaştırır (García-Rodríguez ve ark., 2014).

3.3. Tür Bazında Duyarlılıklar

Ruminantlar

Ruminantlar, yüksek mikrobiyal aktiviteye sahip sindirim sistemleri nedeniyle hem bozunma hem biyotransformasyon kapasitesine sahiptir. Ancak bu durum EC’lerin tamamen zararsız hale getirildiği anlamına gelmez. Bazı antibiyotikler (monensin, oksitetrasiklin vd.) rumende parçalanmaz, dolayısıyla mikrobiyal flora üzerinde uzun süreli baskı oluşturabilir. Rumen sıvısında oluşan sekonder metabolitler, bazen orijinal bileşikten daha toksik olabilir. Örneğin, diklofenak metabolitleri karaciğer toksisitesini artırabilir (Patel ve ark., 2020).

Monogastrikler

Domuz ve kanatlı türleri, EC'lere karşı daha hassas kabul edilir. Çünkü bağırsak florası çeşitliliği düşüktür ve karaciğer metabolizma kapasitesi ruminantlara kıyasla daha sınırlıdır. Mykotoksinler bu türlerde yem alımını hızla azaltabilir (Kim ve ark., 2023).

Su Ürünleri ve Diğer Türler

Akuatik hayvanlarda EC birikimi daha belirgindir; çünkü maruziyet hem yem hem de su (ortam) yoluyla gerçekleşir. Mikroplastiklerin balık ve karideslerde sindirim dokularında biriktiği, kas dokusuna geçtiği rapor edilmiştir. Bu durum, su ürünlerinin yem katkısı olarak kullanılmasında zincirleme kirlenici aktarımı riskini artırır (Li ve ark., 2024).

3.4. Kombine ve Kronik Maruziyet Etkileri

Hayvan beslemede EC'lerin çoğu düşük dozda fakat sürekli maruziyet şeklinde etki gösterir. Kronik maruziyet, kısa süreli toksik etki göstermese de uzun vadede fizyolojik dengesizlik yaratır. EDC'lerin ve farmasötik kalıntıların uzun süreli düşük doz maruziyeti, hipotalamus-hipofiz-gonad ekseninde hormonal değişimlere yol açabilir (Li ve ark., 2024).

Ayrıca, kirlenici arasındaki sinerjistik etkileşimler önemlidir. Örneğin, zearalenon ve nonilfenol kombinasyonu dişilerde östrus döngüsünü kısaltırken, erkeklerde sperm üretimini düşürür (Kolawole ve ark., 2024). Benzer şekilde antibiyotiklerle mikroplastiklerin birlikte bulunması, bağırsakta ilaçların adsorpsiyonunu artırarak toksisiteyi güçlendirebilir (Boahen ve ark., 2025).

3.5. Biyotransformasyon ve Atılım

Hayvan organizmaları EC'leri genellikle karaciğer mikrozomal enzimleri aracılığıyla detoksifiye eder. Ancak bazı bileşikler, faz-I metabolizmasında toksik ara ürünler oluşturabilir. Örneğin, diklofenak metabolitleri oksidatif stres ve doku nekrozuna neden olabilir (Patel ve ark., 2020). EDC'lerin konjugasyon yoluyla glukuronid veya sülfat türevlerine dönüştürülmesi mümkündür, ancak bu metabolitler de idrar veya süt yoluyla çevreye yeniden girebilir. Bu da EC'lerin kapalı döngüsel bir çevrim oluşturduğunu göstermektedir (FAO, 2021).

4. HAYVAN BESLEME VE FİZYOLOJİK ETKİLER

Ortaya çıkan kirleticiler, hayvan besleme süreçlerinde yalnızca kimyasal kirlilik riski değil, aynı zamanda fizyolojik, biyokimyasal ve üretimsel dengesizliklerin de kaynağıdır. Bu bileşikler; sindirim sistemi, endokrin mekanizmalar, üreme ve bağışıklık sistemleri üzerinde çok yönlü etkiler oluşturur. Etkilerin şiddeti, maruziyet süresi, tür farkı, yaş, fizyolojik durum ve kirleticinin kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir (Li ve ark., 2024).

4.1. Yem Alımı ve Yemden Yararlanma (Feed Conversion Ratio, FCR)

Yem alımı ve yemden yararlanma oranı, besleme verimliliğinin en temel göstergeleridir. EC'ler, hem doğrudan iştah üzerine etkili olabilir hem de metabolik süreçlerde bozulmaya yol açarak yemden yararlanmayı düşürebilir. Mikotoksinler ve emerging mykotoksinler bu açıdan öne çıkar. Enniatinler ve beauvericin, hayvanlarda hücre zarında iyon geçişini bozarak iştah kaybı, ishal ve su tüketiminde azalma gibi semptomlar yaratır (Kolawole ve ark., 2024). Deneysel çalışmalarda ruminantlarda zearalenon ve moniliformin maruziyetinin yemden yararlanmayı %8–15 oranında azalttığı, monogastriklerde bu düşüşün %20'yi bulduğu bildirilmiştir (Kim ve ark., 2023).

Endokrin bozucular (EDC), metabolik hormonların regülasyonunu değiştirerek yem tüketimini dolaylı biçimde etkiler. Nonilfenol, bisfenol A ve ftalatların insülin-tiroid eksenine müdahale ettiği, leptin sinyalini baskılayarak hayvanlarda beslenme davranışlarını değiştirdiği saptanmıştır (Li ve ark., 2024). Bu durum büyüme geriliği ve yemden yararlanma kaybı şeklinde sonuçlanır. Antibiyotik kalıntıları da rumen veya bağırsak mikrobiyotasında flora dengesizliği yaratarak sindirilebilirliği düşürür. Özellikle oksitetrasiklin ve makrolid kalıntıları, nişasta fermentasyonunda görevli bakterilerin sayısını azaltarak VFA üretimini düşürür. Böylece enerji kaynağı olarak kullanılabilir uçucu asit miktarı azalır, yemden yararlanma kötüleşir (Zhang ve ark., 2022).

4.2. Rumen Fermantasyonu, Sindirim ve Mikrobiyal Denge

EC'lerin sindirim sistemi üzerindeki en kritik etkisi, mikrobiyota kompozisyonunun değişmesidir. Ruminantlarda bu denge bozulduğunda, fermentasyon parametreleri (pH, amonyak-N, VFA oranları) doğrudan etkilenir.

- Antibiyotikler: Düşük doz antibiyotik maruziyeti rumen bakteriyel çeşitliliğini %30'a kadar azaltabilir. Bu durum, özellikle selüloolitik

bakterilerde kayıplara yol açarak lif sindirimini sınırlar (Abdallah ve ark., 2022).

- Mikroplastikler ve nanomalzemeler: Bu parçacıklar, rumen yüzeyine tutunarak biyofilm benzeri tabakalar oluşturur. Böylece besin maddelerinin mikroorganizmalara ulaşımı zorlaşır. Ayrıca mikroplastik yüzeyine adsorbe olan toksinler mikrobiyal enzimleri inhibe edebilir (Boahen ve ark., 2025).
- EDC'ler: Rumende mikrobiyal enzim aktivitelerini baskılayabilir, özellikle β -glukuronidaz aktivitesini düşürür. Bu da bazı toksinlerin konjugasyonla atılımını engeller.

Rumen dışı sindirim sisteminde de EC etkileri gözlenir. Monogastriklerde (tavuk, domuz vd.) antibiyotik kalıntıları bağırsak mikrobiyotasında disbiyozise yol açar; yararlı bakterilerin (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) azalmasıyla patojen mikroorganizmalar çoğalır. Bu durum, besin emilimini azaltırken bağırsak geçirgenliğini artırır ("leaky gut" sendromu) (Kim ve ark., 2023).

4.3. Üreme ve Endokrin Sistem Üzerindeki Etkiler

Endokrin bozucuların hayvansal üretim üzerindeki etkisi, literatürde en geniş belgelenmiş alanlardan biridir. EDC'ler östrojen, androjen, tiroid ve glukokortikoid reseptörleriyle etkileşime girerek hormonal dengeyi bozar (Geissen ve ark., 2015).

Ruminantlarda östrojen benzeri bileşikler (zearalenon, bisfenol A vd.) uterus gelişimini değiştirir, östrus döngüsünü bozar, gebelik oranını düşürür. Sığır sürülerinde zearalenon içeren yemlerin kullanıldığı işletmelerde doğurganlık oranının %10–18 azaldığı bildirilmiştir (Patel ve ark., 2020).

Erkek hayvanlarda nonilfenol ve ftalat maruziyeti testis ağırlığında azalma, sperm sayısında düşme ve motilite kaybına neden olur (Li ve ark., 2024). Hormon sentezinde görevli genlerin ekspresyonu da baskılanabilir. Kanatlılarda ise EDC'lerin dişi bireylerde cinsiyet oranını değiştirdiği, yumurtlama sıklığını azalttığı rapor edilmiştir (Kolawole ve ark., 2024).

4.4. Bağışıklık Sistemi ve Oksidatif Stres

EC'lerin bir diğer önemli etkisi, bağışıklık sistemi baskılanması ve oksidatif stresin artmasıdır. Özellikle farmasötikler, ağır metal-taşıyıcı mikroplastikler ve mykotoksinler reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini artırarak hücre zarını ve mitokondriyi hasara uğratar.

Ruminantlarda bu stres, süt veriminde düşüş ve mastitis insidansında artışla ilişkilidir. Mikroplastik maruziyeti sonucu karaciğer ve böbreklerde MDA (malondialdehit) düzeylerinin yükseldiği, antioksidan enzim aktivitelerinin (SOD, CAT, GPx) azaldığı rapor edilmiştir (Boahen ve ark., 2025). Bağışıklık baskılanması, özellikle mikotoksinlerle sinerjik etkileşim halinde daha belirgindir. Enniatinler ve beauvericin, lenfosit proliferasyonunu ve fagositoz kapasitesini azaltır. Bu nedenle EC'lerin varlığı, hayvanların enfeksiyonlara karşı direncini zayıflatır (Kim ve ark., 2023).

4.5. Ürün Kalitesi ve İnsan Sağlığına Yansımalar

Hayvansal ürünlerdeki EC kalıntıları, gıda güvenliği zincirinde en kritik halkayı oluşturur. Lipofilik kirleticiler (PFAS, PCB, PBDE vd.) yağ dokularında birikir ve süt, et, yumurta gibi ürünlerle insanlara taşınabilir.

FAO (2021) raporuna göre, süt ürünlerinde PFAS düzeyleri 0,2–1,5 µg/kg aralığında tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin düzenli tüketim yoluyla insan serumunda birikebildiği ve hormonal etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. Ayrıca mykotoksin metabolitleri (aflatoksin M1 gibi) süt yoluyla doğrudan insanlara geçer.

Dolayısıyla, EC'lerin yalnızca hayvan besleme değil, aynı zamanda One Health yaklaşımıyla bütüncül değerlendirilmesi gerekir.

5. ANALİTİK YAKLAŞIMLAR VE TESPİT YÖNTEMLERİ

EC'lerin hayvan besleme zincirindeki varlığını belirlemek için yüksek duyarlılığa sahip analitik yöntemler gerekir. Bu bileşikler genellikle ng/L–µg/kg düzeylerinde bulunduğundan, klasik analiz teknikleriyle tespit edilmeleri zordur. Günümüzde, kütle spektrometri, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), biyosensör teknolojileri ve nanomalzeme tabanlı tespit sistemleri yaygın biçimde kullanılmaktadır (Patel ve ark., 2019; Gaudin, 2017).

5.1. Kütle Spektrometrik Analizler (LC-MS/MS, GC-MS)

Yem, su ve biyolojik örneklerde EC tespiti için en yaygın teknikler LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry) ve GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry)'dir. Bu yöntemler, bileşiklerin kimyasal imzasını ve miktarını yüksek hassasiyetle ölçer.

- LC-MS/MS: Termolabil ve polar bileşikler (antibiyotikler, farmasötikler, EDC'ler) için uygundur. Tespit sınırı genellikle 0,1–1 ng/L arasındadır.

- GC-MS: Uçucu veya yarı uçucu organik bileşiklerin (pestisitler, PBDE'ler, PAH'lar) analizinde kullanılır.

Son yıllarda, yüksek çözünürlüklü kütle spektrometresi (HRMS) teknikleri (Orbitrap, TOF-MS) ile çoklu kirletici analizi yapılabilmektedir. Bu sistemler, aynı örnekte yüzlerce bileşiğin taranmasına imkân tanır (Li ve ark., 2024).

5.2. Katı Faz Ekstraksiyonu (SPE) ve Numune Hazırlığı

Numune hazırlığı, EC analizlerinin en kritik aşamasıdır. Yem ve su örneklerinde matriks etkisi yüksektir; bu nedenle katı faz ekstraksiyonu (SPE) yaygın olarak uygulanır. Bu yöntem, istenmeyen bileşenleri uzaklaştırarak hedef kirleticilerin konsantrasyonunu artırır. Örneğin, nonilfenol ve bisfenol A'nın yem ekstraktlarında belirlenebilmesi için C18-SPE kartuşları kullanılır; geri kazanım oranı %85'in üzerindedir. Mikotoksin analizlerinde ise immünoafinite kolonları tercih edilir (Gaudin, 2017).

5.3. Biyosensör ve Nanoteknoloji Tabanlı Tespit Sistemleri

Son yıllarda biyosensör teknolojileri, EC'lerin izlenmesinde hızlı ve maliyet etkin bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Biyosensörler, antikor, enzim, DNA probu veya nanomalzeme tabanlı algılayıcı unsurlarla çalışır.

- Elektrokimyasal sensörler: Nonilfenol, zearalenon ve tetracycline gibi bileşikler tespit edebilir.
- Optik sensörler: Yüksek özgüllük sağlar; floresan veya yüzey plazmon rezonansı (SPR) tabanlı çalışır.
- Nanomalzeme tabanlı sensörler: Karbon kuantum noktaları (CQD), grafen oksit (GO) ve gümüş nanoparçacıkları kullanılarak düşük algılama sınırları (0,1 μM altı) elde edilmiştir (Singh ve ark., 2018).

Bu sistemler, yem üretim tesislerinde yerinde izleme (on-site monitoring) için uygulanabilir hâle gelmiştir. Özellikle nanobiyosensörler, kirleticilerin pikomolar düzeylerinde bile belirlenmesini sağlar.

5.4. İzleme Protokolleri ve Örneklemeye Stratejileri

EC'lerin dağılımı zamana ve çevresel koşullara bağlı olduğundan, örneklemeye planları periyodik olmalıdır. Kompozit numune alma, alan bazlı (grid) örneklemeye ve akışa bağlı su örneklemeye yöntemleri tercih edilir.

Hayvan besleme sisteminde izleme, genellikle üç aşamada yürütülür:

1. Hammadde kontrolü: Yem hammaddeleri (tahıllar, küspe, unlar) giriş aşamasında test edilir.
2. Üretim hattı izlemesi: Karışım ve depolama aşamalarında kontaminasyon riski değerlendirilir.
3. Son ürün analizi: Nihai yemde veya hayvansal ürünlerde EC kalıntıları ölçülür.

Uluslararası standartlar (ISO 18857, EPA 1694) EC analizleri için metodolojik kılavuzlar sunmaktadır. Ancak yem özelinde bu standartların henüz tam uyarlanmadığı belirtilmektedir (Kolawole ve ark., 2024).

5.5. Veri Değerlendirme ve Raporlama

EC analizlerinde, sadece tespit edilen konsantrasyon değil, aynı zamanda etki eşiği (NOAEL) ve maruziyet katsayısı (HQ) gibi risk göstergeleri de değerlendirilir. Örneğin, yemlerde bisfenol A için NOAEL değeri 5 µg/kg vücut ağırlığı/gün; HQ > 1 olması durumunda potansiyel risk kabul edilir (EEA, 2015).

Veriler, genellikle log-normal dağılım varsayımıyla istatistiksel olarak analiz edilir. Çoklu kirletici analizlerinde principal component analysis (PCA) veya cluster analysis gibi çok değişkenli yöntemler EC profillerini sınıflandırmak için kullanılır (Li ve ark., 2024).

6. RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE DÜZENLEYİCİ ÇERÇEVE

Hayvan besleme sisteminde ortaya çıkan kirleticilerin (EC'lerin) oluşturduğu riskin doğru değerlendirilmesi, yalnızca kimyasal analize değil, aynı zamanda biyolojik etkilerin modellenmesine ve maruziyet dinamiklerinin anlaşılmasına bağlıdır. EC'ler için risk değerlendirmesi genellikle maruziyet tahmini, tehlike tanımlaması, doz-yanıt ilişkisi ve risk karakterizasyonu aşamalarından oluşur (FAO, 2021).

6.1. Uluslararası Limitler ve Standartlar

Avrupa Birliği ve ABD EPA, EC'leri geleneksel kirleticilerden farklı biçimde “izleme listeleri (watch lists)” kapsamında değerlendirir.

AB'nin 2015 ve 2020 güncellemelerinde estron, 17β-estradiol, diklofenak, makrolid antibiyotikler, bisfenol A ve nonilfenol gibi bileşikler yüzey suları için sınır değerlerle tanımlanmıştır (EEA, 2015).

Ancak hayvan yemi veya hayvansal ürünler için hâlen uluslararası düzeyde spesifik limitler belirlenmemiştir.

EFSA (2023), EC’lerin özellikle mikotoksinler ve pestisit türevleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamış; “kombine toksisite” yaklaşımını önermiştir. ABD EPA, içme sularında farmasötik kalıntılar için rehber değerler (örneğin diklofenak < 0.1 µg/L, 17β-estradiol < 0.4 ng/L) yayımlamış, ancak yem kaynaklı maruziyet için bir sınırlama getirmemiştir.

Türkiye’de Tarım ve Orman Bakanlığı’nın Yem Hijyeni Yönetmeliği ve TS 266 Su Kalitesi Standardı, ağır metaller ve klasik kirleticiler için eşik değerler içerir; fakat emerging kirleticiler için düzenleme bulunmamaktadır. Bu durum, mevzuatın güncellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. (TSE, 2005; Resmi Gazete, 2011).

6.2. Maruziyet ve Tehlike Değerlendirme Parametreleri

Risk karakterizasyonu genellikle iki temel parametreyle yapılır (Doménech ve Martorell, 2024; Lambré ve ark., 2023):

- **NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)** – Olumsuz etki gözlenmeyen en yüksek doz.
- **ADI (Acceptable Daily Intake)** – Hayvanın günlük alımında güvenli kabul edilen doz.

Kirleticiye özgü ADI ve NOAEL değerleri çoğu zaman deneysel veriye dayanır. Örneğin, zearalenon için sığırdaki NOAEL = 40 µg/kg BW/gün; bisfenol A için ADI = 5 µg/kg BW/gün’dür (Patel ve ark., 2020).

Riskin nicelleştirilmesinde Tehlike Katsayısı (HQ) kullanılır:

$$HQ = \frac{\text{Maruziyet Düzeyi}}{\text{Referans Doz}} \quad \text{HQ} = \frac{\text{Maruziyet Düzeyi}}{\text{Referans Doz}}$$

HQ > 1 olduğunda potansiyel sağlık riski kabul edilir (Li ve ark., 2024). EC’ler genellikle düşük dozlarda bulunduğu için tekil HQ değerleri düşüktür; ancak birikimli maruziyet ($\sum HQ$) dikkate alındığında riskin arttığı görülür.

6.3. Türkiye ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Durum

Türkiye’de EC’lerle ilgili araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir, ancak uygulamada yem ve su kalitesi izleme programları hâlâ sınırlıdır. Atık suların tarımsal sulamada kullanılması, organik gübre uygulamaları ve ithal yem hammaddeleri, EC maruziyet riskini yükseltmektedir (Çapar ve ark., 2020; Carter ve ark., 2025).

Gelişmekte olan ülkelerde benzer durum gözlenir: laboratuvar altyapısının sınırlılığı, ekonomik kısıtlar ve farkındalık eksikliği, EC yönetimini zorlaştırmaktadır (Kolawole ve ark., 2024).

Bu nedenle ulusal düzeyde izleme ağlarının kurulması, akademi-kamu-sanayi işbirliğiyle EC veri tabanlarının oluşturulması gerekmektedir.

7. AZALTMA, ÖNLEME VE YÖNETİM STRATEJİLERİ

Ortaya çıkan kirleticilerin hayvan besleme zincirine girişini önlemek, yalnızca teknik arıtma süreçleriyle değil, entegre yönetim yaklaşımlarıyla mümkündür. Etkin bir strateji; kaynağın azaltılmasından, üretim zincirinin izlenmesine ve son aşamada biyolojik arıtmaya kadar uzanmalıdır (FAO, 2021).

7.1. Arıtma Teknolojileri

Biyosorpsiyon ve Biyobozunma

Mikroalgler, mantarlar ve bakteriler, özellikle farmasötikler ve EDC’lerin uzaklaştırılmasında etkili doğal biyosorbanlardır. *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis*, suda çözünmüş antibiyotiklerin %80’e kadarını absorbe edebilir. Ayrıca *Trametes versicolor* gibi beyaz çürük mantarlar, enzimatik sistemleriyle nonilfenol ve diklofenak’ı parçalayabilir (Li ve ark., 2024).

İleri Oksidasyon Prosesleri (AOPs)

Ozonlama, fotokataliz ve elektro-oksidasyon gibi yöntemler, EC’lerin kimyasal yapılarını bozarak toksisitelerini azaltır. LC-MS/MS analizleri, ozonlama sonrası bisfenol A konsantrasyonunun %95 azaldığını göstermiştir (Gaudin, 2017).

Filtrasyon ve Adsorpsiyon Sistemleri

Aktif karbon, zeolit ve grafen oksit tabanlı filtreler, EC'lerin fiziksel olarak tutulmasında etkilidir. Yem üretim tesislerinde hava-su filtrasyon sistemlerinin kurulması, üretim hattına EC taşınımını engelleyebilir (Marnani ve ark., 2024).

7.2. Yem Hammaddesi Kontrolü ve İzlenebilirlik

Yem güvenliği zincirinde ilk basamak hammadde seçimi ve kontrolüdür. Her parti yem hammaddesinin kimyasal analiz raporları (özellikle pestisit, antibiyotik ve mikotoksin taramaları) üretici tarafından doğrulanmalıdır (ISO, 2011; Union, 2005; Pellegrino Missaglia ve ark., 2020).

ISO 22000 ve HACCP sistemleri, bu izlenebilirliği sağlamak için etkin araçlardır. Ayrıca blok zinciri (blockchain) tabanlı tedarik zinciri yönetimi, hammaddenin kaynağından çiftliğe kadar izlenmesini mümkün kılar. Bu sistem, özellikle organik üretim ve ihracat pazarlarında güven artırıcı bir uygulamadır (Boahen ve ark., 2025).

7.3. Çiftlik Düzeyinde Yönetim ve İyi Uygulamalar

- **Atık yönetimi:** Hayvan dışkılarının doğrudan toprağa verilmesi yerine biyogaz veya kompostlama süreçlerinden geçirilmesi, EC'lerin çevreye geçişini azaltır (Wyszkowska ve ark., 2025).
- **Su kalitesi yönetimi:** İçme ve yıkama sularının periyodik analizi, özellikle farmasötik ve deterjan kalıntıları açısından yapılmalıdır (Mosharaf ve ark., 2024).
- **Yem katkı maddeleri:** EC'leri bağlayabilen organik bentonit, aktif karbon veya maya hücre duvarı türevleri yemlere eklenebilir (Kim ve ark., 2023).
- **Eğitim ve farkındalık:** Üreticilere EC'lerin riskleri, arıtım teknikleri ve izleme gereklilikleri hakkında düzenli eğitim verilmelidir (Kılıç ve Sönmez, 2024).

7.4. Politika ve Sürdürülebilirlik Yaklaşımları

EC yönetimi, sürdürülebilir üretim politikalarıyla entegre edilmelidir. Birleşmiş Milletler'in 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (özellikle Amaç 6 – Temiz Su ve Sanitasyon, Amaç 12 – Sorumlu Üretim ve Tüketim) bu yönde

çerçeve sunar. Ayrıca One Health yaklaşımı, EC'lerin yalnızca hayvan sağlığı değil, insan ve çevre sağlığını da kapsayan çok disiplinli stratejilerle ele alınmasını gerektirir (Geissen ve ark., 2015).

8. Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Ortaya çıkan kirleticiler, hayvan besleme bilimi açısından yeni bir paradigma değişimini temsil eder. Bu bileşikler, klasik toksikolojik anlayışın ötesine geçerek; düşük doz, uzun süreli ve çoklu maruziyet koşullarında biyolojik sistemleri etkileyebilmektedir.

Derleme boyunca öne çıkan bulgular şu şekilde özetlenebilir:

1. **Kapsam genişliği:** EC'ler; antibiyotikler, EDC'ler, mikro/nano-plastikler, yeni mikotoksinler ve kalıcı organik kirleticiler gibi farklı gruplardan oluşur.
2. **Yayılım yolları:** Tarımsal sulama, atık sular, biyokatırlar, yem hammaddeleri ve su kaynakları EC'lerin ana taşıyıcılarıdır.
3. **Hayvansal etkiler:** Mikrobiyota değişimi, yemden yararlanma düşüşü, hormonal dengesizlik, üreme ve bağışıklık sorunları sık gözlenir.
4. **İnsan sağlığı bağlantısı:** Hayvansal ürünlerde EC kalıntıları, besin zinciri yoluyla insanlara taşınabilir.
5. **Analitik ve yönetim ihtiyacı:** Mevzuat boşlukları ve izleme yetersizliği, risklerin doğru yönetilmesini engellemektedir.

Gelecekteki çalışmalar şu alanlara odaklanmalıdır:

- EC'lerin **kombine etkilerini** değerlendiren çoklu maruziyet modellerinin geliştirilmesi,
- **Omik teknolojileri (metagenomik, metabolomik)** kullanarak mikrobiyota-kirletici etkileşimlerinin aydınlatılması,
- Hayvan besleme zinciri için ulusal veri tabanlarının oluşturulması,
- EC içeren atıkların döngüsel ekonomi prensipleriyle yeniden kullanımı,
- Türkiye koşullarına özgü limit değerlerin belirlenmesi.

Sonuç olarak, EC'lerin hayvan besleme üzerindeki etkileri yalnızca bilimsel bir konu değil, aynı zamanda tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve toplum sağlığının korunması açısından da stratejik önemdedir. One Health

temelli, disiplinler arası yaklaşımlar geliştirilmedikçe, bu kirleticilerin oluşturduğu riskler artarak devam edecektir.

KAYNAKÇA

1. Abdallah, M. F., et al. (2022). Environmental contaminants and animal health: Analysis, toxicity, and mitigation. *Frontiers in Veterinary Science*.
2. Boahen, E., et al. (2025). A comprehensive review of emerging environmental contaminants. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00259-x>
3. Carter, L. J., Adams, B., Berman, T., Cohen, N., Cytryn, E., Elder, F. C. T., ... & Chefetz, B. (2025). Co-contaminant risks in water reuse and biosolids application for agriculture. *Environmental Pollution*, 126219.
4. Çapar, G., Coşkun, Ç., & Arslan, S. (2020). Assessment of livestock drinking water quality: A case study in a special environmental protection area. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36 (1): 61-75.
5. Doménech, E., & Martorell, S. (2024). Review of the terminology, approaches, and formulations used in the guidelines on quantitative risk assessment of chemical hazards in food. *Foods* 13 (5), 714.
6. European Commission. (2020). Commission Implementing Decision (EU) 2020/1161 amending Decision (EU) 2018/840 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy. Brussels: European Commission.
7. European Environment Agency (EEA). (2015). Watch list for emerging water pollutants in the EU. EEA Report No. 7/2015.
8. FAO. (2021). Water quality for livestock and feed hygiene. Rome: Food and Agriculture Organization.
9. Gaudin, V. (2017). Advances in biosensors for detection of antibiotics in environmental samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 409(25), 6281–6292.
10. García-Rodríguez, A., Molina-Domínguez, L., Taj, A., & Martínez-Bueno, M. J. (2014). Antibiotic residues and antibiotic resistance patterns in aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), 3850–3861.
11. Geissen, V., Mol, H., Klima, M., et al. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
12. ISO. (2011). The ISO survey 2010. ISO. <http://www.iso.org>.

- 13.ISO. (2011–2013). ISO 18857 (series): Water quality — Determination of selected alkylphenols. Geneva: International Organization for Standardization.
- 14.Khalifa, H. O., Shikoray, L., Mohamed, M. Y. I., Habib, I., & Matsumoto, T. (2024). Veterinary drug residues in the food chain as an emerging public health threat: Sources, analytical methods, health impacts, and preventive measures. *Foods*, 13(11), 1629.
- 15.Kılıç, F. N., & Sönmez, O. (2024). Pollutant Effects and Management of Animal Manure. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(8), 1467-1475.
- 16.Kim, J. H., et al. (2023). Determination of safe levels and toxic levels for feed contaminated by mycotoxins. *East Asian Journal of Animal Sciences*, 65(3), 490–506.
- 17.Kolawole, O., Siri-Anusornsak, W., Petchkongkaew, A., et al. (2024). A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. *Emerging Contaminants*, 10, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100305>
- 18.Lambré, C., Barat Baviera, J. M., Bolognesi, C., Chesson, A., Cocconcelli, P. S., ... & Van Loveren, H. (2023). Re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP), *EFSA Journal*, 21(4), e06857.
- 19.Li, X., et al. (2024). Comprehensive review of emerging contaminants: Chemical characteristics, sources, environmental and health impacts. *Eco-Environment & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116420>
- 20.Marnani, N. N., Tezel, F. H., & Basu, O. D. (2024). Adsorptive removal of dyes: a comparison of graphene oxide to granular activated carbon and zeolite NaY. *Applied Sciences*, 14(21), 9811.
- 21.Mosharaf, M. K., Gomes, R. L., Cook, S., Alam, M. S., & Rasmussen, A. (2024). Wastewater reuse and pharmaceutical pollution in agriculture: Uptake, transport, accumulation and metabolism of pharmaceutical pollutants within plants. *Chemosphere*, 364, 143055.
- 22.Patel, M., Tiwari, S., & Sharma, R. (2019). Detection and monitoring of emerging pollutants using advanced analytical techniques. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), 103188.

23. Patel, M., Tiwari, S., Chaturvedi, S., & Sharma, R. (2020). Emerging contaminants in aquatic ecosystems: Health risks and remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1023–1036.
24. Pellegrino Missaglia, A., Bruno, A., & Battaglia, D. (2020). Good practices for the feed sector.
25. Resmi Gazete, (2011). *Yem Hijyeni Yönetmeliği*. Tarih: 13.12.2011, Sayı: 28155.
26. EFSA Scientific Committee. (2023). Guidance on the assessment of exposure to multiple chemicals (mixture risk assessment). *EFSA Journal*.
27. Salvatore, S., & Ferrer, M. V. (2025). Report for 2023 on the results from the monitoring of residues of veterinary medicinal products in live animals and animal products. European Food Safety Authority (EFSA), (Vol. 22, No. 2, p. 9297E).
28. Santos, L. H., Rodríguez-Mozaz, S., & Buttiglieri, G. (2025). Pharmaceutical contamination in edible plants grown on soils amended with wastewater, manure, and biosolids: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-24.
29. Singh, R., Kumar, S., & Verma, N. (2018). Functionalized carbon quantum dots for detection of nonylphenol in water. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 254, 1116–1124.
30. TSE (2005): TS 266 Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standartları Enstitüsü, 29 Nisan 2005.
31. Union, E. (2005). Regulation (EC) No 183/2005 of the European parliament and of the council of 12 January 2005 laying down requirements for feed hygiene. *Off J Eur Comm L*, 35, 1-22.
32. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2007). Method 1694: Pharmaceuticals and personal care products in water, soil, sediment, and biosolids by HPLC/MS/MS. Washington, DC: EPA.
33. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations.
34. Wang, F., Xiang, L., Leung, K. S. Y., Elsner, M., Zhang, Y., Guo, Y., ... & Tiedje, J. M. (2024). Emerging contaminants: a one health perspective. *The Innovation*, 5(4).
35. Wyszowska, J., Mikulski, D., Borowik, A., Zaborowska, M., Kucharski, J., Kozłowski, K., ... & Jankowski, J. (2025). The Effect of Fertilization with Antibiotic-Contaminated Manure on Microbial Processes in Soil. *Agriculture*, 15(9), 979.

- 36.Zhang, Y., Li, T., & Chen, Z. (2022). Antibiotic residues in livestock feed and their effects on rumen microbiota. *Journal of Animal Feed Science and Technology*, 285, 115238.

BÖLÜM 12

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN YEM KALİTESİ, HAYVAN BESLEME VE SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNE ETKİLERİ: BÜTÜNCÜL BİR DEĞERLENDİRME

Doç. Dr. Cemal BUDAĞ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132404>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Ana Bilim Dalı, Van, Türkiye.
cbudag@yyu.edu.tr Orcid ID: 0000-0003-3532-7727

GİRİŞ

Bu çalışma, iklim değişikliğinin ruminant besleme ve ürün odaklı sera gazı (GHG) yoğunluğu üzerindeki etkilerini; kuru madde tüketimi (KMT), rasyon protein konsantrasyonu, selüloz/NDF, konsantre düzeyi, rasyona yağ eklenmesi, besleme sıklığı ve yem katkıları bağlamında sentezlemektedir. Güncel derlemeler ve değerlendirme raporları ışığında; ısı stresi ve hidrolojik kısıtların KMT'yi azalttığı, yem kalitesini düşürdüğü ve ECM başına GHG yoğunluğunu artırdığı gösterilmektedir. Bununla birlikte, 3-NOP, korunmuş yağlar, tanenler ve besleme sıklığı gibi müdahaleler; rasyon verimliliğini ve azot kullanım verimliliğini (NUE) artırarak enterik CH₄ emisyonlarında %5–40 bandında azalma sağlayabilir. Sonuçlar, GLEAM 3.0 ve IPCC Tier 2–3 çerçeveleriyle bütünleşik değerlendirmelerin, işletme ve politika düzeyinde karşılaştırılabilirliği güçlendirdiğini göstermektedir

1. GENEL DEĞERLENDİRME

Yüksek sıcaklıklar, hayvan sağlığını tehdit eden başlıca çevresel faktörlerden biridir ve sıcak stresine yol açarak hayvansal üretimi olumsuz etkiler. Yapılan çalışmalar, küresel ısınmanın et ve süt verimini azalttığını, hayvanların su gereksinimini artırdığını, yem kalitesini düşürdüğünü ve kuru madde tüketimini (KMT) sınırladığını ortaya koymuştur. İklim değişikliği; yem arzı, büyüme oranları, üreme performansı, süt ve yumurta üretimi, hastalık yayılımı ve ölüm oranlarını doğrudan etkiler. Aynı zamanda hayvancılık da sera gazı emisyonları (özellikle CH₄) aracılığıyla iklim değişikliğini besleyen ikincil bir faktördür. Sıcaklık artışları, hayvanların metabolizmasını yavaşlatarak büyüme ve beslenme verimliliğini düşürür, nem oranındaki değişimler ise bağışıklık sistemini zayıflatır ve hastalık riskini artırır. Bu etkiler, sürdürülebilir üretim için iklim-adaptif hayvancılık stratejilerinin gerekliliğini vurgular. Araştırmalar, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için hayvan besleme stratejilerine ve yem kalitesinin iyileştirilmesine odaklanılması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, besleme formülasyonlarının yeniden tasarımı ve çevre dostu üretim yaklaşımları, gelecekte hayvancılığın iklimle uyumlu sürdürülebilirliğini sağlayacak temel araçlardır.

Küresel ısınma; sıcaklık rejimlerinde kayma, yağışın mekânsal-zamansal dağılımındaki bozulma, aşırı hava olaylarının (sıcak dalgaları, ani kuraklık, sel) sıklaşması ve atmosferik CO₂ düzeylerinin yükselmesi yoluyla tarımsal üretim sistemlerini çok boyutlu biçimde etkilemektedir. Yem üretimi—tane-yemler (mısır, arpa), yağlı tohum küspeleri (soya küspesi vb.), kaba yemler (yonca, silajlık mısır, çayır-mera otu) ve meralatma—bu iklim sürücülerine çift yönlü duyarlıdır. Küresel ısınma, yem üretiminin hem miktar (verim, hektar başına biyokütle) hem de niteliği (ham protein, NDF/ADF, mineral yoğunluğu, sindirilebilirlik) üzerinde etkiler yaratır. IPCC (2022)’nin Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6, WGII, Bölüm 5) tarım-gıda sistemlerinde iklim değişikliğinin halihazırda gözlenen olumsuz etkilerini özetlemekte; ısınmanın özellikle orta-düşük enlemlerde tarımsal üretkenlik artışını son 50 yılda yavaşlattığına dair kanıtı “orta-yüksek güven” düzeyiyle rapor etmektedir. Bu çerçevede yem bitkilerinin hem verim hem kalite bileşenleri üzerindeki baskı, hayvansal üretimin maliyet yapısı, besleme stratejileri ve ürün birimi başına sera gazı (GHG) yoğunluğu açısından stratejik önem taşır (IPCC, 2022).

İklim-ürün etkileşimlerinin nicel olarak çözülmesinde çoklu model yaklaşımları kritik rol oynar (Rosenzweig ve ark., 2013; Müller ve ark., 2021). Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) gibi inisiyatifler; farklı ürün ve iklim modellerini ortak senaryolarda çalıştırarak, mısır-buğday-pirinç-soya gibi ana ürünlerde ısınmanın verim üzerindeki olası etkilerini (uyum seçenekleriyle birlikte) karşılaştırmalı biçimde sunar. Bu sentezler, bölgesel heterojenliğe rağmen ısınmanın artışıyla birlikte mısırdaki belirgin negatif etki; buğdayda ise iklim-yönetim bağlamına duyarlı, daha değişken bir yanıt zamanı göstermiştir. Yem üretimindeki risk değerlendirmeleri, yem tedarikinin kesintiye uğrama olasılığını ve meraların taşıma kapasitesindeki dalgalanmaları politika-tasarım gündemine taşır (Rosenzweig ve ark., 2013).

Bununla birlikte, kalite etkileri basit verim kayıplarından bağımsız ve kimi zaman daha sinsi seyreder. Yükselmiş atmosferik CO₂ (eCO₂) ve C₃ bitkilerinde fotosentezi uyarırken dokularda azot seyreltmesi ve iyonoma kaymaları (özellikle protein, demir, çinko gibi besin öğelerinde düşüş) yaratabilir. Loladze’nin (2014) meta-analizi ve sonrasında gelen sentezler; eCO₂ koşullarında pek çok yem bitkisinde protein ve bazı mineral

değişimlerinin anlamlı biçimde azaldığını, toplam yapısal olmayan karbonhidratların (şeker-nişasta) ise arttığını göstermiştir. Yem kalitesine yansıyan bu değişimler ruminant beslemede mikrobiyal protein sentezini, enerji-protein senkronunu ve sonuç olarak süt proteini verimini etkiler. Bu durum rasyonların yeniden dengelenmesini, kimi durumlarda daha yüksek girdi ayak izine sahip protein konsantrelerine yönelmeyi gerektirebilir (Loladze, 2014).

Kaba yemler özelinde, yonca (*Medicago sativa*) günümüz rasyonlarının belkemiğidir. Yoncada eCO_2 + ısınma altında ham proteinde azalma, lif fraksiyonlarında artış (NDF/ADF) ve in vitro sindirilebilirlikte düşüş bildiren çalışmalar mevcuttur (Sanz-Sáez ve ark., 2012). Bu bulgular yalnızca agronomik bir merak değil, doğrudan yem değerindeki kayma ve metan oluşum dinamikleri açısından da önemlidir. Daha yüksek lif ve daha düşük protein, rasyon formülasyonunda enerji yoğunlaştırma ve by-pass protein dengelemesini gündeme getirir. Bu sırada rasyon CH_4/N_2O etkileri, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) sınırlarında yeniden hesaplanmalıdır. Ayrıca bazı çalışmalar, simbiyotik *Sinorhizobium meliloti* suş farklılıklarının bu kalite yanıtlarını kısmen modüle edebileceğini göstererek bitki-mikrop etkileşimlerinin ısınan iklimde seçici ıslah/uygulama alanlarını işaret etmektedir (Sanz-Sáez ve ark., 2012; Baslam ve ark., 2014; Kizildeniz, 2024).

Isı stresi yem üretimi ve hayvansal üretim arasında çift yönlü bir köprü oluşturur: Tarlada su kullanımı verimliliği ve biçim zamanı etkilenirken, ahırda hayvanların kuru madde alımı (DMI) ve süt verimi düşer; sağlık ve doğurganlık riskleri artar (IPCC, 2022; West, 2003; Rhoads ve ark., 2009). Literatürde süt sığırlarında ısı-nem indeksinin (THI) kritik eşiğine ilişkin geniş bir aralık verilse de, yüksek verimli sürülerde etkin eşiklerin daha düşük THI düzeylerine kaydığı giderek daha sık rapor edilmektedir (Rodríguez-Venegas ve ark., 2023; Duru, 2018). Yakın dönem çalışmalar; THI $\approx 68-70$ ölçeğinde dahi üretim ve davranış göstergelerinde anlamlı bozulmaların başlayabildiğini, ısı dalgalarının yüksek “wet-bulb” (havanın sıcak ve nemli olduğu, hayvanların ter/buharlaştırma yoluyla serinleyemediği saatler) nedeniyle bile günlük süt verimini hissedilir ölçüde azaltabildiğini göstermektedir (Palandri ve ark., 2025; Rodríguez-Venegas ve ark., 2023). Bölgesel uygulamalarda (ör. Türkiye Marmara koşulları) Holştayn sürülerinde süt verimi kayıplarının THI eşiğinin 68–72

bandında tetiklenebildiğini bildiren saha analizleri de bu eğilimi destekler (Duru, 2018). Bu veri, “yaz rasyonları” ile yem elektrolit dengesi (DCAD)/elektrolit yönetimi, enerji yoğunlaştırma ve erken-eşik soğutma stratejilerinin daha düşük THI’lardan itibaren devreye alınması gerektiğini göstermektedir (Oliveira ve ark., 2025; IPCC, 2022)

İklim etkilerinin yem üretimi ve hayvansal üretime taşınan maliyetleri yalnızca “kg/ha” veya “kg süt/gün” ile ölçülmemelidir; ürün birimi başına sera gazları (GHG) yoğunluğu (CO₂e/kg süt, CO₂e/kg canlı ağırlık artışı vb.) gibi LCA metrikleri ile değerlendirilmelidir (FAO, 2022). FAO’nun Küresel Hayvancılık Çevresel Değerlendirme Modeli (Global Livestock Environmental Assessment Model GLEAM) çerçevesi; yem üretimi, enterik fermantasyon, gübre yönetimi ve enerji kullanımını ortak sistem sınırları içinde birleştirerek politika ve işletme düzeyinde karşılaştırılabilir sonuçlar üretir (FAO, 2023). Yem kalitesindeki iklim kaynaklı bozulma (yoncada HP düşüşü gibi) rasyonun protein-enerji dengesini yeniden kurmak için daha yüksek ayak izli girdilere (soya küspesi gibi) kaymayı tetikleyebilir; bu da enterik metan (CH₄) etkilenmese bile yem kaynaklı CO₂e bileşenini artırabilir (Loladze, 2014; FAO, 2022). Buna karşılık besleme-temelli azaltımlar—örneğin 3-nitrooksipropanol (3-NOP) ile enterik CH₄’te %20–40 kalıcı düşüşler ya da korunmuş yağların (%2–3 KM) %5–10 düzeyinde CH₄ azaltımı—kalite kayıplarının LCA üzerindeki olumsuz etkisini telafi edebilir veya net azaltıma çevirebilir (Kebreab ve ark., 2023; Shephard ve ark., 2024; Knapp ve ark., 2014). Bu sebeple iklimin yem kalitesi ve hayvan performansı üzerindeki etkilerini, uyarlama (adaptasyon) ve azaltım (mitigasyon) araçlarının entegre edildiği bir LCA çerçevesinde ele almak gereklidir (FAO, 2022; IPCC, 2022).

Bu makalenin amacı; (i) küresel ısınmanın yem üretimi üzerindeki mekanik kanıt zincirini (verim düşmesi; kalite/ besin yoğunluğu kaymaları; hasat zamanı ve mera taşıma kapasitesindeki dalgalanmalar) sistematik biçimde sentezlemek; (ii) bu etkilerin rasyon formülasyonu, DMI, MUN (sütte üre azotu)-NUE (azot kullanım verimliliği), sağlık-doğurganlık göstergeleri ve sonuç olarak ürün birimi başına GHG yoğunluğu üzerindeki sonuçlarını analitik bir çerçevede tartışmak; (iii) besleme temelli adaptasyon ve azaltım seçeneklerini (DCAD/elektrolit optimizasyonu; amino asit hedefleme;

antioksidanlar ve su yönetimi; 3-NOP, yağlar, güvenli olduğunda tanen/nitrat; gübre CH_4 kontrolleri) kanıt gücü ve uygulanabilirlik bakımından karşılaştırmaktır (FAO, 2022; IPCC, 2022). Böylelikle iklim kaynaklı kalite-verim kaymalarının rasyon maliyetleri ve emisyon yoğunluğuyla nasıl etkileştiğini; “erken uyarı” göstergeleri (THI, ıslak termometre saatleri), hassas besleme ve MRV (ölçme-raporlama-doğrulama) altyapıları üzerinden nasıl yönetilebileceğini somutlaştırmayı hedeflemektedir (Model, 2017).

Son olarak, literatürde üç önemli açık/boşluk dikkat çekmektedir. Birincisi, kalite etkilerinin büyüklüğü ve varyansı ürün-çeşit, yönetim ve simbiyotik etkileşimlere (*S. meliloti* suşları gibi) yüksek derecede bağımlıdır; bu heterojenlik besleme kararlarına doğrudan yansır ve yerel veri gerektirir (Sanz-Sáez ve ark., 2012). İkincisi, ısı stresi eşiklerinin yüksek verimli genotiplerde aşağı kaydığına dair bulgular artmakla birlikte, soğutma + besleme paketlerinin farklı iklim-barınak tasarımlarında marjinal getirilerinin sistematik kıyasları sınırlıdır (Palandri ve ark., 2025; Rodríguez-Venegas ve ark., 2023). Üçüncüsü, eCO_2 kaynaklı mineral/protein azalmasının rasyon-LCA sonuçları üzerindeki dolaylı etkilerinin (artan protein konsantresi gereksinimi, yem tedarik zinciri emisyonları) entegre olarak ölçülmesi için açık veri setleri ve standart varsayımlar gerekmektedir (FAO, 2022; Loladze, 2014). Bu makale, söz konusu boşluklara işaret ederek, yem üretiminin iklim ısınmasına uyumlu ve düşük karbonlu bir yörüngeye taşınmasında kanıt temelli besleme ve LCA-entegrasyonlu karar destek yaklaşımının önemini vurgulamaktadır.

2. Mekanizmalar

2.1. İklim sürücüler → Verim, fenoloji ve tedarik

Küresel ısınma; mevsim uzunluğu, ısı birikimi (gün-derece), yağış örüntüleri ve “flash drought” (haftalar mertebesinde hızla gelişen ani kuraklık) sıklığı üzerinden yem bitkilerinin verim ve fenolojik göstergelerini değiştirir. Çoklu ürün/iklim model kümeleri (AgMIP; GGCMi) mısır için ısınmaya negatif, buğday için bölgeye ve yönetim pratiklerine duyarlı yanıtların öne çıktığını göstermiştir. Bu değişimler, kaba yem- biçim zamanlarının kaymasına ve biçim sayısının azalmasına yol açarak kaba yem arz güvenliğini ve meraların taşıma kapasitesini dalgalandırır; yem tedarik zinciri fiyat oynaklığı artar

(Rosenzweig ve ark., 2013; IPCC, 2022; Niderkorn et al., 2021; Augustine et al., 2018).

Küresel ısınma, yem bitkilerinin büyüme mevsimini ve gelişim hızını birden çok kanal üzerinden yeniden biçimlendirir. Birincisi, mevsim uzunluğu ve ısı birikimi (gün-derece) artışı, vejetatif ve generatif evrelerin zamanlamasını değiştirir: İlkbahar erkenleşir, ısı birikimi hızlandığı için bitki fenolojik evreleri (çıkış-sapa kalkma-başaklanma/çiçeklenme-olum) daha kısa sürede kat eder. Bu hızlanma çoğu yem bitkisinde biyokütle akümülyasyonu için ayrılan zamanı daraltabilir; aynı zamanda lignifikasyonu artırarak yapısal karbon birikimini hızlandırır. Sonuçta, özellikle biçim zamanı gecikirse, sindirilebilirlik düşme eğilimine girer ve ham lif fraksiyonları (NDF/ADF) yükselir (Augustine et al., 2018; Niderkorn et al., 2021).

İkincisi, yağış örüntülerinin bozulması ve flash drought sıklığındaki artış, toprak neminin mevcut olduğu dönemle bitkinin su talebinin tepe yaptığı dönem arasındaki eşleşmeyi bozar. Su stresi yaprak alan indeksi (LAI) gelişimini, stomatal iletkenliği ve fotosentezi sınırlar; bu da hektar başına yem verimini azaltır. Kuraklıkla birlikte artan buhar basıncı açığı (VPD), yapraklardan transpirasyon kaybını yükselterek karbon kazanımını daha da törpüler. Sulanan sistemlerde bile sulama suyu erişilebilirliği ve pompa maliyetleri yükseldiğinden, toplam yem arzı ve maliyet yapısı olumsuz etkilenir (Rosenzweig et al., 2013; IPCC, 2022).

Üçüncüsü, aşırı sıcak olayları (sıcak dalgaları) yalnızca ortalama sıcaklıktan bağımsız bir risk olarak öne çıkar. Kısa süreli ama kritik eşikleri aşan sıcak günler, örneğin sapa kalkma-başaklanma döneminde yemin kalitesini (protein yoğunluğu, şeker-nişasta dengesi, sindirilebilirlik) kalıcı biçimde aşağı çekebilir. Çok yıllık kaba yemlerde (ör. yonca, çok yıllık çayır) bu durum biçimler arası toparlanma süresini kısaltır; biçimler arası yenileme (regrowth) daha düşük hız ve kaliteyle gerçekleşir (Niderkorn et al., 2021).

Dördüncüsü, ürün/iklim çoklu-model ansambları (AgMIP, GGCM) sistemli olarak şunu gösterir:

- Mısır (C₄) verimi, ısınmanın ilerleyen kademelerinde (özellikle sıcak dalgası + kuraklık birlikteliğinde) belirgin biçimde negatif trenddedir; çiçeklenme ve dane doldurma evrelerinde ısı/su stresi tanelenme ve dane sayısı üzerinden güçlü kayıplar yaratır. Silajlık mısırdaki sap-yaprak biyokütlesi bir dereceye kadar korunabilse de enerji yoğunluğu ve sindirilebilirlik düşebilir (Rosenzweig et al., 2013; IPCC, 2022).
- Buğday (C₃) özelinde riskli bölgeye ve yönetim pratiklerine duyarlıdır: Yüksek enlemlerde sınırlı ısınma, sezonu uzatarak verimi destekleyebilirken (soğuk sınırlarının gevşemesi), orta-düşük enlemlerde artan ısı ve su kıtlığı çoğunlukla negatif sonuç verir. Ekim zamanı, çeşit seçimi ve sulama rejimi, ansambl yayılımını belirgin biçimde daraltabilen yönetim kaldıraçlarıdır.

Beşincisi, bu iklim sürücülerinin biçim zamanlarını ve biçim sayısını doğrudan etkiler. Yonca benzeri çok yıllık sistemlerde ilk biçimin öne kayması ve son biçimin riskli hava koşullarına (geç yaz/erken sonbahar sıcak dalgası, erken don) yakalanması olasıdır. Bu durum yıllık toplam biçim sayısını azaltabilir veya biçimler arası kalite değişkenliğini artırabilir. Çayır-mera sistemlerinde fenolojik kayma, meranın taşıma kapasitesi ve otlatma zamanlaması üzerinde dalgalanma yaratır; aşırı otlatma riski artar, yenilenme yavaşlar (Augustine et al., 2018; Niderkorn et al., 2021).

Altıncısı, tarladaki bu dalgalanmalar tedarik zincirine fiyat oynaklığı olarak yansır. Bölgesel kuraklık veya sıcak dalgası dönemleri, yonca balyası/silaj gibi kaba yemlerde bölgesel kıtlıklar yaratabilir; işletmeler alternatif kaynaklara yöneldikçe nakliye mesafeleri ve lojistik emisyonlar artar. Yem değeri düşmüş partilerin rasyonda tolere edilebilmesi için enerji yoğunlaştırma, protein konsantresi ve tamponlayıcı kullanımı gerekebilir; bu da rasyon maliyeti ile ürün birimi başına GHG yoğunluğu (LCA’de yem bileşeni) üzerinde yukarı yönlü baskıdır (Rosenzweig et al., 2013; IPCC, 2022).

Son olarak, risk yönetimi açısından iki pratik çıkarım önemlidir:

1. Fenolojiye duyarlı izleme: Büyüme derecesi günleri, VPD, toprak nemi ve flash drought göstergeleriyle erken uyarı panelleri kurmak; böylece biçim tarihini ve sulama/biçim zamanı kararlarını dinamik yönetmek.

2. Uyarlanmış yönetim: Çeşit/karışım (ısı-kuraklığa dayanımlı genotip, derin kök yapısı), ekim-biçim takvimi optimizasyonu, su verimliliği (damla/yağmurlama iyileştirmeleri), toprak organik maddesini artıran uygulamalar (örtü bitkisi, minimum toprak işleme) ve kalite-odaklı hasat (fenolojik eşik + meteorolojik veri) ile hem verim hem kalite kayıplarını sınırlamak.

Özetle, ısınma, yağışta yeniden dağılım ve ani kuraklıkların birleşik etkisi, yem bitkilerinde daha kısa ve daha oynak bir üretim zamanı, daha düşük ve daha değişken kalite ve daha kırılgan bir tedarik zinciri anlamına geliyor. Çoklu-model bulguları, mısırdaki yaygın negatif, buğdayda bağlama duyarlı sonuçların altını çizerken; pratik düzeyde biçim zamanı yönetimi, su verimliliği ve kalite temelli hasat stratejileri, riskin işletme düzeyinde absorbe edilebilmesi için kritik hale geliyor.

2.2. Yükselen CO₂ (eCO₂) → Kalite ve besin yoğunluğu kaymaları

eCO₂, C₃ bitkilerinde fotosentezi artırırken yapısal olmayan karbonhidratların artışı ve azot seyreltmesi yoluyla protein ve mineral (Fe, Zn vb.) derişimlerinde düşüşe neden olabilir. Loladze'nin (2014) sentezi; 25'e yakın kritik mineralin bitkisel dokularda ortalama ~%8 azaldığını, karbonhidrat/mineral oranının yükseldiğini göstermiştir. Bu "gizli kayma", yem kalitesi açısından ham protein düşüşü ve sindirilebilirlikte azalma şeklinde rasyona yansır; mikrobiyal protein sentezi ve enerji-protein senkronu zayıflar. Sonuçta MUN artışı, NUE düşüşü ve daha yüksek ayak izli protein konsantrasyonlarına yönelme eğilimi artar (Loladze, 2014; IPCC, 2022). PMC+1

eCO₂, özellikle C₃ bitkilerinde karboksilasyonu güçlendirerek net asimilasyonu ve yapısal olmayan karbonhidrat (WSC/TNC) birikimini artırırken, doku C:N oranını yükseltir; bunun tipik sonucu, azot seyreltmesi ve protein derişiminde düşüş (IPCC, 2021). Bu etki yalnızca "seyreltme" ile sınırlı değildir: kontrollü çalışmalar, eCO₂'nin nitrat asimilasyonunu enzimatik

düzeyde baskılayabildiğini, yani kökten yaprağa taşınan NO_3^- 'un organik N'ye dönüşümünün doğrudan inhibe edildiğini göstermektedir (Bloom ve ark., 2010). Sentez ve meta-analizler, C_3 tahıllar ve baklagillerde protein, çinko ve demir başta olmak üzere besin yoğunluklarında anlamlı azalmalar bulmuştur; örneğin bir derlemede eLife derlemesi yaklaşık 25 mineralde ortalama ~%8'lik düşüş bildirmekte, Tarla alan deneyleri de C_3 tanelerinde Fe/Zn ve proteinde düşüşleri doğrulamaktadır (Loladze, 2014). IPCC AR6, bu bulguları yüksek güvenle özetleyerek, tür/çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı değişkenlik olsa da protein ile Fe–Zn azalmasının tutarlı bir risk olduğunu vurgular (IPCC, 2022). Kaba yem özelinde, eCO₂ (+ sıklıkla eşlik eden ısınma) ham proteini düşürür, NDF/ADF'yi yükseltir ve in vitro sindirilebilirliği azaltır; bu tablo yonca için deneysel olarak gösterilmiştir. Ayrıca eCO₂'nin su kullanımını azaltıcı stomatal kapanma etkisi, kök bölgesinde kütleli akışla taşınan besin elementlerinin alımını da zayıflatabilir; ısınmayla birlikte görülen yüksek VPD koşulları bu baskıyı artırarak, doku N ve mikro besin yoğunluklarında ek düşüşlere yol açabilir (Niderkorn ve ark., 2021; Kizildeniz, 2024).

eCO₂ + kronik ısınmanın birlikte denendiği çalışmalar, N alımı ve N-asimilasyon proteinlerinin aktivitesinde ek daralmalarla toplam doku N'nin daha da gerilediğini göstermiştir; bu, ilerleyen on yıllarda ısınmanın eCO₂ ile eş-etkileşim içinde kaliteyi zayıflatabileceğine işaret eder (Jayawardena ve ark., 2017). Besleme açısından sonuçlar açıktır: daha yüksek lif ve daha düşük protein rasyonlarda enerji yoğunlaştırmayı ve by-pass (RUP) proteinin dikkatli dengesini gündeme getirir; mikrobiyal protein sentezi için gereken enerji–azot senkronu bozulduğunda, rumende amonyak ve üre döngüsü artar ve bu durum sütte üre azotu (MUN) ile azot kullanım etkinliği (NUE) göstergelerine yansır. Cambridge University Press & Assessment Nitekim büyük veri/meta-analizler MUN'un rasyon ham protein, kuru madde tüketimi ve idrarla N atımıyla ilişkili olduğunu; NUE'nin ise rasyonun N kaynağı ve rumen senkronuna duyarlı biçimde değiştiğini göstermektedir (Zhang ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2025).

Kalite kaybını telafi için daha yüksek ayak izli protein konsantreleri devreye alındığında, enterik CH₄ sabit kalsa bile yem kaynaklı eCO₂ bileşeni artabilir; bu nedenle eCO₂'nin neden olduğu protein/mineral düşüşleri, LCA metriğiyle değerlendirilmelidir. IPCC PMC+1 notu: eCO₂ ve iklim baskılarının kaba yem kalitesi/genetiği üzerine ABD Ulusal Sağlık Enstitüsü'nün (NIH /

NLM) barındırdığı açık erişimli biyomedikal makale arşivi (PMC) kapsamlı bir derleme, baklagil kuru ollerında kaliteyi belirleyen genetik-çevre etkileşimlerini ve ıslah fırsatlarını ayrıntılandırır. (Kulkarni ve ark., 2018).

2.3. Kaba yem özelinde yonca

Yonca, ruminant rasyonlarının temel lif-protein kaynağı olup (özellikle süt sığırlarında) NDF/NDFd, RDP-RUP dengesi ve tamponlayıcı kapasite üzerinden performansı belirgin biçimde etkiler. eCO_2 + ısı koşullarında yoncada ham protein (HP) azalması, NDF/ADF'de artış ve in vitro sindirilebilirlikte düşüş gösteren kontrollü çalışmalar, yem değerindeki bu kaymanın pratikte enerji artırma ve by-pass (RUP) protein dengelemesini gerektirebileceğini ortaya koymaktadır (Sanz-Sáez ve ark., 2012). Bu bağlamda *Sinorhizobium meliloti* suşları arası farklılıklar kalite yanıtını kısmen modüle edebilmekte; bu da ısınan iklimde simbiyoz yönetimi/ıslah stratejileri için kullanılabilir bir kaldıraç olduğunu düşündürmektedir (Sanz-Sáez ve ark., 2012). Bu bulguların bir kısmı yapılan özgün çalışmalarda bildirilmektedir (Sanz-Sáez ve ark., 2012; Palmonari ve ark., 2014).

eCO_2 'ye eşlik eden fizyolojik kaymalar (WSC/TNC birikimi, C:N artışı, nitrat asimilasyonunun kısmi baskılanması) doku N'yi ve mikrobesein yoğunluğunu düşürerek rasyonun enerji-azot senkronunu zayıflatır; sonuçta MUN eğiliminde artış ve NUE'de gerileme riski doğar; bu da süt sığırı rasyonlarında protein kaynağı kompozisyonu ile hasat/biçim zamanlamasının birlikte yönetilmesini gerektirir (Sanz-Sáez ve ark., 2012; Palmonari ve ark., 2014). Sahada, olgunluk ilerledikçe (ör. 21→35 gün kesim aralığı) HP düşüşü, indigestible NDF (iNDF) artışı ve NDF sindirilebilirliğinde gerileme gözlenmiş; bu da aynı KMT'de süt verimi potansiyelinin düşebileceğini göstermiştir (Palmonari ve ark., 2014). Bu nedenle yaz-sonu/erken sonbahar sıcak dalgası ve kuraklık dönemlerinde biçim zamanını öne almak (tomurcuk-ilk çiçek) ve rasyonda %2–3 KM düzeyinde güvenli yağ + RUP optimizasyonu gibi yoğunlaştırma tedbirleri, kalite kayıplarını dengelemeye yardımcı olabilir (Sanz-Sáez ve ark., 2012; Palmonari ve ark., 2014; Lee ve ark., 2017). eCO_2 altında kök-mikoriza ve *S. meliloti* etkileşimlerinin biyokütle ve kalite bileşenlerini etkileyebildiğini bildiren çalışmalar (AMF + eCO_2 senaryoları) genotip × simbiyoz × çevre etkileşimine işaret eder; pratikte bu, su/ısı stresinin

yoğun olduğu sezonlarda, inokulant seçimi ve çeşit-suş eşlemesi ile belirli kalite göstergelerinde (örn. HP, NDFd) kısmi iyileşme olasılığını gündeme getirir (Baslam ve ark., 2014). Türkiye koşullarına yakın genotipler üzerinde iklim simülasyon seraları ile yürütülen yeni çalışmalar da eCO₂'nin (600–1000 ppm) çeşit-spesifik büyüme ve kalite etkilerini doğrulamakta; tarla uygulamalarında yerel çeşit-suş kombinasyonlarının seçilmesi gereğine dikkat çekmektedir (Kizildeniz, 2024).

Özetle, eCO₂ + ısı altında yoncada beklenen kalite kayması rasyon mühendisliği gerektirir: (i) biçim zamanını fenolojiye duyarlı yönetimi (tomurcuk/ilk çiçek), (ii) RUP ve enerji yoğunlaştırma ile rumen senkronunun korunması, (iii) simbiyotik suş/AMF stratejileri ve çeşit seçimi; bunların her biri süt sığırlarında KMT, MUN, NUE ve sonuçta sütlerin enerji eşdeğerine göre standardize edilmiş süt (ECM) başına GHG yoğunluğu üzerinde marjinal fayda sağlayabilir (Sanz-Sáez ve ark., 2012; Palmonari ve ark., 2014; Lee ve ark., 2017).

2.4. Isı stresi (THI) → Alım, sağlık ve doğurganlık

Isı stresi; kuru madde alımı (KMT), rumen fonksiyonu, oksidatif stres ve endokrin denge üzerinden performansı baskılar; tipik yanıtlar daha az yem tüketimi, artan solunum/kalp atış hızı, rumende tamponlama kapasitesinde azalma ve enerji-protein yaralanımında kayma şeklinde görülür. Bu fizyolojik-davranışsal yanıtların bileşkesi süt verimi ve kompozisyonunda düşüşlerin yanı sıra üreme performansında bozulmalar doğurur (Rodríguez-Venegas ve ark., 2023; Stefańska ve ark., 2024; Oliveira ve ark., 2025).

Kritik THI eşiği yüksek verimli sürülerde daha düşük değerlere kayma eğilimindedir; çok sayıda saha ve derleme çalışması THI $\approx$ 68 bandında dahi süt verimi, davranış ve konfor göstergelerinde kötüleşmenin başlayabildiğini bildirmiştir. Örneğin Meksika'nın kurak-yarı kurak koşullarında 2.467 Holştayn üzerinde yapılan prospektif analizde THI yükseldikçe süt üretimi ve yatarak dinlenme süresi azalmış; bozulmalar THI 68–71 aralığında netleşmiştir. Buna paralel sentezler de THI $\approx$ 68'i başlangıç eşiği olarak rapor eder (Rodriguez ve ark., 2023)

Aşırı sıcak günler sadece günlük ortalamalarla değil, ıslak wet-bulb gibi birleşik göstergelerin saatlik aşımıyla da verimi düşürür; yüksek frekanslı veriyle 12 yıllık >320 milyon günlük kayıt üzerinde yapılan analiz, tek bir şiddetli sıcak günün dahi günlük sütü ~%10’a varan oranlarda azaltabildiğini ve etkinin 10 günden fazla sürebildiğini göstermiştir. Bu bulgular, soğutma uygulamaları devredeyken bile ısı dalgalarının kalıcı “taşan etkiler” yaratabildiğini, dolayısıyla erken ve veri güdümlü soğutmanın önemini vurgular (Palandri ve ark., 2025).

Close-up (kuru dönemin son haftaları) maruziyeti, izleyen laktasyonda verim, fertilité ve immünometabolik profili olumsuz etkileyebilir; prospektif kohort izlemelerinde doğuma -21/-14/-7 günlerdeki THI artışlarıyla ilk laktasyon süt veriminde kg düzeyinde kayıplar ve fertilité gecikmeleri ilişkili bulunmuştur. Bu kanıt, barınak-mikroiklim ve rasyon optimizasyonunun kuru dönemden itibaren başlatılmasını destekler (Stefańska ve ark., 2024).

Bu nedenle “yaz rasyonu” uygulamaları için eşiklerin erken tanımlanması ve düşük THI’lardan itibaren önlemlerin devreye alınması önerilir: enerji yoğunlaştırma (stresli günde KMT düşüşünü telafi için), pozitif DCAD + elektrolit yönetimi (rumen-sistemik tamponlama), serinletme-su stratejileri (gölgeleme, fan-püskürtme kombinasyonları, suya erişim) ve yakın dönem için ısı yükünü azaltan barınak pratikleri bu paketin çekirdeğini oluşturur. Güncel derleme ve senaryo çalışmalarında bu araçların bir arada kullanımı üretim kaybını anlamlı azaltabilse de, aşırı sıcak günlerde tam telafinin her zaman mümkün olmadığı vurgulanır (Oliveira ve ark., 2025)

2.5. Su ve hidrolojik kısıtlar → Tuzluluk, kalite ve hasat zamanı

Kuraklık, sulama kısıtı ve artan tuzluluk kaba yemlerde selüloz/lignin oranlarını ve kül içeriğini etkileyebilir; biçim zamanlaması uzadıkça sindirilmeyen NDF fraksiyonu yükselir, bu da rasyonda enerji yoğun girdilere bağımlılığı artırır. Hidrolojik baskıların mekânsal heterojenliği, bölgesel yem üretiminin kendi kendine yeterliliğini aşındırarak ithalat duyarlılığı ve fiyat oynaklığı yaratır (IPCC, 2022; FAO, 2023).

Kuraklık, su kıtlığı ve artan tuzluluk baskısı, hem bitkisel üretim sistemlerinin fizyolojik işleyişini hem de kaba yemlerin besleme değerini doğrudan etkileyen başlıca hidrolojik stres faktörleridir. Bitkiler, özellikle yarı kurak ve kurak ekosistemlerde, su potansiyelindeki azalmaya osmotik adaptasyon yoluyla yanıt verirken, hücre duvarı bileşenlerinde (selüloz, hemiselüloz, lignin) yeniden yapılanmalar meydana gelir. Bu süreç, yapısal karbonhidrat oranlarının artmasına ve sindirim açısından dirençli NDF fraksiyonunun yükselmesine neden olur (Constas ve ark., 2021; IPCC, 2022).

Sulama suyu kalitesindeki bozulma —özellikle sodyum ve klorür iyonlarının birikimiyle artan elektriksel iletkenlik (EC)—, yem bitkilerinde iyon dengesini bozarak fizyolojik stres yaratır. Bu da fotosentetik etkinliğin azalması, klorofil içeriğinde düşüş ve biyokütle veriminde gerileme gibi etkilerle sonuçlanır. Artan tuzlulukla birlikte kök bölgesinde suyun biyoyararlanımı düşer, bitki efektif olarak “fizyolojik kuraklık” yaşar (Ayers ve Westcot, 1985; Munns ve Tester, 2008).

Biçim zamanlaması (hasat zamanı) uzadıkça, bitki dokularında lignifikasyon süreci hızlanır; bu da sindirilebilir enerji oranlarının düşmesine ve rasyonlarda yüksek enerji yoğunluğuna sahip konsantre girdilere (tahıllar, yağlı tohum küspeleri) olan bağımlılığın artmasına yol açar. Sonuçta, rasyon maliyetleri yükselir, yem verim zincirinin enerji etkinliği azalır (Van Soest, 1994; NRC, 2021). Bölgesel düzeyde değerlendirildiğinde, hidrolojik baskıların mekânsal heterojenliği kaba yem üretiminde yerel arz dengesizlikleri yaratır. Bu durum, ülkelerin ve bölgelerin yem ithalatına duyarlılığını artırarak fiyat oynaklığı ve tedarik zinciri kırılganlıkları doğurur (FAO, 2023; IPCC, 2022).

Uzun vadede bu eğilim, tarımsal üretim sistemlerinde su verimliliği temelli stratejilerin (tuza toleranslı türlerin seçilmesi, damla sulama, zamanında biçim optimizasyonu) zorunluluk haline gelmesine neden olmaktadır. IPCC’nin Altıncı Değerlendirme Raporu’na göre, 2050 sonrasında Akdeniz havzası ülkelerinde tarımsal su mevcudiyetinin %10–30 oranında azalması, kaba yem üretiminin coğrafi desenini değiştirecek ve hayvansal üretim zincirlerinde bölgesel dengesizlikleri derinleştirecektir (IPCC, 2022).

2.6. LCA bağlamında “yem → ürün” emisyon zinciri

Yem kalitesindeki düşüşler (yoncada HP -2 puan), rasyon hedeflerini tutturmak için soya küspesi gibi daha yüksek emisyonlu girdilere kaymaya yol açabilir; bu, yem kaynaklı CO₂e bileşenini büyütür. Öte yandan besleme-temelli azaltımlar (3-NOP ile enterik CH₄'te ~%20–40; korunmuş yağlarla ~%5–10) net yoğunluğu aşağı çekebilir. Bu nedenle, iklim kaynaklı kalite/verim kaymalarını GLEAM 3.0 gibi araçlarla bütün sistem sınırları içinde değerlendirmek, politika ve işletme düzeyinde karşılaştırılabilir sonuçlar üretir (FAO 2022; IPCC, 2022).

Yem üretimi, hayvansal ürünlerin toplam karbon ayak izinde genellikle en yüksek paya sahip aşamalardan biridir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi LCA yaklaşımıyla bakıldığında, yem bileşenlerinin kalitesi ve formülasyonu, “çiftlikten sofraya” karbon yoğunluğunu belirleyen kritik değişkenlerdendir. Özellikle kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık stresleri altında kaba yemlerde ham protein içeriğinin düşmesi rasyon dengesini bozar; bu durumda hayvanın besin gereksinimlerini karşılamak için soya küspesi, mısır gluten unu veya kanola küspesi gibi daha yüksek emisyonlu (embedded emissions) hammaddelere yönelim artar (FAO, 2023; Herrero ve ark., 2016).

Bu değişim zinciri, yem kaynaklı CO₂e emisyon bileşenini büyütür; çünkü yüksek proteinli ithal girdilerin üretimi ve taşınması, çoğunlukla yüksek arazi kullanımı değişimi (LUC) ve fosil yakıt tüketimiyle ilişkilidir. Dolayısıyla yem kalitesindeki küçük bir düşüş bile, sistemin toplam sera gazı profilinde orantısız bir artışa neden olabilir (Model, 2017; Caro ve ark., 2018).

Öte yandan, besleme-temelli azaltım stratejileri bu etkiyi kısmen dengeleyebilir. Örneğin, 3-NOP uygulamasıyla enterik metan salımı %20–40 oranında düşürülebilirken, korunmuş yağ veya doymuş yağ katkılarıyla bu oran ek olarak %5–10 civarında azaltılabilmektedir. Benzer biçimde, nitrifikasyon inhibitörleri ve rasyonel protein dengesi (amino asit temelli optimizasyon) stratejileri de, atık azotu (NH₃ ve N₂O) azaltarak karbon yoğunluğunu aşağı çeker (Hristov ve ark., 2022).

Bu nedenle, iklim kaynaklı kalite veya verim kaymalarını değerlendirirken yalnızca tek bir aşama yerine, bütün sistem sınırlarını dikkate almak gerekir. FAO'nun *Global Livestock Environmental Assessment Model* aracı olan GLEAM 3.0, üretim zincirinin her aşamasındaki (yem üretimi, enterik fermentasyon, gübre yönetimi, enerji kullanımı) emisyonları bütünleştirerek politika, yatırım ve işletme düzeyinde karşılaştırılabilir emisyon göstergeleri sağlar (FAO, 2023; IPCC, 2022).

Bu yaklaşım, hem ülke hem de çiftlik düzeyinde iklim uyum stratejilerinin (ör. düşük emisyonlu yem formülasyonu, yerel hammadde optimizasyonu, karbon ayak izi etiketleme) etkilerini nesnel biçimde kıyaslama olanağı sunar.

2.7. Yönetim çıktılarına köprü: Hassas besleme ve erken uyarı

Sensör verileri (mikroiklim, aktivite/ruminasyon), süt kayıtları (MUN, süt bileşimi) ve karar modelleri birleştirilerek THI tabanlı erken uyarılar verilebilir; pozitif DCAD, elektrolit desteği, su yönetimi ve soğutma kararları gerçek zamanlı optimize edilir. Bu altyapı, MRV ile uyumlu GHG/N giriş-çıkış takibini mümkün kılar ve LCA sonuçlarının pratik iyileştirilmesine hizmet eder (IPCC, 2022; FAO, 2023).

Hayvansal üretimde iklimsel streslerin yönetimi, artık yalnızca fizyolojik dayanıklılık veya altyapı yatırımlarıyla değil, veri tabanlı karar destek sistemleri aracılığıyla bütüncül biçimde yürütülmektedir. Bu kapsamda, hassas besleme (precision feeding) yaklaşımları ve erken uyarı algoritmaları, LCA ve GHG izleme altyapısının saha uygulamasına bağlanmasında kilit rol oynar (FAO, 2023; IPCC, 2022).

Sistem düzeyinde, sensör tabanlı veri akışları (mikroiklim sensörleri, ruminasyon/aktivite izleme yakalıkları, yem tüketim sensörleri) ile süt kayıtlarından türetilen biyobelirteçler (süt üre nitrojeni [MUN], süt bileşimi, somatik hücre sayısı) entegre edilerek ısı stresi ve metabolik dengesizlikler için erken uyarı sinyalleri üretilebilir. Bu sinyaller, özellikle ısı-nem indeksi (THI) eşiğine dayalı modellerle ilişkilendirildiğinde, sürü düzeyinde risk temelli

yönetim müdahalelerini zamanında başlatmayı sağlar (Giannone ve ark., 2023; Nam ve ark., 2024).

Erken uyarı çıktıları; pozitif DCAD rasyon formülasyonu, elektrolit ve tamponlayıcı destek planlaması, su tüketim yönetimi ve mekanik soğutma stratejilerinin (fan, sprinkler, sisleme vb.) otomatik veya operatör destekli biçimde optimize edilmesine olanak tanır. Böylece, üretim performansı korunurken aynı zamanda ısı stres kaynaklı emisyon artışları ve verim kayıpları sınırlandırılır (Polsky ve von Keyserlingk, 2017).

Bu altyapı, yalnızca hayvan refahı ve üretim verimliliği açısından değil, aynı zamanda MRV çerçeveleriyle de uyumlu bir emisyon veri zinciri oluşturur. Bu sayede, azot (N) giriş-çıkış dengesi, CH₄/N₂O emisyon ölçütleri ve enerji kullanımı gerçek zamanlı olarak izlenebilir hale gelir. Elde edilen izlenebilir veriler, FAO'nun *GLEAM* veya IPCC Tier 2–3 metodolojileriyle bütünleştirildiğinde, LCA çıktılarının pratik olarak iyileştirilmesi ve çiftlik yönetim kararlarının iklim hedefleriyle hizalanması mümkün olur (FAO, 2023; IPCC, 2022).

Tablo 1. CO₂ → protein düşüş katsayıları (özet)

Ürün grubu	Tipik eCO ₂ (≈ 550 ppm) etkisi	Not
C ₃ Tahılları	Protein −%3–17	Birçok çalışmada Fe/Zn'de de düşüş; “karbon/mineral” oranı artışı. (Rosenzweig ve ark., 2013)
Soya	Protein ve bazı minerallerde düşüş; büyüklük ürüne/çeşide göre değişken	Tohum proteininde azalma raporları var ancak aralık tür/çevreye bağlı. (Myers ve ark., 2014)
Kaba yemler	HP'de düşüş eğilimi; NDF/ADF ↑; sindirilebilirlikte azalma bildirildi	Etki büyüklüğü; iklim senaryosu, kesim devresi, S. meliloti suşuna bağlı. (Sanz-Sáez ve ark., 2012)

Tablo 2. Adaptasyon/Azaltım seçenekleri (besleme odaklı)*

Müdahale	Primer hedef	Tipik etki büyüklüğü	Not
3-NOP	Enterik CH ₄ ↓	−%22–35 (ortalama); bazı denemelerde ~−%28–34	Verime olumsuz etkisiz; doz/diğer rasyon faktörlerine bağlı heterojenlik. (Hristov ve ark., 2022)
Korunmuş yağ (≈ %2–3 KM)	CH ₄ ↓; enerji yoğunluğu ↑	−%5–10 tipik	Kaynak/katkı tipine ve toplam yağ düzeyine duyarlı. (Zhang ve ark., 2024)
Tane/nişasta dengesi	DMI ve enerji dengesi	Isı stresinde net enerji açığını sınırlar	CH ₄ /ECM üzerinde ikincil etkiler. (IPCC/derle (IPCC 2022)

Müdahale	Primer hedef	Tipik etki büyüklüğü	Not
DCAD/elektrolit optimizasyonu	Isı stresinde asit-baz/sıvı dengesi	DMI ve süt verimi kayıplarını sınırlayabilir	“THI $\approx$ 68” altındaki erken soğutma+DCAD birlikte planlanmalı. (Zhang ve ark., 2024)

*Varsayım: Yaz döneminde yonca HP'si %20'den %18'e düştü (−2 puan). Süt ineği TMR'ında HP hedefini tutturmak için soya küspesi +10 kg/ton KM arttırıldı; diğer bileşenler sabit. Ortalama ayak izi: yonca alanı 300 kg CO₂e/t KM, soya küspesi 600 kg CO₂e/t KM (nakliye/işleme dâhil) ve enterik CH₄ sabit. Sonuç (illüstratif): ton TMR başına ~+3 kg CO₂e artış (yaklaşık +%1–2), rasyon maliyetinde +%0,8–1,5; eğer aynı anda 3-NOP uygulanırsa, enterik CH₄'te −%25 ile birim süt GHG yoğunluğu net azalır. (Hesap mantığı GLEAM/LCA literatürü ve 3-NOP meta-analiz aralıklarıyla tutarlıdır.) (MaeLeod ve ark., 2018)

Tablo 3. Rasyon Bileşenlerinde Değişime Bağlı CO₂e Emisyon Farkı (kg/t KM)*

Girdi	Eski (kg/t KM)	Yeni (kg/t KM)	Fark	Emisyon faktörü (kg CO ₂ e/kg)	CO ₂ e farkı (kg/t)
Yonca	400	400	0	0,30	0
Soya küspesi	150	160	+10	0,60	+6
Diğer	450	440	−10	0,30 (varsayım)	−3
Toplam	1000	1000	0	—	+3 (~+%1–2)

*Emisyon faktörleri öncelikle GFLI veri tabanından (ülke/bölgeye özgü uygun veri setleri) alınmıştır; uygun veri bulunmayan kalemlerde Agri-footprint ve ecoinvent ile çapraz kontrol yapılmıştır. CO₂e hesapları GWP-100 (IPCC 2019 Refinement/AR6 listeleri) kullanılarak yapılmıştır. ‘Diğer’ için 0,30 kg CO₂e/kg varsayımı, LEAP yönergelerine uygun olarak benzer düşük işleme düzeyindeki kaba yem/yan ürün kategorilerinin aralığına dayanır (van Paassen ve ark., 2019; AF, 2025; GFLI, 2025).

Sonuç olarak, bu dijital–biyofiziksel entegrasyon hattı, saha verisinin iklim hesaplarına dönüşümünü sağlar; yani, “ölçülen davranıştan doğrulanabilir azaltım” zincirini kurar. Böylece LCA modelleri yalnızca retrospektif analiz araçları değil, canlı yönetim sistemlerinin sürdürülebilirlik pusulaları haline gelir.

3. Küresel iklim değişikliğinin etkilerine karşı farklı çözüm önerileri

Bu metin; ruminant sistemlerinde iklim baskıları altında sürdürülebilir üretimi desteklemek amacıyla, kuru madde tüketimi (KMT), protein ve selüloz/NDF, konsantre seviyesi, yağ ekleme, besleme sıklığı, katkı maddeleri ve metan azaltımı başlıklarını güncel literatür ışığında bütüncül bir çerçevede özetler. Odak; ürün-odaklı sera gazı yoğunluğunu (kg CO₂e/kg ECM) düşürürken üretim, refah ve ekonomik çıktıları korumaktır (IPCC, 2022; FAO, 2023; NASEM, 2021).

3.1. Kuru Madde Tüketimi (KMT)

Isı stresi KMT'yi anlamlı biçimde düşürür; mekanizma davranışsal (yem alma paterninin gece saatlerine kayması), endokrin (iştah düzenleyici sinyaller) ve rumen mikrobiyotasında asit yükü artışıyla ilişkilidir. $THI \approx 68-72$ aralığında bile süt verimi ve KMT üzerinde olumsuz etkiler bildirilmiştir (Polsky ve von Keyserlingk, 2017; St-Pierre ve ark., 2003). Yönetim yanıtları arasında gölgeleme/soğutma, pozitif DCAD rasyonları, elektrolit-tampon desteği ve yüksek sindirilebilirlikte kuru madde kullanımı öne çıkar (NASEM, 2021). KMT'nin korunması, ürün başına emisyon yoğunluğunu azaltmada belirleyici olduğu için LCA sonuçlarına doğrudan yansır (FAO, 2023; IPCC, 2022).

3.2. Rasyon Protein Konsantrasyonu

Aşırı ham protein (HP) tüketimi MUN'u (süt üre azotu) yükseltir, idrar N kaybını artırır ve NUE'yi (azot kullanım verimliliği) düşürür; bu da N_2O emisyon potansiyelini yükseltir (NASEM, 2021). Sahada MUN'un 10–16 mg/dL aralığında tutulması, protein-enerji senkronizasyonu ve amino asit temelli dengeleme ile mümkündür (Spek ve ark., 2013; Wattiaux ve Karg, 2004). Gereksinime göre ayarlanmış HP formülasyonu, süt proteini ve verimi korunurken LCA'de yem kaynaklı CO_2e ve reaktif azot çıktılarını azaltır (Hristov ve ark., 2013).

3.3. Rasyon Selüloz/NDF İçeriği

NDF, geviş ve tükürük akışını uyararak rumen pH tamponlanmasını destekler; ancak aşırı NDF yem geçiş hızını düşürür ve enerji alımını sınırlar. Pik laktasyonda ~%28 düzeyi (rasyon yapısına bağlı değişkenlik) performans ve sağlık açısından avantaj bildirilmiştir; %25'in altı SARA (düşük pH + tekrarlayıcı asit yükü + sessiz verim kaybı) riskini, %34'ün üstü ise enerji kısıtını artırabilir. NDF'nin kaynağı da kritiktir: çayır/yonca temelli NDF, nişasta-yoğun mısır silajına kıyasla metan verimini farklı etkileyebilir (Hammond ve ark., 2016; Beauchemin ve ark., 2020).

3.4. Rasyonların Konsantre Yem Seviyesi

Konsantre artışı propiyonat oluşumunu artırarak enterik CH_4 verimini (g/kg KMT) düşürebilir; fakat toplam günlük CH_4 ve emisyon yoğunluğu, foraj sindirilebilirliği, nişasta kaynağı ve işlenme derecesi ile birlikte değerlendirilmelidir (Beauchemin ve ark., 2020). Aşırı konsantre kullanımında

SARA, tırnak sağlığı ve süt bileşimi riskleri artabilir; bu nedenle tamponlar ve etkin kaba yem NDF'siyle denge esastır (NASEM, 2021).

3.5. Rasyona Yağ Eklenmesi

Korunmuş yağlar ve belirli yağ asidi profilleri, enterik metanı genelde %5–10 azaltırken rasyonun enerji yoğunluğunu yükseltir; ısı stresinde KMT düşüşünün etkisini kısmen telafi edebilir (Hristov ve ark., 2013; Beauchemin ve ark., 2020). Doz/kompozisyon seçimi süt yağı ve proteinini etkileyebileceğinden, kaynak (palm, kalsiyum tuzları, by-pass lipidler) ve düzey titizlikle yönetilmelidir (NASEM, 2021).

3.6. Ruminantlarda Besleme Sıklığının Artırılması

TMR sunum sıklığının ve yem itmenin artırılması, rasyon ayrıştırmayı azaltarak rumen pH dalgalanmalarını sınırlayabilir; sıcak koşullarda süt verimi ve stabilitesine katkı sağlayabilir (DeVries ve ark., 2005; Hart ve ark., 2014). Etki büyüklüğü laktasyon evresi, otomatik sağım sistemleri ve rasyonun fiziksel efektifliği ile değişkendir.

3.7. Katkı Maddelerinin Kullanımı

- 3-NOP (3-nitrooxypropanol): Meta-analiz ve saha denemeleri enterik CH₄'te %20–40 azalma bildirmektedir; etkinlik doz, diyet NDF/yağ düzeyi ve uygulama süresine duyarlıdır (Hristov ve ark., 2022; Dijkstra ve ark., 2018). Performans etkisi çoğu koşulda nötr veya sınırlı düzeydedir.

- Deniz yosunu (*Asparagopsis spp.*): Bazı denemelerde %60–80'e varan CH₄ azalımı görülse de bromoform güvenliği, tedarik ve kalıcılık başlıkları araştırılmaktadır (Roque ve ark., 2021).
- Kondanse tanenler ve esansiyel yağlar: Metan ve azot atım paterni üzerinde olumlu etkiler bildirilebilir; ancak yem alımı/sindirilebilirlik etkileri kaynağa ve doza bağlı değişir (Jayanegara ve ark., 2012; Maia ve ark., 2022).
- Nitr at ve iyonoforlar: Uygun doz ve yönetimde CH₄ azaltımına katkı sağlayabilir; bütün çiftlik LCA'sında gübre ve enerji kullanımıyla birlikte değerlendirilmelidir (Beauchemin ve ark., 2020).

3.8. Metan Üretiminin Azaltılması: Bütüncül Yaklaşım ve Ürün Bazlı Yoğunluk

Güncel derlemeler, besleme (yüksek sindirilebilir foraj, dengeli konsantre, lipid ve hedeflenmiş katkılar) + yönetim (serinletme, yemleme

zamanı, gübre yönetimi) kombinasyonlarının ECM başına emisyon yoğunluğunu anlamlı düşürebildiğini göstermektedir (Beauchemin ve ark., 2020; FAO, 2023). GLEAM 3.0 ve IPCC Tier 2–3 çerçeveleri, enterik CH₄, gübre N₂O ve yem kaynaklı CO₂e bileşenlerini bir araya getirerek politika ve işletme düzeyinde karşılaştırılabilir sonuçlar üretir (Gerber ve ark., 2013; IPCC, 2022).

KAYNAKLAR

1. AF, (2025). *Tarım/gıda için kapsamlı LCI; yem bileşenleri dâhil*. Agri-footprint– Sürüm 5.0/6.0 https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/Agri-Footprint-5.0-Part-2-Description-of-data.pdf?utm_source=chatgpt.com (erişim tarihi 10/11/2025).
2. Augustine, D. J., Blumenthal, D. M., Wilmer, H., Porensky, L. M., & Derner, J. D. (2018). Elevated CO₂ induces substantial and persistent declines in forage quality irrespective of warming in mixedgrass prairie. *Ecological Applications*, 28(3), 721–735. <https://doi.org/10.1002/eap.1673>
3. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1). Food and Agriculture Organization. openknowledge.fao.org
4. Baslam, M., Antolín, M. C., Gogorcena, Y., Muñoz, F., & Goicoechea, N. (2014). Changes in alfalfa forage quality and stem carbohydrates induced by arbuscular mycorrhizal fungi and elevated atmospheric CO₂. *Annals of Applied Biology*, 164(2), 190–199. <https://doi.org/10.1111/aab.12092> Wiley Online Library
5. Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Eckard, R. J., & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis—Lessons learned and future challenges. *Animal*, 14(S1), s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001783>
6. Bloom, A. J., Burger, M., Asensio, J. S. R., & Cousins, A. B. (2010). Carbon dioxide enrichment inhibits nitrate assimilation in wheat and Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 9409–9414. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004938107>
7. Caro, D., Davis, S. J., Kebreab, E., & Mitloehner, F. (2018). Land-use change emissions from soybean feed embodied in Brazilian pork and poultry meat. *Journal of cleaner production*, 172, 2646–2654.
8. Conostas, M. A., d’Errico, M., Hoddinott, J. F., & Pietrelli, R. (2021). *Resilient food systems—A proposed analytical strategy for empirical applications: Background paper for The State of Food and Agriculture 2021*. FAO Agricultural Development Economics Working Paper 21–10. Food & Agriculture Org..

9. Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & van Gastelen, S. (2018). Short-term strategies for reducing methane emission from ruminants: Modelling meta-analysis of dietary mitigation options. *Animal*, 12(S2), s272–s283. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001228>
10. DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2005). Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3553–3562. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73039-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73039-8)
11. Duru, S. (2018). Determination of starting level of heat stress on daily milk yield in Holstein cows in Bursa city of Turkey. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 65(2), 193–198. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/d8154eb2-5857-4345-aab7-3022ec2e4ae1/content>
12. FAO. (2022). *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) 3.0: Model description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_3.0_Model_description.pdf
13. FAO. (2023). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
14. Gerber, P. J., et al. (2013). Tackling climate change through livestock. Food and Agriculture Organization.
15. GFLI, (2025). (Global Feed LCA Institute) – *Yem hammaddeleri için standart LCA veri setleri*. <https://globalfeedlca.org/branded-data-participants/> (erişim tarihi 10/11/2025).
16. Giannone, C., Bovo, M., Ceccarelli, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2023). Review of the heat stress-induced responses in dairy cattle. *Animals*, 13(22), 3451.
17. Hart, K. D., McBride, B. W., & DeVies, T. J. (2014). Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1713–1724.
18. Hammond, K. J., et al. (2016). Review of nutritional strategies to reduce methane emissions from ruminants. *Animal Production Science*, 56(3), 469–485.

- 19.Herrero, M., Wiersenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Thornton, P. K., Havlík, P., de Boer, I., & Gerber, P. J. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- 20.Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., et al. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5045–5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>
- 21.Hristov, A. N., Kebreab, E., Niu, M., Oh, J., Bannink, A., Bayat, A. R., ... & Yu, Z. (2022). Global methane mitigation in livestock systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 951843. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.951843>
- 22.IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (WGII, Ch. 5: Food, Fibre and Other Ecosystem Products). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-5/> IPCC
- 23.Jayawardena, D. M., Heckathorn, S. A., Bista, D. R., Mishra, S., Boldt, J. K., & Krause, C. R. (2017). Elevated CO₂ plus chronic warming reduce nitrogen uptake and levels or activities of nitrogen-uptake and-assimilatory proteins in tomato roots. *Physiologia Plantarum*, 159(3), 354-365.
- 24.Jayanegara, A., et al. (2012). Meta-analysis on the use of tannins in ruminant diets to mitigate methane emissions. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96, 365–375.
- 25.Kebreab, E., Bannink, A., Pressman, E. M., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S., & Dijkstra, J. (2023). A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 927–936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- 26.Kizildeniz, T. (2024). Assessing the growth dynamics of alfalfa varieties (*Medicago sativa* cv. Bilensoy-80 and Nimet) response to varied carbon dioxide concentrations. *Heliyon*, 10(7), e28975. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28975> (Açık erişim: PMC) PMC
- 27.Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production:

- Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- 28.Kulkarni, K. P., Tayade, R., Asekova, S., Song, J. T., Shannon, J. G., & Lee, J. D. (2018). Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. *Frontiers in plant science*, 9, 1314.
- 29.Lee, M. A., Davis, A. P., Chagunda, M. G. G., & Manning, P. (2017). Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*, 14(6), 1403–1417. <https://doi.org/10.5194/bg-14-1403-2017>.
- 30.Loladze, I. (2014). Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition. *eLife*, 3, e02245. <https://doi.org/10.7554/eLife.02245>
- 31.Maia, M. R. G., Fonseca, A. J. M., Oliveira, H. M., Mendonça, C., & Cabrita, A. R. J. (2022). The potential role of phytochemicals as bioactive compounds in ruminant nutrition to reduce methane emissions. *Animal Nutrition*, 8, 100–112.
- 32.MacLeod, M. J., Vellinga, T., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., ... & Gerber, P. J. (2018). Invited review: a position on the global livestock environmental assessment model (GLEAM). *Animal*, 12(2), 383-397.
- 33.Müller, C., Franke, J. A., Jägermeyr, J., Ruane, A. C., Elliott, J., Moyer, E. J., ... Zabel, F. (2021). Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd8fc>
- 34.Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
PubMed+2ResearchGate+2
- 35.Model, E. A. (2017). The global livestock environmental assessment model. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 22-6.

36. Myers, S. S., Zanutti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D., Bloom, A. J., ... & Usui, Y. (2014). Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139-142.
37. Nam, K. T., Choi, N., Na, Y., & Choi, Y. (2024). Effect of the Temperature–Humidity Index on the Productivity of Dairy Cows and the Correlation between the Temperature–Humidity Index and Rumen Temperature Using a Rumen Sensor. *Animals*, 14(19), 2848.
38. NASEM. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (8th rev. ed.). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
39. Niderkorn, V., Morvan-Bertrand, A., Le Morvan, A., Benot, M. L., Augusti, A., Decau, M. L., & Picon-Cochard, C. (2021). Effects of elevated CO₂ and extreme climatic events on forage quality and in vitro rumen fermentation in permanent grassland. *Biogeosciences Discussions*, 2021, 1-25.
40. Palandri, C., Frank, E. G., Kimhi, A., Lavon, Y., Ezra, E., & Fishman, R. (2025). High-frequency data reveal limits of adaptation to heat in animal agriculture. *Science Advances*, 11(27), eadw4780.
41. Palmonari, A., Fustini, M., Canestrari, G., Grilli, E., & Formigoni, A. (2014). Influence of maturity on alfalfa hay nutritional fractions and indigestible fiber content. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7729–7734. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8123> (PubMed PMID: 25262189) PubMed
42. Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
43. Rodriguez-Venegas, R., Meza-Herrera, C. A., Robles-Trillo, P. A., Angel-Garcia, O., Legarreta-Gonzalez, M. A., Sánchez-Vocanegra, H. F., & Rodriguez-Martinez, R. (2023). Effect of THI on milk production, percentage of milking cows, and time lying in holstein cows in Northern-Arid Mexico. *Animals*, 13(10), 1715.
44. Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R. D., de Nys, R., Duarte, T. L., Yang, X., & Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *Plos one*, 16(3), e0247820.

- 45.Oliveira, C. P., Voltolini, T. V., Garcia, A. R., & Silva, R. A. (2025). Heat stress in dairy cows: Impacts, identification, and mitigation strategies—A review. *Animals*, 15(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249> MDPI
- 46.Rodríguez-Venegas, R., Meza-Herrera, C. A., Robles-Trillo, P. A., Ángel-García, O., & Martínez-Rosas, R. (2023). Effect of THI on milk production, percentage of milking cows and time lying in Holstein cows in northern-arid Mexico. *Animals*, 13(10), 1715. <https://doi.org/10.3390/ani13101715> MDPI+2PubMed+2
- 47.Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P., ... Winter, J. M. (2013). The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.011>
- 48.Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A., & Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 1986–1997. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641>
- 49.Sanz-Sáez, Á., Erice, G., Aguirreolea, J., Muñoz, F., Sánchez-Díaz, M., & Irigoyen, J. J. (2012). Alfalfa forage digestibility, quality and yield under future climate change scenarios vary with *Sinorhizobium meliloti* strain. *Journal of Plant Physiology*, 169(8), 782–788. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.010>
- 50.Shephard, R., Rowe, J., & Dominik, P. (2024). A meta-analytical approach for estimating methane suppression across delivery systems. *Frontiers in Animal Science*, 11, 1451266. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1451266>
- 51.Spek, J. W., Dijkstra, J., van Duinkerken, G., & Bannink, A. (2013). A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *Journal of Agricultural Science*, 151(3), 407–423. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000561> Cambridge University Press & Assessment

- 52.Stefańska, B., Pruszyńska-Oszmałek, E., Fievez, V., Purwin, C., & Nowak, W. (2024). Impact of heat stress during close-up dry period on performance, fertility and immunometabolic blood indices of dairy cows: Prospective cohort study. *Scientific Reports*, 14, 21211. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72294-2> Nature+1
- 53.St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86(E. Suppl.), E52–E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- 54.Wattiaux, M. A., & Karg, K. L. (2004). Protein level for dairy cows: Effects on milk production and urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, 87, 3481–3491.
- 55.West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- 56.van Paassen, M., Braconi, N., Kuling, L., Durlinger, B., & Gual, P. (2019). *Agri-footprint 5.0*. Blonk Consultants: Gouda, The Netherlands, 134.
- 57.Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press. (Ayrıca bkz. JSTOR kayıt sayfası). JSTOR
- 58.Zhang, J., Zheng, N., Shen, W., Zhao, S., & Wang, J. (2020). Synchrony degree of dietary energy and nitrogen release influences microbial community, fermentation, and protein synthesis in a rumen simulation system. *Microorganisms*, 8(2), 231.
- 59.Zhang, C., Jiang, X., Wu, S., Zhang, J., Wang, Y., Li, Z., & Yao, J. (2024). Dietary fat and carbohydrate-balancing the lactation performance and methane emissions in the dairy cow industry: A meta-analysis. *Animal Nutrition*, 17, 347-357.
- 60.Zhao, X., Zang, C., Zhao, S., Zheng, N., Zhang, Y., & Wang, J. (2025). Assessing milk urea nitrogen as an indicator of protein nutrition and nitrogen utilization efficiency: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 108(5), 4851-4862.

BÖLÜM 13

ÇİFTLİK HAYVANLARINDA YAPAY ZEKA İLE SESLERİN ANALİZİ

Doktora Öğrencisi İrfan İNAN¹
Doç. Dr. Halit Deniz ŞİRELİ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132556>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Van, Türkiye
İrfaninan45@gmail.com Orcid ID: 0009-0007-0084-1394

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni, Diyarbakır
hdsireli@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-0711-0750

1.GİRİŞ

Hayvanların çıkardıkları vokalizasyonlar, biyolojik ve davranışsal süreçler hakkında kapsamlı bilgi sağlayan zengin veri kaynaklarıdır. Bu seslerin yüksek kalitede kaydedilmesi, uygun ön işleme adımlarından geçirilmesi ve analizi, organizmaların stres, hastalık veya çevresel rahatsızlık gibi durumlarının yanı sıra sosyal ve duygusal durumlarına ilişkin dijital biyobelirteçlerin elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Son yıllarda, bu alandaki araştırmalar akustik sinyallerin yanı sıra dilsel içerik, çevresel değişkenler ve davranışsal göstergeleri bir araya getiren çok kaynaklı veri füzyonu (multi-source data fusion) yaklaşımlarını benimseyerek, hayvanların duygusal durumlarının daha hassas biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Manikandan ve Neethirajan, 2025). Örneğin, Hou ve ark. (2024) domuz vokalizasyonlarını çoklu akustik özelliklerin entegrasyonu ile sınıflandırarak model doğruluğunu artırmışlardır. Benzer şekilde, Jobarteh, Mincu, Gavojdian ve Neethirajan (2024), süt ineklerinin seslerini hem akustik hem de dilsel özellikler açısından analiz ederek arousal (uyarılmışlık) ve contentment (memnuniyet) durumlarını ayırt etmişlerdir. Ayrıca, Manikandan ve Neethirajan (2025) kümes hayvanlarında sağlık ve davranış göstergelerini vokal sinyaller aracılığıyla non-invaziv biçimde izleyebilen bir makine öğrenmesi çerçevesi geliştirmiştir. Bu bulgular, sistematik derleme çalışmalarının da ortaya koyduğu üzere, vokalizasyon örüntülerinin hayvan refahı değerlendirmelerinde önemli göstergeler olarak kullanımının giderek arttığını; ancak saha koşullarında veri toplama standartlarının oluşturulması ve modellerin genellenebilirliğinin artırılması konularında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca hayvan sesleri, özellikle sığır, kümes hayvanları ve domuz gibi türlerde, hayvancılık sistemlerinde müdahalesiz refah değerlendirmesi için değerli veriler sunar; yapılan çalışmalar, vokalizasyonların refah göstergesi olarak kullanılabileceğini ve ses kaynaklarının güvenilir biçimde tanımlanabileceğini ortaya koymaktadır (Ramos Niño ve ark, 2025). Hayvan seslerinin çok kaynaklı veri birleştirme yöntemiyle analiz edilmesi, duygusal durumların değerlendirilmesi ve hassas hayvancılık kapsamında hayvan refahının artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Vokalizasyonların doğru yorumlanması, yalnızca hayvan sağlığının izlenmesi ve refahının korunması açısından değil; aynı zamanda etik,

çevresel, ekonomik ve halk sağlığı boyutlarında çok yönlü etkiler ortaya koyan kritik bir unsurdur (Ntalampiras, 2025; Jobarteh vd., 2024). Zoolojik tesislerde, tarımsal üretim işletmelerinde, evcil hayvan barınaklarında ve vahşi yaşam koruma alanlarında çalışan araştırmacılar, hayvanların çıkardıkları seslerin frekansları, süreleri ve akustik yapıları gibi parametreleri analiz ederek, bu akustik etkinlik ölçümlerini sistematik refah değerlendirmelerine ve bireysel hayvanların sürekli izleme programlarına entegre etme potansiyeline sahiptir. Vokal göstergelerdeki duygusal değer (valans) değişimlerinin tespit edilmesi, refah bilimcilerine bir bireyin refahının tehlikeye girdiği durumlarda erken müdahale olanağı sunmakta ve daha bilinçli, kanıta dayalı yönetim kararlarının alınmasına katkı sağlamaktadır (Whitham ve Miller, 2024).

Yapay zekâ teknolojilerinin, özellikle bilgisayarla görme (computer vision) alanının gelişmesi, hayvan refahının izlenmesi ve iyileştirilmesinde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Son on yılda makine öğrenimi, nesnelerin interneti (IoT) sistemleri, bilgisayarlı görme ve sensör teknolojilerindeki ilerlemeler; kümes hayvanları, domuzlar, süt sığırları ve koyunlar gibi farklı hayvan türlerinde yönetim uygulamalarını önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu teknolojiler, hayvanların sağlık durumunun, davranış örüntülerinin ve vokalizasyonlarının analiz edilmesiyle refah sorunlarının erken tespitine imkân tanımakta ve yirmi dört saat boyunca kesintisiz izleme sağlayarak hassas hayvancılık hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ses analizine dayalı yapay zekâ, biyolojik anlamlılığı hesaplamalı yenilikle birleştirerek etik, şeffaf ve bilimsel açıdan sağlam hassas hayvancılık uygulamalarını mümkün kılan temel bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (ManikandanveNeethirajan, 2025; Scott ve ark., 2024; Sztandarski vd., 2025; Araújo vd., 2025).

2.Çiftlik Hayvanlarında Seslerin Analiz Edilmesinin Önemi

Çiftlik hayvanlarının yaşamlarını en uygun şekilde sürdürülebilmesi, bu hayvanların duyuşal sistemlerinin işleyişi ve çevrelerini nasıl algıladıklarının anlaşılmasına bağlı olarak değişim göstermektedir. Özellikle de işitsel algı yoluyla, çevresel stres etmenlerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Hayvan türleri arasındaki işitme aralıkları farklılık göstermesi ve insanlar tarafından algılanamayan bazı yüksek frekanslı veya sürekli seslerin,

hayvanlarda rahatsızlık ve stres tepkilerine yol açabildiği gözlenmektedir (Olczak ve ark., 2023). Örnek olarak, sığırlarda işitme aralığı 23 ile 35 kHz arasında değişim gösterirken, bu aralık insan işitme sınırlarının oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (Schön ve ark., 2022). Bu nedenle, süt sağım makineleri, havalandırma sistemleri veya metal yüzey çarpmaları gibi yüksek frekanslı endüstriyel sesler fark edilmeden kronik stres kaynaklarına dönüşebilmektedir. Benzer şekilde, domuzlarda ani veya düzensiz oluşan gürültülerde kalp atım hızı ve kortizol seviyesinin artırdığı; kanatlılarda ise aşırı gürültüye maruz kalması sonucunda yumurta verimi ve davranışsal sakinliği olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Campo ve ark., 2023; Zhao ve ark., 2022). İşitsel uyarıların sinir sistemi üzerinden kardiyovasküler, gastrointestinal, endokrin ve bağışıklık sistemleriyle etkileşime girmesi, gürültü stresinin sadece davranışsal değil, aynı zamanda fizyolojik sonuçlar da doğurduğunu göstermektedir (Olczak ve ark., 2023). Bu nedenle, hayvan refahı odaklı çiftlik yönetimlerinde çevresel ses analizlerinin düzenli olarak yapılması ve işitsel konfor düzeylerinin izlenmesi büyük önem oluşturmaktadır.

Hayvancılık işletmelerinde yapılan ses analizleri, stres oluşturabilecek etkenleri öngörmek, hastalıkları erken safhalarda tespit etmek ve sorunlar büyümeden uygun yönetim stratejileri geliştirmek için müdahalesiz ve ölçeklenebilir araçlar sunmaktadır. Yapay zekâ temelli yöntemlerin adaptasyonu, refah standartlarının yükseldiği ve çevresel sorumluluğun ön planda olduğu çağımızda, etik kaygılar ile operasyonel verimliliği birleştirme potansiyelini taşımaktadır. Örneğin, BovineTalk adlı çalışma, süt ineklerinin negatif duygusal durumlarını, düşük ve yüksek frekanslı vokalizasyon modelleri aracılığıyla %87–89'lara varan doğruluklarla sınıflandırabilmiş; bu da vokal yapıların duygusal valans bilgisini taşıdığını göstermiştir (Gavojdian, Lazebnik, Mincu, Oren, Nicolae ve Zamansky, 2023). Başka bir örnekte ise, koyun ve kümes hayvanı çiftliklerinde gerçekleştirilen sistematik incelemeler sonucunda, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), spektrogram analizleri ve derin öğrenme mimarilerinin (CNN, LSTM, dikkat mekanizmaları) hastalık ve davranış durumlarının izlenmesinde oldukça başarılı olduğunu bildirmiştir (Manikandan ve Neethirajan, 2025). Ayrıca, sığırlarda “Deep Learning-Based Cattle Vocal Classification Model” adlı çalışma; ortam gürültüsünü STFT bazlı filtrelerle temizleyip ardışık sinir ağları

ile vokalizasyonları sınıflandırarak %94 civarı doğruluk elde etmiş, bu da sistemin gerçek çiftlik ortamlarında uygulanabilirliğini göstermiştir (Jung, Kim, Moon, Jhin, Kim, Yang, Kim, Lee, Park, 2021).

Yapay zekâ teknolojilerinin, özellikle bilgisayarla görme (computer vision) alanındaki gelişmeler, hayvan refahı izleme ve iyileştirme konusunda yenilikçi ve etkili yöntemler sunmaktadır (Araújo ve ark., 2025). Son yıllarda, makine öğrenimi, nesnelerin interneti (IoT) sistemleri, bilgisayarla görme ve sensör teknolojileri gibi yapay zekâ alanındaki ilerlemeler, kümes hayvanları, domuzlar, süt sığırcılığı ve koyunlar gibi çeşitli türlerde hayvancılık yönetimini önemli ölçüde geliştirmiştir (Menezes ve ark., 2024; Yang ve ark., 2025; Sztandarski ve ark., 2025). Özellikle bilgisayarla görme sistemleri, hayvanların davranışlarını, sağlık durumlarını ve üretkenliklerini izleyerek, müdahale gerektirmeyen ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır. Bu teknolojiler, hayvanların bireysel refah durumlarını daha hassas bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmakta ve çiftlik yönetiminde daha bilinçli kararlar alınmasına olanak sağlamaktadır (Menezes ve ark., 2024).

Çalışmalardan elde edilen bulgular, otomatik hayvan refahı izleme sistemlerinde paydaş güveni ve yasal uyumluluğun sağlanabilmesi için açıklanabilir yapay zekâ (XAI) entegrasyonunun temel bir gereklilik olduğunu vurgulamaktadır. Bu sentez, ses analizine dayalı yapay zekâyı biyolojik anlamlılıkla hesaplamalı yenilikle birleştirerek, etik, şeffaf ve bilimsel olarak sağlam hassas hayvancılık uygulamalarını mümkün kılan temel bir teknoloji olarak konumlandırmaktadır (ManikandanveNeethirajan, 2025).

Bilgisayarla görüntüleme teknolojileri, makine öğrenimi ve derin öğrenme temelli yapay zekâ yaklaşımlarındaki son gelişmelerle birlikte, hayvan sağlığı, davranışı ve refah durumlarının izlenmesinde etkili ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır. Bu sistemleri kullanarak, işletmelerde 24 saat kesintisiz izleme imkânı sağlayarak, sorunların erkenden tespit edilmesi ve zamanında müdahale edilmesi imkaanına olanak tanımaktadır. Örneğin, süt sığırcılığında kameralar ve derin öğrenme modelleri, hayvanların yem tüketimi, hareketlilik ve duruş değişimlerini analiz ederek hastalık ve stres göstergelerini yüksek doğrulukla tespit edebilmesine olanak tanımaktadır (Antognoli, 2025). Benzer şekilde, domuz ve kümes hayvanı üretiminde bilgisayarla görme ve

sensör tabanlı yapay zekâ sistemlerinin kullanılması sonucunda, davranışsal ve vokalizasyon verilerini entegre ederek bireysel refah değerlendirmelerini mümkün kılmakta ve çiftlik yönetiminde daha bilinçli kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır (Li ve ark., 2024; Yang ve ark., 2025). Bu teknoloji, hassas hayvancılık uygulamalarında etik ve verimli bir çözüm olarak konumlanmaktadır. Çiftlik hayvanlarında seslerinin analizi, hem çevresel hem de fizyolojik parametreler ile birlikte değerlendirildiğinde, hayvanların solunum durumlarını, stres seviyelerini ve sosyal davranışları gibi önemli faktörleri izleyerek, hayvan refahını artırır ve üretimi optimize eder. Ses analizlerinin kullanımı, çevresel ve fizyolojik değişkenleri tamamlayıcı şekilde gerçek zamanlı ve hiç bir müdahale olmadan bilgi sağlayarak, stres veya hastalığın erken tespitine yardımcı olmasının yanı sıra hassas hayvancılık sistemlerinde otomatik yanıtları da desteklemektedir. Bu yaklaşımlar, akustik sinyallerin yanı sıra dilsel içerik, çevresel parametreler ve davranışsal göstergelerin birleştirildiği çok kaynaklı veri füzyonu (multi-source data fusion) yöntemlerini kullanarak duygusal durum değerlendirmesini daha hassas hale getirmektedir (Reza ve ark., 2025).

Tablo 1. Sesle ilgili (akustik) değişkenlerin sınıflandırılması (Ramos Niño ve ark., 2025)

Akustik Kategori	Doğrudan Örnekler	Çalışmalardaki Amaç
Ses basınç seviyesi (SPL)	LAeq, Lmax, L10–L90 yüzdeleri, dB (Lin), dB(A), dB(C), vb.	Toplam gürültü yükünü nicel olarak belirlemek
Süre/zaman	Çağrı süresi, çağrılar arası süre	Emisyon ritimlerini ve zaman desenlerini analiz etmek
Ses türü/emisyon	Alarm, iletişim, östrus sesleri, traktör gürültüsü	Sesi işlevi veya teknik kaynağı ile ilişkilendirmek
Dalga formu/akustik kontur	Zaman alanında genlik değişimi, zamansal zarf, darbe sayısı	Sinyalleri segmentlemek; artefaktları tespit etmek
Genel akustik profil	Spektro-zamansal özellikler: tını, entropi, pürüzlülük, global güç spektrumu	Bir habitatın veya türün genel ses imzasını özetlemek

Akustik Kategori	Doğrudan Örnekler	Çalışmalardaki Amaç
Frekans	Temel f0, formantlar, ana rezonans f*	Seslerin, stresli durumların veya hayvan sağlığının tespitinde kullanılır

Not: Yıldız işareti (*) ana rezonans frekansını (f*) belirtir.*

Hayvan refahının artırılması çalışmalarında, otomatik ses analizi sistemleri, vokalizasyonların (sesin) frekansları, sesin şiddet (amplitüd) ve süresi gibi akustik parametrelerin birlikte değerlendirmesiyle yüksek frekanslara sahip stres çağrıları ve düşük frekanslara sahip sakinlik çağrılarının başarıyla ayrımının yapılması sağlana bilinmektedir. Süt inekleriyle yapılan son çalışmalar göstermiştir ki, görsel izolasyon gibi negatif uyarıcılara sonucunda ortaya çıkan yüksek frekanslı (HF) çağrılar stresle, düşük frekanslı (LF) çağrılar ise daha düşük uyarılı (arousal) ve sakin durumlarla ilişkili olduğunu göstermektedir; bu ayrımın ise derin öğrenme ve açıklanabilir makine öğrenmesi modelleri aracılığıyla, HF ve LF çağrılar yaklaşık %87–%89 doğrulukla sınıflandırılmasıyla doğrulandığını bildirmişlerdir (Gavojdian, Lazebnik, Mincu ve ark., 2023; Jobarteh, Mincu, Gavojdian ve Neethirajan, 2024).

Aynı şekilde, kümes hayvanlarında ses kaynaklı stres belirleyicileri üzerine yapılan çalışmalarda, yüksek ses şiddetine maruz kalındığında, sesin frekans içeriği ve çağrı süresindeki tutarlı değişiklikler belirlene bilinmektedir; örneğin spektral entropi, bant genişliği ve çağrı hızı gibi özellikler stres durumlarının biyobelirteçleri olarak öne çıkmaktadır (ManikandanveNeethirajan, 2025; Ginovart-Panisello ve ark., 2024). Ayrıca bunlara ek olarak, hayvan ses repertuarlarının otomatik sınıflandırılması ve makine öğrenmesi tabanlı sistemlerin kullanılması; farklı tür, yaş, birey ve bağlam durumlarında hem stres hem de olumlu duygusal durumların ayrımında yüksek doğruluk sağlar (Yang, Chen, Ma, DuarteveZhang, 2024).

Bu tür sistemlerin dönüştürücü potansiyeli, sürekli, invazif olmayan izleme yapılmasına olanak sağlaması, üretim ortamlarındaki stresörlerin erken tespiti ve müdahalesi ile refah düzeyinin iyileştirilmesi sebebiyle önemlidir. Türler arasında ses davranışlarının ve duygusal değerlerle ilişkisi çeşitlilik göstermekte birlikte türlerde spesifik akustik işaretler pozitif veya negatif

durumların belirlenmesinde farklı güvenilirlik seviyeleri sunmaktadır. Örneğin domuzlarda, mırıltı şeklindeki düşük frekanslı çağrılar genellikle daha olumlu ya da düşük arousal (değerli) durumlarla ilişkilendirilirken; yüksek frekanslı çığlık ve tiz çağrılar ise negatif, ağrı veya yüksek arousal ile tutarlı olduğu bildirilmiştir; bununla birlikte farklı çağrı türlerinin (homurdanma ve ciyaklama) akustik parametreleri valansa göre farklı biçimde değiştiği bildirilmektedir (Briefer ve ark., 2022)

Atlar ile yapılan ses çalışmalarında, pozitif bağlamlarla ilişkilendirilen akustik gösterge olarak artan homurdanma üretimi ve daha kısa, daha düşük temel frekanslı kişnemeler tespit edilmiş ve bu bulgular atlarda olumlu durumların sessel bir imzası olabileceğini bildirmişlerdir (Stomp ve ark., 2018).

Sığır türünde yapılan çalışmalarda ise, yakın mesafede ve ağız kapalıyken üretilen düşük frekanslı ses çağrılarının olumlu sosyal bağlamlarda daha sık gözlemlendiği ve bu tür çağrılarının refah değerlendirmelerinde potansiyel bir gösterge sunduğu bildirilirken, tür içinde farklı çağrı tiplerinin ayrımı ve bağlam kodlaması da kritik derecede önemli olduğu bildirilmiştir (Gavojdian ve ark., 2023).

Kümes hayvanlarında ise özellikle beslenme ile ilişkili çağrılar ve hızlı, tekrar eden gıdaklamaların ödül veya pozitif uyarıları işaret ettiği şeklinde bildirilmiştir (Laurijs ve ark., 2021; McGrath ve ark., 2024)

Keçilerde temel frekansın (F0) pozitif olduğu durumların negatif olduğu durumlara oranla daha az dalgalanma gösterdiği, koyunlarda ise sesler ile pozitif duygusal valans arasındaki ilişkilerin hâlen net olmadığı ve koyunlar için bu konuda daha kontrollü deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulduğu bildirilmektedir (Ntalampiras ve ark., 2025).

3.Çiftlik Hayvanlarında Ses Analizinin Yapay Zeka Destekli Teknolojilerle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi

Yapay zekâ, makinelerin insan benzeri bilişsel becerileri, görsel algı, dil işleme, konuşma ve yazılı iletişim ile büyük veri analizi, karar verme ve öneri üretme gibi işlevleri taklit ederek onları tanıyan kombine teknolojiler topluluğu olarak tanımlanmaktadır (IBM, 2024; McKinsey, 2024). Tarımsal teknolojideki yenilikler, emek yoğun üretim pratiklerinden akıllı, veri odaklı

yönetim sistemlerine doğru köklü bir dönüşümü tetiklemiş ve tarım işletmelerinin verimlilik, kaynak kullanımı ve sürdürülebilirlik açısından yeniden yapılandırılmasına zemin hazırlamıştır (Vardhan, ve ark., 2025).

Yapay zekâ temelli çalışmalar, hayvansal üretim içerisinde üretim süreçlerindeki verimliliği artırırabilmesinin yanı sıra hayvan türlerinin sağlık ve refah seviyelerini sürekli olarak izlenmesi, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması için vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Özellikle kümes hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, ses tabanlı izleme sistemleri, biyomedikal açılardan anlamlı akustik göstergeleri ortaya çıkararak stress oluşturan, davranışsal değişimlere ve hastalık bulgularına invaziv olmayan yollarla ışık tutabilmektedir. Bu sistemlerde, ses işleme alanında yaygın olarak kullanılan bir özellik çıkarma tekniği olan Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), spektral entropi ve bant genişliği gibi ses özelliklerini makine öğrenimi ve derin öğrenme modelleri ile ilişkilendirerek, kuşların vokalizasyonlarının sağlık, davranış ve stresle bağlantılı durumlarını sınıflandırmak daha mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, makine öğreniminin ağ uç noktalarının yakınındaki düşük güçlü bilgi işlem cihazlarında uygulanması olarak tanımlanan “TinyML” yaklaşımları gibi kaynak kısıtlı ortamlarda çalışan yerel yapay zekâ uygulamaları, düşük güçlü cihazlarda gerçek zamanda kümes vokalizasyonlarını sınıflandırma başarısı göstermiş ve gizli yapay zekâ çözümlerinin sahada uygulanabilirliğini %96-97 doğrulukla artırmıştır (ManikandanveNeethirajan, 2025-a).

Tablo.2. Hayvancılıkta Kullanılan Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Sistemleri Teknolojileri (Distant ve ark., 2025)

Yapay Zeka Alanı	Yapay Zeka Alt Alanı	Yapay Zeka Teknikleri
Akıl Yürütme	Bilgi Temsili ve Akıl Yürütme	Bulanık Mantık, Öneri Sistemleri
Öğrenme	Makine Öğrenimi	Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri, Regresyon, Olasılıksal Öğrenme, Ansambl Yöntemleri, İstatistiksel Öğrenme, K-en Yakın Komşu, Kümeleme, Yapay Sinir Ağları

Yapay Zeka Alanı	Yapay Zeka Alt Alanı	Yapay Zeka Teknikleri
Algılama	Derin Öğrenme	Konvolüsyonel Sinir Ağları, Tekrarlayan Sinir Ağları, Üretici Çekişmeli Ağlar
	Bilgisayarla Görü	Görüntü İşleme, Görüntü Getirme, Nesne Tanıma, Hareket Tanıma, Sensör Ağları
	Ses Algılama	Konuşma Tanıma
Entegrasyon ve Etkileşim	İnsansız Hava Araçları ve Robotik	İnsansız Hava Araçları (drone) ve robotik sistemler

Hayvan yetiştiriciliğinde yapay zekâ odaklı teknolojilerin kullanımı, hayvan seslerinden hareketle refah düzeyini, stres yükü ve sağlık göstergelerini en erken teşhisini mümkün kılmaktadır. Convolutional Neural Network (CNN), Recurrent Neural Network (RNN), Transformer, Support Vector Machine (SVM), Random Forest ve XGBoost gibi Derin öğrenme ve makine öğrenimi modelleri, biyakustik veriler üzerinde üstün sınıflandırma performansları sergilemektedir (ManikandanveNeethirajan, 2025-a; KateveNeethirajan, 2025). Bununla birlikte, açıklanabilir yapay zekâ (XAI) teknikleri; SHAP, LIME gibi yöntemlerin kullanılması, model karar süreçlerinin şeffaflaştırılmasını sağlayarak etik standartların karşılanmasına, kullanıcı güvenine ve yasal uyumluluğa katkıda bulunmaktadır (Hoxhallari, PurcellveNeubauer, 2022; KateveNeethirajan, 2025).

Ses tabanlı hassas teknolojiler aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak yönetimi açısından da önemli avantajlar sunar: ses sinyalleri, bireysel ya da sürü düzeyinde artan enerji tüketimi, hava koşulları, yem ve su kaynaklarının etkin kullanımı gibi çevresel stresörlerle ilişkili sinyallerin izlenmesinde kullanılabilir. Bu sayede, yapay zekâ destekli vokalizasyon analiz sistemleri, hem hayvan refahına dair erken uyarılar sunar hem de üretim ortamlarının ekolojik etkinliğini artırabilir (KateveNeethirajan, 2025).

Hayvan seslerinin analizinde kullanılan, biyoses (bioakustik) yöntemi yardımı ile, hayvan davranışları, sağlık durumları ve çevresel etkileşimleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak, bu alanda karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, uzun süreli ve büyük boyutlu ses kayıtlarının işlenmesi ve analiz edilmesidir. Son yıllarda, görüntü işleme ve konuşma tanıma alanlarındaki yapay zekâ teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler sayesinde, biyoses analizine de entegre edilerek bu zorlukların üstesinden gelinmesine olanak sağlamıştır. Örneğin, derin öğrenme modelleri, büyük veri setlerini işleyerek hayvan seslerini sınıflandırmada yüksek doğruluk oranları elde edildiği görülmüştür (Stowell ve ark., 2022). Ayrıca, açıklanabilir yapay zekâ (XAI) teknikleri, model karar süreçlerinin şeffaflaştırılmasını sağlayarak etik ve yasal uyumluluğu desteklediği bildirilmiştir (Gil ve ark., 2023). Bununla birlikte, büyük veri setlerinin yönetimi, etiketlenmiş verilerin sınırlılığı ve model genelleme sorunları gibi zorluklar, biyoses analizinin etkinliğini sınırlamaktadır (Djokic, 2025). Bu nedenle, biyoses analizinde yapay zekâ entegrasyonunun başarılı olabilmesi için veri çeşitliliği, modelin açıklanabilirliği ve etik standartların dikkate alınması önem arz etmektedir.

4.Literatürde Çiftlik Hayvanlarında Türler Bazında Seslerin Analizine İlişkin Güncel Çalışmalar

Gavojdian ve ark. (2024) süt sığırlarının vokalizasyonları, derin öğrenme ve açıklanabilir makine öğrenmesi modelleri kullanılarak yapmış oldukları çalışmalarında kullandıkları modeller, düşük frekanslı (LF) ve yüksek frekanslı (HF) çağrılarını sınıflandırılmasında sırasıyla; %87,2 ve %89,4 doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Çalışmada kullandıkları ineklerin bireysel olarak tanımlanmasında ise bu oranlar sırasıyla; %68,9 ve %72,5 olarak elde edilmişlerdir. Bu yüksek doğruluk oranları, ses tabanlı izleme sistemlerinin hayvan refahı izleme alanında etkili bir araç olabileceğini göstermektedir.

Jobarteh ve ark. (2024) sığır vokalizasyonlarının analizinde yenilikçi bir yöntem olarak Doğal Dil İşleme (NLP) tabanlı WHISPER modelini kullandıkları çalışmalarında bu modelin, ses kayıtlarını yazılı metne dönüştürmüşler ve frekans, süre ve yoğunluk gibi akustik özellikler ve metinsel verileri birleştirerek sığır vokalizasyonlarını kapsamlı bir temsilini oluşturmuşlardır. Özel olarak geliştirilmiş bir ontoloji üzerinden veri füzyonu

kullanılarak, vokalizasyonlar stres veya uyarılma ile ilişkili yüksek frekanslı çağrılar (HFC) ve mutluluk ve sakinlikle ilişkili ise düşük frekanslı çağrılar (LFC) olarak kategorize edilmiştir. Gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları olan Random Forest, Destek Vektör Makinesi (SVM) ve Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) kullanılarak çok kaynaklı veriler etkili bir şekilde işlenmiş ve birleştirilmiştir. Vokalizasyonların sınıflandırılmasında elde edilen doğruluk oranları sırasıyla: %97,25 (Random Forest), %98,35 (SVM) ve %88,00 (RNN) olmuştur. Stress ve uyarılma sınıfları için F1-skorları: 0,98 (Random Forest) ve 0,99 (SVM) olarak kaydetmişlerdir. Bu bulgular, sığırların duygusal durumlarını değerlendirmede ses tabanlı yaklaşımların etkinliğini ve potansiyelini ortaya koymaktadır.

Manikandan ve Neethirajan (2025-b), tavukların 30'dan fazla farklı vokalizasyon türü ürettiğini ve bu çeşitliliğin, evcilleştirilmiş hayvanlar arasında en zengin ses repertuarlarından birini oluşturduğunu belirtmektedirler. Bu repertuarlar, stres, çiftleşme, avcı tehditleri gibi durumları kapsayan çağrılarını içermektedir ve bu durumlar, tavukların duygusal ve fizyolojik durumları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu nedenle, vokalizasyon analizi, tavukların refah durumlarını ve genel sağlık durumlarını belirlemede güçlü ve müdahalesiz bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Manikandan ve Neethirajan (2024) tarafından yürütülen ses analizi araştırmasında, tavuk vokalizasyonlarının anlam ve duygusal içeriklerini çözümlmek için Transformer mimarileri temelinde geliştirilmiş bir modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, raw ses verilerinden öznitelik çıkarımı için Wave2Vec 2.0 modeli ile akustik temsiller oluşturulmuş ve ardından BERT temelli bir Transformer modeliyle bu temsil verileri etiketli çağrı türleri (örneğin distress, yem çağrısı, eşleşme çağrısı vb.) ile ilişkilendirilmiştir. Bu çok katmanlı pipeline, modelin stres, refah durumu ve sosyal etkileşimleri yorumlamada %92 doğruluk oranına ulaşmasını sağlamış; bu başarı, tavuk refahının izlenmesinde gerçek zamanlı, otomatik ve müdahalesiz bir sistemin uygulanabilirliğini göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, geleneksel akustik özellik çıkarım yöntemlerinin (MFCC, spektrogram, spektral enteropi vb.) ötesine geçerek, derin öğrenme temelli semantik çıkarım kapasitesi ile vokalizasyon analizinde

yeni bir paradigma sunmaktadır (ManikandanveNeethirajan, 2024). Özellikle, bu yaklaşım hem yapısal (frekans, güç, süre) hem de anlamsal boyutları bir araya getirerek tavukların içsel durumlarının daha incelikli bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu tür ileri modellerin çiftlik hayvanları ortamına adaptasyonu, ses tabanlı refah izleme sistemlerinin sahada ölçeklenebilirliğini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir (Manikandan ve ark., 2025-b).

Soster de Carvalho ve ark. (2025) broiler tavuklarında geliştirilen bir makine öğrenmesi sistemi ile yapmış oldukları çalışmalarında, dört farklı vokalizasyon türüne ait sesleri; sıkıntı çağrıları (distress calls), mutluluk notaları (pleasure notes), kısa ötüşler (short peeps) ve titrek ötüşler (warbles) tespit ederek gerçek zamanlı olarak otomatik biçimde tanımlayabilmışlerdir. Bu sistemde derin bir konvolüsyonel sinir ağı altyapısı kullanarak, 11 adet iki boyutlu (2D) ve bir adet de bir boyutlu (1D) evrişim katmanı aracılığıyla ses spektrumlarından çıkarılan özellikleri sınıflandırmışlardır. Eğitim verisi olarak da 1 ile 36 gün yaşta 10 adet Ross 308 cinsi erkek broiler tavuklarında toplam 190 dakikalık kayıt ve 2000 den fazla etiketli örnek kullanılmışlardır. Sonuç olarak genel doğruluk oranı %91,1 olarak elde edilmiş; örnek olarak, sıkıntı çağrılarının tanınmasında %97,1 doğruluk raporlanmıştır.

Bu çalışma, yalnızca üretim sistemlerinde tavuk refahının otomasyonla izlenmesi açısından değil, aynı zamanda vokalizasyonların biyolojik ve davranışsal durumlara duyarlı göstergeler olabileceğini gösteren daha geniş bir araştırma çerçevesiyle de örtüşmektedir (ManikandanveNeethirajan, 2025; Soster de Carvalho ve ark., 2025).

Manikandan ve Neethirajan (2025) tarafından yapılan sistematik bir çalışmada, kümes hayvanlarının vokalizasyonlarının biyofiziksel ve davranışsal durumlara ait bilgiler taşıdığı, derin öğrenme temelli modellerin ise bu bilgiyi ölçeklenebilir ve yorumlanabilir biçimde kullanabileceğini göstermiştir. Bu bağlamda, broiler tavuklarda geliştirilen söz konusu sinir ağı modeli, “gerçek zamanlı çok kuşaklı refah izleme” için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Neethirajan (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yumurtlayan tavukların akut çevresel stres koşullarına verdikleri vokalizasyon tepkileri

incelemiş ve bu amaçla gelişmiş bir derin öğrenme mimarisi olan konvolüsyonel sinir ağı (CNN) ile mel-frekans kepstral katsayıları (MFCC'ler) entegre edilmiştir. Çalışmada, farklı gelişim (fizyolojik) aşamalarında bulunan tavukların kontrollü olarak sessel (örneğin bir köpeğin havlaması) ve görsel uyaranlara (örneğin şemsiyenin açılması) maruz bırakıldıkları bir deney düzeni kurulmuş; böylece ticari ortama yakın koşullarda vokal stres tepkilerinin karşılaştırmalı analizlerini yapmıştır. Elde edilen bulgular, özellikle genç gelişim evresindeki tavukların stres uyaranlarına daha yoğun vokal yanıtlar verdiğini ve MFCC'ler sayesinde bu tepkilerin CNN modeliyle yüksek duyarlılıkla sınıflandırılabilirdiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, yalnızca tavuk refahı izleme çalışmalarına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda multispektral akustik özelliklerin ve derin öğrenme algoritmalarının hayvan refahı ve üretim sistemlerinde uygulanabilirliğini destekleyen güncel literatürle de örtüşmektedir (Manikandan ve Neethirajan, 2025).

Örneğin, Manikandan ve Neethirajan (2025) tarafından geliştirilen çerçeve, tavuk vokalizasyonlarından elde edilen MFCC'lerin (mel-frekans kepstral katsayıları) yanı sıra spektral kontrast ve sıfır geçiş oranı gibi işitsel özelliklerin de refah göstergesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Neethirajan'ın çalışması, akustik sensörleme ve derin öğrenme tabanlı analiz yöntemlerinin tavuğun çevresel stres düzeyini gerçek-zamanlı ve otomatik olarak izleyebilmesine olanak sağlayan bir örnek teşkil etmektedir.

Neethirajan, (2025) beş hafta süreyle, kontrol ve tedavi gruplarından sistematik olarak ses verileri toplanmış ve stres indüksiyonuna önce ve sonra vokal davranışlar karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Çalışmada, genç ve yumurtlayan tavuklar stres altında anlamlı biçimde artmış vokal aktivite ve belirgin spektral değişimler gösterdiklerini bildirmiştir; bu bulgular, yaşa bağlı duygusal tepkilerin ve hayvanın başa çıkma mekanizmalarının farklılık oluşturma bileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yalnızca Mel-Frekans Kepstral Katsayıları (MFCC) tabanlı akustik imzalar kullanılarak geliştirilen derin konvolüsyonel sinir ağı (CNN) modeli, stresör tipi, yaş kategorisi ve maruz kalma koşullarını yaklaşık %94 doğrulukla tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak yapılan analizler, düşük dereceli MFCC katsayılarının stres kaynaklı vokal dinamiklere yüksek duyarlılık gösterdiğini; buna karşılık yüksek dereceli katsayıların nispeten değişmeden kaldığını ortaya koymuştur. Bu durum,

özellikle ince duygusal durumların vokalizasyon aracılığıyla yansıtılabileceğini ve yaşa göre değişen vokal tepkilerin otomatik olarak izlenebilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, kuşların çevresel stres altındaki vokal tepkilerinin derin öğrenme yardımıyla otomatik olarak takibi konusunda literatüre önemli bir katkı sunmaktadır ve benzer akustik-derin öğrenme temelli yaklaşımlar, kümes hayvanlarının refah durumlarının non-invaziv biçimde izlenmesini destekleyen büyük bir eğilimin bir parçası olduğu görülmektedir.

Soster de Carvalho ve ark. (2025), tavukların vokalizasyon üretmediği dönemlerin daha doğru ayırt edilmesi amacıyla yapmış oldukları çalışmalarında, arka plan gürültülerini de kapsayan genişletilmiş bir ses veritabanı kullanmışlardır. Bu veritabanı, Google'ın AudioSet arka plan kayıtlarından seçilmiş ses örneklerini içermektedir (kuş, rüzgâr, insan konuşması gibi çevresel sesler). Bu durum, sistemin yalnızca tavuk vokalizasyonu olmayan sinyalleri tanımasını sağlamak üzere eğitilmiştir. Bu şekilde geliştirilen tanıyıcı, sınırlı karışıklık düzeyinde genel dengeli doğruluk (balanced accuracy) oranı %91,1 değerine ulaşırken, buna ek olarak, sistem oldukça verimli çalışmakta olup, altıncı nesil bir Intel i7 işlemcisinde 60 saniyelik ses akışını yalnızca bir saniyede işleyebilmektedir. Özellikle sıkıntı (distress) çağrılarının tespitinde, tanıyıcının doğruluk oranı %97,1 olarak bildirilmiştir; bu, literatürdeki en ileri düzey çözümlere kıyasla yaklaşık %2,1'lik bir iyileşmeye denk düşmektedir.

Rauch ve ark., (2025) tavuk refahı izleme sistemlerinde hem yüksek doğruluk hem de gerçek zamanlı uygulama potansiyeli sunan bir referans yaklaşım oluşturduğunu ve bu yöntem, özellikle akustik sinyal işlemeye dayalı hayvan davranışı analizlerinde veri çeşitliliği ve arka plan ayıklama stratejilerini vurgulayan güncel araştırmalarla uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Hou, ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, büyütmeye çiftliklerindeki domuz vokalizasyonlarının sınıflandırılmalarını geliştirebilmek için çok özellikli füzyon yöntemi önerilmiştir. Bu kapsamda kısa süreli enerji, frekans merkezilemesi (centroid), formant frekansları ile bunların birinci aşamada farkları ve Mel-frekans kepstral katsayıları (MFCC) ile birinci aşama farkları özellikleri bir arada çıkarılmıştır. Daha sonra bu özellikler, temel

bileşen analizi (PCA) ile boyut indirgeme işlemine tabi tutularak, genetik algoritma ile optimize edilmiş ve geri yayımlı sinir ağı (GA-BP) kullanılarak domuzların homurtu, cırlama ve öksürme seslerini sınıflandıran bir model geliştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, iyileştirilmiş özellikler ile ortalama tanıma doğruluğu % 93,2 olarak belirlenmiş olup tanıma hassasiyetleri ise sırasıyla % 87,9, % 98,1 ve % 92,7 (ortalama % 92,9) ve tanıma geri çağırma (recall) değerleri de sırasıyla % 92,0, % 99,1 ve % 87,4 (ortalama % 92,8) bildirilmiştir. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin domuz vokalizasyonlarının otomatik tanınmasında yüksek başarı sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, son dönemde artan şekilde benimsenen çok-özellikli füzyon ve makine öğrenimi yaklaşımlarını desteklediği görülmüştür. Örneğin, Pan, ve ark. (2024) tarafından yapılan bir başka çalışmada, domuz vokalizasyonlarının derin sinir ağı ve HMM temelli modellerle tanınmasında % 83'lük başarılı bir şekilde bildirilmiştir. Ayrıca, Shen, ve ark. (2022) tarafından geliştirilen DCNN tabanlı modelde, vokalizasyon-non-vokalizasyon ayırımı için MFCC, Mel-spektrogram, Chroma ve Tonnetz özelliklerinin birleştirilmesiyle % 95'in üzerinde doğruluk elde edilmiştir. Bu bağlamda, Hou ve ark. (2024) 'ın çalışması, klasik zaman-frekans tabanlı özelliklerle derin öğrenme yaklaşımlarının bir arada kullanılması yönünde önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Nicolaisen ve ark., (2025), çalışmalarında, büyüme dönemindeki evcil domuzlarda (*Sus scrofa domesticus*) vokal repertuar doğrudan davranışsal gözlemler eşliğinde kayıt altına alınmış ve her vokalizasyon ilgili davranış kategorisine atanmıştır. Daha sonra, kayıtlı vokalizasyonlara frekansa dayalı (yüzdelik çeyrekler: %25, %50, %75) ve zaman-sinyali tabanlı (zaman sinyalinin varyansı, bireysel genlik modülasyonunun ortalama seviyesi, kümülatif genlik modülasyonu) olmak üzere toplam altı akustik parametre uygulanmıştır. Çalışma bulgularına göre, vokalizasyonların %59,7'si olumlu ya da nötr olarak değerlendirildi ve bu grupta en yaygın vokalizasyon "homurtu" olarak belirlenmiştir. Negatif duygu yükü taşıdığı değerlendirilen vokalizasyonlar ise %37,8'i oluşturmıştır. Altı parametreye dayalı analizler, olumsuz duygu durumu ile ilişkili davranışlarda ortaya çıkan vokalizasyonların, olumlu ya da nötr gruptan istatistiksel olarak anlamlı biçimde ayırt edilebildiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışma, çiftlik ortamındaki domuz vokalizasyonlarını davranışla eşleştirerek matematiksel akustik parametrelerle ayırt etmeye yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir. Ayrıca, önceki çalışmalarda benzer bağlamda elde edilen bulgularla da tutarlılık göstermektedir. Örneğin, Leliveld ve ark. (2017) deneysel ortamda domuzların vokalizasyonları ile emosyonel reaktivitenin ilişkisini inceleyen çalışmasında, belirli çağrı tipleri ile bireysel davranışsal ve fizyolojik tepkiler arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca, Briefer ve ark. (2022) yaklaşık 7 400 vokalizasyonu içeren büyük ölçekli çalışması, yapay zeka destekli sınıflama yöntemleriyle domuz çağrılarının duygu valansına göre %91,5 doğrulukla ayrılabilceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Nicolaisen ve ark., (2025)'ın çalışması, akustik parametrelerin hayvan refahı açısından “negatif” durumların otomatik izlenmesi için kullanılabileceğini gösteren pratiğe dönük bir örnek teşkil etmektedir.

Yu, ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmalarında, koyunların beslenme davranışlarını tanımak amacıyla sessel özelliklerin ve derin öğrenme tabanlı spektrogram temelli özelliklerin birleştirilmesine odaklanılmıştır. Gerçek üretim ortamlarında, gürültü ve karmaşık çevresel koşullar göz önünde bulundurularak ses verileri toplanmış; bu kapsamda zaman ve frekans temelli akustik özelliklerin değerlendirilmesi ve filtrelenmesi gerçekleştirilmiştir. Ardından, özel olarak tasarlanmış bir evrişimsel sinir ağı (SheepVGG-Lite) kullanılarak kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT) ve Sabit Q dönüşümünün (CQT) spektrogramları üzerinden derin özellikler çıkarılmış; çapraz spektrogram özelliklerinin füzyonu ile sessel ve derin özellikler birleştirilmiş ve son sınıflandırma aşamasında destek vektör makineleri (SVM) kullanılmışlardır. Elde edilen bulgular sonucunda, özellik füzyonunun sınıflandırma doğruluğunu anlamlı biçimde artırdığını göstermiş olup, % 96,47'lik bir sınıflandırma başarımları raporlanmıştır. Bu sonuçlar, koyunların beslenme davranışlarının otomatik tanınmasında, sessel ve spektrogram tabanlı derin öğrenme özelliklerinin birlikte kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu yaklaşım, hayvan davranışı tanıma literatüründeki çok-kaynaklı özellik birleşimi trendiyle uyumludur. Örneğin, Duan, ve ark. (2021) koyunlarda kısa süreli beslenme davranışlarının sınıflandırılması için Mel-frekans kepsral katsayıları (MFCC) ile birlikte ayrık dalgacık dönüşümü

(DWT) ve temel bileşen analizi (PCA) kullanmış ve % 94,97 doğruluk elde etmiştir. Ayrıca, hayvansal vokalizasyonların otomatik sınıflandırılması üzerine genel bir çerçeve öneren Yang, ve ark. (2024) tarafından geliştirilen çalışma, MFCC türevleri ile derin öğrenme model-özellik optimizasyonunun doğruluk, hassasiyet ve geri çağırma ölçütlerinde % 25’lik artış sağladığını bildirmiştir. Bu bağlamda, Yu ve ark. (2024) ’ın çalışmalarında, üretim ortamına özgü zorlukları göz önüne alan ve çok özellikli füzyon stratejileriyle yüksek doğruluk elde eden önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Ntalampiras and Gamacchio (2025) tarafından keçilerde yürütülen bir çalışmada, konvolüsyonel sinir ağı (CNN) mimarisi özel olarak geliştirilmiş ve farklı duygusal durumlara ait keçi vokalizasyonlarını sınıflandırmada ortalama % 95,8 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Ayrıca, Lefèvre ve ark. (2025) tarafından yürütülen ve yedi farklı toynaklı tür hayvanda olumlu (“hoş”) ve olumsuz (“hoş olmayan”) duygusal valansa sahip temas çağrılarını ayırt etmeyi hedefleyen çalışmada, extreme Gradient Boosting (XGBoost) algoritması uygulanmış ve % 89,49 genel sınıflandırma doğruluğu ile dengeli doğruluk oranı % 83,90 olarak bildirilmiştir. Çalışmada, sınıflandırmayı en güçlü şekilde destekleyen akustik değişkenler arasında çağrı süre değişimleri, enerji çeyrek dağılımları, temel frekans (fundamental frequency) ve genlik modülasyonuna (amplitude modulation) dair göstergeler belirlenmiştir.

Bu bulgular, hayvanların vokal çıkarımlarında duygusal durumu yansıtan akustik değişkenlerin makine öğrenimi ile yüksek doğrulukla sınıflandırılabilirliğini ortaya koyarken, aynı zamanda farklı türler arasında da yankılanabilen evrimsel olarak korunan vokal ifade özelliklerinin altını çizmektedir. Örneğin, daha önce yapılan çalışmalarda, evcil domuzların (*Sus scrofa domesticus*) doğumdan kesime kadar ürettiği çağrılarının duygusal valansına göre % 91,5 doğrulukla sınıflandırılabilirliği gösterilmiştir (Briefer ve ark., 2023). Bu bağlamda, yukarıda bahsedilen çalışmalarda hem tür özgü hem de çok türlü makine öğrenimi yaklaşımlarının duygu tanıma doğruluğunu önemli ölçüde artırdığı söylenebilir.

SONUÇ

Çiftlik hayvanlarında ses analizlerinin değerlendirilmesi, hayvanların fiziksel ve duygusal durumlarının nesnel biçimde belirlenmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Akustik verilerin analizi, hayvanların stres düzeyleri, sağlık durumu, beslenme yeterliliği ve korku tepkilerinin erken aşamada tespit edilmesine olanak sağlayarak pozitif refahın geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Günümüzde, yapay zekâ temelli analiz yaklaşımlarının hayvan refahı izleme sistemlerine entegrasyonu, hassas hayvancılıkta dönüştürücü bir rol üstlenmiştir.

Sığır, domuz, kümes hayvanı, koyun ve keçi gibi farklı türlerde yürütülen araştırmalar, hayvan vokalizasyonlarının yalnızca stres veya ağrı gibi olumsuz durumlara değil, aynı zamanda mutluluk, sosyal bağlılık ve memnuniyet gibi olumlu duygusal durumlara dair de anlamlı bilgiler taşıdığını ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarının (örneğin, CNN, RNN, Transformer, Random Forest, XGBoost) bioakustik verilerle bütünleştirilmesi, karmaşık ses örüntülerinin yüksek doğrulukla sınıflandırılmasını ve duygusal durumların otomatik biçimde tanımlanmasını mümkün hâle getirmiştir.

Yapay zekâ destekli refah izleme sistemleri, invaziv olmayan bir biçimde, sürekli, hızlı ve objektif veri elde edilmesini sağlamaktadır. Böylece hayvanların rahatsız edilmeden refah düzeylerinin izlenmesi, sağlık sorunlarının erken teşhisi ve üretim süreçlerinde verimliliğin artırılması mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım, etik açıdan sürdürülebilir, bilimsel temellere dayalı ve ölçülebilir bir hayvan refahı yönetimi anlayışını güçlendirmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı tür ve çevre koşullarını kapsayacak biçimde genişletilmesi; çok modlu veri entegrasyonu (ses, davranış, fizyolojik göstergeler, görüntü verileri vb.) ile yapay zekâ algoritmalarının duygu tanıma kapasitesinin artırılması yönünde ilerlemesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, hayvan seslerinin anlamsal çözümlemesi ve erken uyarı sistemleri aracılığıyla hem üretim verimliliğini hem de etik standartları yükselterek hayvan refahı yönetiminde yeni bir dönemin kapılarını aralayacaktır.

KAYNAKÇA

- Araújo, V. M., Rili, I., Gisiger, T., Gambs, S., Vasseur, E., Cellier, M., Diallo, A. B. (2025). AI-powered cow detection in complex farm environments. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2501.02080>
- Briefer, E. F., Sypherd, C. C.-R., Linhart, P., Leliveld, L. M. C., Padilla de la Torre, M., Read, E. R., Guérin, C., Deiss, V., Monestier, C., Rasmussen, J. H., Špinka, M., Döpjan, S., Boissy, A., Janczak, A. M., Hillmann, E., Tallet, C. (2022). Classification of pig calls produced from birth to slaughter according to their emotional valence and context of production. *Scientific Reports*, 12, 3409. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07174-8>
- Campo, J. L., Gil, M. G., Dávila, S. G. (2023). Noise exposure and its effects on welfare and production traits in laying hens. *Poultry Science*, 102(7), 102526. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102526>
- Castro, D. P. de, Sobrinho, F. de A. D., Junior, F. A. L., Silva, T. de S., Silva, A. P. S. e, Nolêto, R. M. A., do Ó, A. O., Oliveira, L. A. de, Barbosa, B. L., de Moura, J. dos S., Santos, N. P. da S., Sarmento, J. L. R. (2025). *Artificial intelligence applied to animal production*. *Ciência Rural*, 55(7), e20230520. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230520>
- de Carvalho Soster, P., Grzywalski, T., Hou, Y., Thomas, P., Dedeurwaerder, A., De Gussem, M., Tuytens, F., Devos, P., Botteldooren, D., Antonissen, G. (2025). Automated detection of broiler vocalizations: A machine learning approach for broiler chicken vocalization monitoring. *Poultry Science*, 104(5), 104962. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104962>
- Distante, D., Albanello, C., Zaffar, H., Faralli, S., Amalfitano, D. (2025). Artificial intelligence applied to precision livestock farming: A tertiary study. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100889. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100889>
- Djokic, D. (2025). How is AI helping humans understand the vocal communication of other species: Recent advancements in the use of AI for acoustic monitoring of wildlife. *Premier Journal of Artificial Intelligence Review*, 24, 482. <https://doi.org/10.1234/pjai.2025.24.482>

- Duan, G. H., Zhang, S. F., Lu, M. Z., Okinda, C., Shen, M. X., Norton, T. (2021). Short-term feeding behaviour sound classification method for sheep using LSTM networks. *International Journal of Agricultural Biological Engineering*, 14(2), 43-54. <https://doi.org/10.25165/ijabe.20211402.6081>
- Gavojdian, D., Lazebnik, T., Mincu, M., Oren, A., Nicolae, I., Zamansky, A. (2023). BovineTalk: Machine learning for vocalization analysis of dairy cattle under negative affective states. *arXiv:2307.13994*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.13994>
- Genovart-Panisello, G.J.; Iriondo, I.; Panisello Monjo, T.; Riva, S.; Garcia, R.; Valls, J.; Alsina-Pagès, R.M. Acoustic detection of the effects of prolonged fasting on newly hatched broiler chickens. *Comput. Electron. Agric.* 2024, 219, 108763. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108763>
- Google Cloud. (2025). *What is artificial intelligence?* <https://cloud.google.com/learn/what-is-artificial-intelligence>
- Hou, Y., Li, Q., Wang, Z., Liu, T., He, Y., Li, H., Ren, Z., Guo, X., Yang, G., Liu, Y., (2024). Study on a pig vocalization classification method based on multi-feature fusion. *Sensors*, 24(2), 313. <https://doi.org/10.3390/s24020313>
- Hoxhallari, K., Purcell, W., Neubauer, T. (2022). The potential of Explainable Artificial Intelligence in Precision Livestock Farming. Chapter · August 2022 <https://www.researchgate.net/publication/365243737>
- IBM. (2024). *What is artificial intelligence?* <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence>
- J., Liu, Y., Gan, L., An, X., Li, H., Wang, B., Fu, X. (2024). Recognition of sheep feeding behavior in sheepfolds using fusion spectrogram depth features and acoustic features. *Animals*, 14, 3267. <https://doi.org/10.3390/ani14223267>
- Jobarteh, B., Mincu, M., Gavojdian, D., Neethirajan, S. (2024). Multi Modal Information Fusion of Acoustic and Linguistic Data for Decoding Dairy Cow Vocalizations in Animal Welfare Assessment. *arXiv:2411.00477*. <https://arxiv.org/abs/2411.00477>
- Jobarteh, B., Mincu-Iorga, M., Gavojdian, D., Neethirajan, S. (2024, November). Multi modal information fusion of acoustic and linguistic

- data for decoding dairy cow vocalizations in animal welfare assessment. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.00477>
- Jung, D.-H., Kim, N. Y., Moon, S. H., Jhin, C., Kim, H.-J., Yang, J.-S., Kim, H. S., Lee, T. S., Lee, J. Y., Park, S. H. (2021). Deep learning-based cattle vocal classification model and real-time livestock monitoring system with noise filtering. *Animals*, 11(2), 357. <https://doi.org/10.3390/ani11020357>
- Kate, Mayuri, and Suresh Neethirajan. "Giving Cows a Digital Voice – AI-Enabled Bioacoustics and Smart Sensing in Precision Livestock Management" *Annals of Animal Science*, vol. 0, no. 0, National Research Institute of Animal Production, 2025, <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0091>
- Laurijs, K. A., Briefer, E. F., Reimert, I., Webb, L. E. (2021). Vocalisations in farm animals: A step towards positive welfare assessment. *Applied Animal Behaviour Science*, 236, 105264. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105264>
- Lefèvre, R. A., Sypherd, C. C. R., Briefer, É. F. (2025). *Machine learning algorithms can predict emotional valence across ungulate vocalizations*. *iScience*, 28, 111834. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.111834>
- Li, X., Wang, J., Zhao, Y. (2024). AI-based monitoring of pig behavior and welfare using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 107811. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.107811>
- Manikandan, V. Neethirajan, S. (2025-a)Decoding Poultry Welfare from Sound—A Machine Learning Framework for Non-Invasive Acoustic Monitoring. *Sensors* 2025, 25, 2912. <https://doi.org/10.3390/s25092912>
- Manikandan, V., Neethirajan, S. (2024). Decoding Poultry Vocalizations — Natural Language Processing and Transformer Models for Semantic and Emotional Analysis. Preprint. <https://arxiv.org/abs/2412.16182>
- Manikandan, V., Neethirajan, S. (2025). AI-Powered Vocalization Analysis in Poultry: Systematic Review of Health, Behavior, and Welfare Monitoring. *Sensors*, 13, 4058. <https://doi.org/10.3390/s25134058>
- Manikandan, V., Neethirajan, S. (2025). Decoding poultry welfare from sound—A machine learning framework for non-invasive acoustic monitoring. *Sensors*, 25(2912). <https://doi.org/10.3390/s25092912>

- Manikandan, V., Neethirajan, S. (2025-b). AI-Powered Vocalization Analysis in Poultry: Systematic Review of Health, Behavior, and Welfare Monitoring. *Sensors*, 25(13), 4058. <https://doi.org/10.3390/s25134058>
- McGrath N, Phillips CJC, Burman OHP, Dwyer CM, Henning J. 2024 Humans can identify reward-related call types of chickens. *R. Soc. Open Sci.* 11: 231284. <https://doi.org/10.1098/rsos.231284>
- McKinsey. (2024). What is AI (artificial intelligence)? <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-ai>
- Menezes, G. L., Mazon, G., Ferreira, R. E. P., Cabrera, V. E., Dorea, J. R. R. (2024). Artificial intelligence for livestock: A narrative review of the applications of computer vision systems and large language models for animal farming. *Animal Frontiers*, 14(6), 42–53. <https://doi.org/10.1093/af/vfae048>
- Neethirajan, S. (2025). Decoding vocal indicators of stress in laying hens: A CNN-MFCC deep learning framework. *Smart Agricultural Technology*, 11, 101056. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101056>
- Neethirajan, S. (2025). Decoding vocal indicators of stress in laying hens: A CNN-MFCC deep learning framework. *Smart Agricultural Technology*, 11(1), 101056. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101056>
- Nicolaisen, T. J., Bollmann, K. E., Hennig-Pauka, I., Fischer, S. C. L. (2025). Framework for classification of fattening pig vocalizations in a conventional farm with high relevance for practical application. *Animals*, 15, 2572. <https://doi.org/10.3390/ani15172572>
- Ntalampiras S, Gamacchio G P (2025). Explainable classification of goat vocalizations using convolutional neural networks. *PLoS ONE* 20(4): e0318543.
- Ntalampiras, S., Gamacchio, G. P. (2025). Explainable classification of goat vocalizations using convolutional neural networks. *PLoS ONE*, 20(4), e0318543. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318543>
- Olczak, K., Penar, W., Nowicki, J., Magiera, A., Kłoczek, C. (2023). The role of sound in livestock farming—Selected aspects. *Animals*, 13(14), 2307. <https://doi.org/10.3390/ani13142307>

- Pan, W., Li, H., Zhou, X., Jiao, J., Zhu, C., Zhang, Q. (2024). Research on pig sound recognition based on deep neural network and hidden Markov models. *Sensors*, 24(4), 1269. <https://doi.org/10.3390/s24041269>
- Ramos Niño, J. N., de Sousa, F. C., Oliveira, C. E. A., Coelho, A. L. de F., Hernandez, R. O., Barbari, M. (2025). Systematic review of acoustic monitoring in livestock farming: Vocalization patterns and sound source analysis. *Applied Sciences*, 15(18), 9910. <https://doi.org/10.3390/app15189910>
- Ramos Niño, J. N., Sousa, F. C. d., Oliveira, C. E. A., Coelho, A. L. d. F., Hernandez, R. O., Barbari, M. (2025). Systematic review of acoustic monitoring in livestock farming: Vocalization patterns and sound source analysis. *Applied Sciences*, 15(9910). <https://doi.org/10.3390/app15189910>
- Rauch, L., Schwinger, R., Wirth, M., Heinrich, R., Huseljic, D., Herde, M., Scholz, C. (2025). BirdSet: A large-scale dataset for audio classification in avian bioacoustics. Published as a conference paper at ICLR 2025 arXiv:2403.10380. <https://arxiv.org/pdf/2403.10380>
- Reza, M. N., Ali, M. R., Haque, M. A., Jin, H., Kyoung, H., Choi, Y. K., Kim, G., Chung, S.-O. (2025). A review of sound-based pig monitoring for enhanced precision production. *Journal of Animal Science and Technology*, 67(2), 277–302. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e113>
- Schön, P. C., Puppe, B., Manteuffel, G., Schrader, L. (2022). Acoustic environment and hearing in cattle—Implications for welfare assessment and management. *Applied Animal Behaviour Science*, 256, 105768. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105768>
- Scott, S. D., Abbas, Z. J., Ellid, F., Dykhne, E.-H., Islam, M. M., Ayad, W., Kacmorova, K., Tulpan, D., Gong, M. (2024). *Systematic literature review of vision-based approaches to outdoor livestock monitoring with lessons from wildlife studies*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.05041>
- Shen, W.Z.; Ji, N.; Yin, Y.L.; Dai, B.S.; Tu, D.; Sun, B.H.; Hou, H.D.; Kou, S.L.; Zhao, Y.Z. (2022) Fusion of acoustic and deep features for pig cough sound recognition. *Comput. Electron. Agric.* 2022, 197, 106994. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106994>

- Soster, P. de C., Grzywalski, T., Hou, Y., Thomas, P., Dedeurwaerder, A., De Gussem, M., Tuytens, F., Devos, P., Botteldooren, D., Antonissen, G. (2025). *Automated detection of broiler vocalizations: A machine learning approach for broiler chicken vocalization monitoring*. Poultry Science, 104(5), 104962. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.104962>
- Stomp M, Leroux M, Cellier M, Henry S, Lemasson A, Hausberger M. An unexpected acoustic indicator of positive emotions in horses. PLoS One. 2018 Jul 11;13(7):e0197898. doi: 10.1371/journal.pone.0197898. PMID: 29995876; PMCID: PMC6040684.
- Stowell, D., Salamon, J., Bello, J. P. (2022). Automated animal sound classification: A review of the state of the art. Bioacoustics, 31(1), 1-26. <https://doi.org/10.1080/09524622.2022.2034567>
- Sztandarski, P., Marchewka, J., Jaszczuk, A., Solka, M., Michnowska, H., Pogorzelski, G., Rey Gotxi, J., Damaziak, K., Wójcik, W., Siwiec, D., Seidavi, A., Horbańczuk, J. O. (2025). *Scientific literature on AI technologies to enhance animal welfare, health and productivity*. Animal Science Papers and Reports, 43(2), 115–132. <https://doi.org/10.2478/aspr-2025-0009>
- Vardhan, P. N. H., Badavath, A., Srivalli, P. (2025). Artificial intelligence and its applications in agriculture: A review. Environment Conservation Journal. Environment Conservation Journal 26 (1): 274-280, 2025 <https://www.environcj.in/>
- Whitham, J. C., Miller, L. J. (2024). Utilizing vocalizations to gain insight into the affective states of non-human mammals. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1366933. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1366933>
- Yang, Q., Chen, X., Ma, C., Duarte, C. M., Zhang, X. (2024). Advanced Framework for Animal Sound Classification With Features Optimization. arXiv:2407.03440 <https://arxiv.org/abs/2407.03440>
- Yang, Q., Chen, X., Ma, C., Duarte, C. M., Zhang, X. (2024). Advanced framework for animal sound classification with features optimization. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2407.03440>
- Yang, S. X., Zhang, Y., Wang, H. (2025). Review of computer vision for livestock body conformation assessment. Computers in Biology and Medicine, 148, 105703. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2025.105703>

- Yu, Y., Zhu, W., Ma, X., Du, J., Liu, Y., Gan, L., An, X., Li, H., Wang, B., Fu, X. (2024). Recognition of sheep feeding behavior in sheepfolds using fusion spectrogram depth features and acoustic features. *Animals*, 14(22), 3267. <https://doi.org/10.3390/ani14223267>
- Zhang, Q., Kanjo, E. (2025). MultiCore+ TPU accelerated multi-modal TinyML for livestock behaviour recognition. *arXiv preprint arXiv:2504.11467*. <https://arxiv.org/abs/2504.11467>
- Zhao, Y., Li, J., Wang, J. (2022). Acute noise stress induces oxidative and inflammatory responses in pigs: Implications for animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 856432. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.856432>

BÖLÜM 14

ÇİFTLİK HAYVANLARINDA MİKRO VE NANO PLASTİKLERİN ETKİLERİ

¹ İrfan İNAN

²Doç. Dr. Halit Deniz ŞİRELI

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132870>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Van, Türkiye.
İrfaninan45@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-0084-1394

² Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.
sireli@dicle.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0711-0750>

GİRİŞ

Küresel nüfusun hızlı artışı ile endüstriyel, tarımsal, ticari ve hizmet faaliyetlerinin genişlemesi mikroplastik ve nanoplastik kirliliğini önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 265 milyon ton plastik atık üretilmekte ve bunun 4,8–12,7 milyon tonunun okyanuslara ulaştığı tahmin edilmektedir (Hoang et al., 2025). Plastik kirliliği, insan faaliyetleri sonucu yılda milyonlarca ton atık üreten en ciddi çevresel felaketlerden biridir; her yıl 430 milyon tondan fazla plastik üretilmektedir. Plastik üretimindeki hızlı artış 2050 yılı itibarıyla yıllık 34 milyon metrik tonu aşması ve 2060 yılı itibarıyla 2,1 milyar tonu geçmesi beklenmektedir mikroplastiklerin (5 milimetreden küçük plastik parçacıklar) kara ve su ekosistemlerinde yaygın olarak dağılımına yol açmış ve gıda ürünlerinde çevresel ve sağlıkla ilişkili riskler yaratmıştır (Chaudhary et al., 2025; Rawat et al., 2025).

Üretilen plastiklerin üçte ikisi kısa ömürlü ürünlerdir ve kısa süre içinde atık hâline gelerek sıklıkla insan gıda zincirine karışır (Naz ve ark., 2024). Plastikler, organik veya yarı organik maddelerden üretilen sentetik polimerlerdir ve insanlar tarafından esneklikleri, uzun ömürleri ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle değer görmektedir (Ramesh et al., 2025). Mikroplastikler ve nanoplastikler nedeniyle oluşan kirlilik, son on yılın en önemli çevresel sorunlarından biri olup, insan ve hayvan sağlığı için artan bir tehdit oluşturmaktadır (Urli et al., 2023). Ekosistemler ve canlı organizmalar genelinde mikroplastiklerin yaygın varlığı nedeniyle artan bir bilimsel ve toplumsal ilgi söz konusudur. Mikroplastikler bitkilerde, hayvan türlerinde ve insan dokularında tespit edilmiştir (Alamgir & Shan, 2025). Çevrede her yerde bulunurlar ve deniz suyu, atık su, tatlı su, gıda, hava ve hem şişelenmiş hem de musluk suyu gibi birçok ortamda değişen yoğunluklarda tespit edilmiştir. Mikroplastik kirliliğin başlıca kaynakları kara kaynaklı akışlar ve atık su çıkışlarıdır (Muniv & Supanekar, 2024). Büyük ve giderek artan miktarda mikroplastik üretilmesi, tarım alanlarındaki yaygınlığı, çiftlik hayvanları ve kümes hayvanları tarafından yutulma olasılığı ve performans ile et ürünleri üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle, mikroplastikler hayvancılık ve kümes hayvancılığı üretimi için potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Olmo & Holman, 2025). Mikroplastikler, tavuk, balık, memeliler ve omurgasızlar dahil olmak

üzere çeşitli hayvan türlerinde tespit edilmiştir; bu durum yaygın maruziyet ve potansiyel biyolojik birikimi göstermektedir (El-Hack et al., 2025). Mikroplastik maruziyetinin sağlık üzerindeki etkileri çok yönlüdür; hayvanlar fiziksel zarar görebilir, adsorbe olmuş kirleticilere kimyasal olarak maruz kalabilir, inflamatuvar yanıtlar tetikleyebilir ve davranışsal değişiklikler gösterebilir (Jeong et al., 2024). Mikroplastikler, hayvan sağlığı ve refahı üzerinde ciddi sonuçlara sahiptir; bu durum, hayvancılık sektörü ve hayvansal gıda üretimini etkilemektedir. Ayrıca MNP'ler, hayvansal kaynaklı gıdaların tüketimi yoluyla insan sağlığı üzerinde dolaylı etkilere de sahip olabilir (Khan et al., 2024). Çiftlik hayvancılığında kullanılan plastiklerin seçimi için yol gösterici ilkeler geliştirilmelidir; bu kapsam, plastik ambalajların yanı sıra su temin sistemlerinde, otomatik sağım makinelerinde, gıda işleme süreçlerinde ve insan tüketimine yönelik ürünlerde kullanılan plastikleri içermektedir. Genel olarak, çiftlik ortamlarında ve gıda işleme aşamalarında plastik kullanımının ve atığının azaltılması, hem hayvan sağlığı hem de insan nüfusu açısından arzu edilen ve faydalı bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir (Aardema et al., 2024). Hayvanlar, kirlenmiş yemler, otlar, içme suyu ve kanalizasyon çamuru ile değişmiş topraklar aracılığıyla düzenli olarak mikroplastiklere maruz kalmaktadır (Kataria, 2024). Çiftlik hayvanları, süt, et ve yumurta yoluyla besin zincirinde üstlendikleri rol sayesinde mikroplastik ve nanoplastiklerin hem tüketicisi hem de taşıyıcısıdır. Bu ekolojik döngü, hayvanların sağlık ve üreme üzerine olumsuz etkiler yaratmakta ve hayvansal ürünlerin tüketimi aracılığıyla insanlara da besin yoluyla geçebilmektedir. Hayvanlar ile mikroplastikler arasındaki karmaşık etkileşim, biyoloji, ekoloji, kimya ve toksikoloji gibi disiplinleri birleştiren disiplinler arası araştırmalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır (El-Hack et al., 2025).

1. Mikro plastik MP nedir ? Nanoplastik NP nedir?

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na (UNEP) göre plastik kirliliği; makroplastiklere (>5 mm), mikroplastiklere (<5 mm; $0.1-5000$ μm) ve nanoplastiklere (<0.1 μm ; $0.001-0.1$ μm) ayrışmayı içeren küresel bir çevre krizidir (UNEP, 2021). Mikroplastikler ve nanoplastikler, yüksek kalıcılık ve biyobirikim özellikleri nedeniyle her yerde bulunan kirleticiler olup insan ve hayvan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Wen & Lin, 2025). Plastik ürünler her yerde bulunmakta ve parçalanma eğilimleri,

okyanuslar, karasal ortamlar ve atmosferik rüzgârlar yoluyla geniş çapta dağılımlarına yol açmaktadır. Mikroplastikler, boyutları 5 milimetreden 1 mikrometreye kadar olan plastik parçacıkları ifade ederken, nanoplastikler genellikle 1.000 nanometreden daha küçük parçacıklardır (Alamgir & Shan, 2025).Biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle nanoplastikler, hücre zarlarından geçebilir ve bu yönleriyle mikroplastiklerden daha toksikolojik etkiler ortaya çıkarabilir (Fraissinet et al., 2024). Nanoplastiklerin toksisitesi, biyolojik bariyerleri geçme ve dokularda birikme kapasiteleri nedeniyle özellikle endişe vericidir (Mir et al., 2025).

Mikroplastikler ve nanoplastikler (MNP'ler; <5 mm), potansiyel insan sağlığı etkileri olan yaygın çevresel kirleticilerdir (Tran et al., 2025).Mikroplastikler, 5 mm'den küçük parçacıklar, ve nanoplastikler, 1 µm'den küçük parçacıklar, çevrede meydana gelen çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler sonucunda gerçekleşen bozulma ve özellikle ayrışma süreçlerinin ürünleridir.Boyutları 5 mm'den küçük olan bu mikroskobik partiküller, günümüzde hava, su ve gıda dahil olmak üzere her yerde bulunabilmektedir.MP'ler, plastik atıklar, sentetik tekstiller ve kişisel bakım ürünleri gibi çeşitli kaynaklardan ortaya çıkar ve giderek artan şekilde insan ortamlarında (gıda zinciri dahil), suda ve havada tespit edilmektedir (Abbas, 2025).Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), tarımsal topraklarda yaygın kirleticiler olup, çevresel kaderleri, besin zincirine sızmaları ve potansiyel insan sağlığı etkileri konusunda endişelere yol açmaktadır (Boctor et al., 2025).Sanayi, tıp, kozmetik, boya, aşındırıcılar ve plastik pelet veya toz gibi küçük parçacık üreten ürünler, mikroplastiklerin başlıca kaynaklarıdır. Polipropilen, polietilen, polivinil klorür (PVC), polistiren, poliüretan ve polietilen tereftalat (PET) gibi kimyasallar, bu kirlilikte miktar sırasına göre yer almaktadır (Kochanek et al., 2025)

Mikroplastikler ve nanoplastikler maruziyetinin oksidatif stres, iltihaplanma, bozulmuş biyokimyasal ve enerji metabolizması, değişen hücre morfolojisi ve proliferasyonu, azalmış hücresel metabolik aktivite, bağışıklık işlev bozukluğu, sitotoksosite, genotoksosite, mikrobiyal metabolik yolların bozulması, gelişimsel anormallikler ve kanserojenlik ile sonuçlanabileceğini göstermektedir (Thapliyal et al., 2025) Tarım ortamlarındaki mikroplastiklerin yaygın olarak artması, çevresel istikrar, toprak sağlığı ve güvenli beslenme gibi

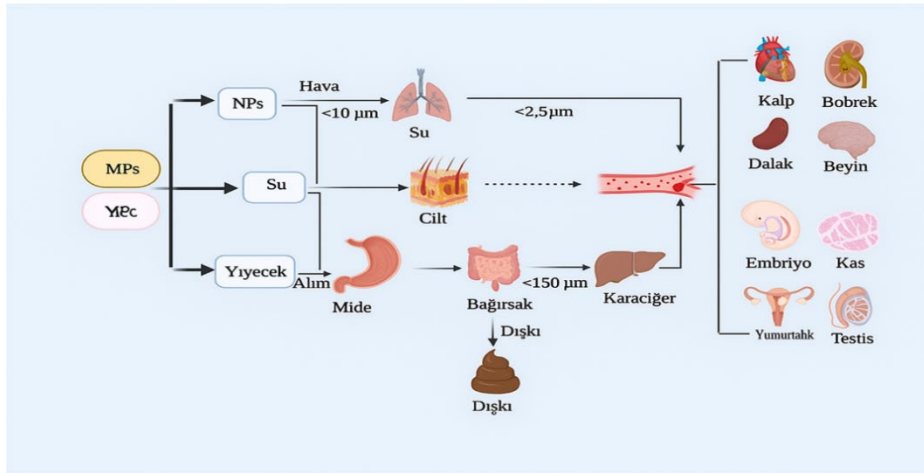
sürdürülebilirliğin üç temel unsurunu tehdit etmektedir. Bu parçacıkların birçok giriş yolu bulunmaktadır; havadan çökme, çamur ve kompost uygulamaları, yetersiz sulama yönetimi ve plastik bazlı tarım girdilerinin parçalanması bunlar arasında yer almaktadır (Tsochatzis et al., 2024)

Hayvan refahı, tarımsal verimlilik ve tüketici güvenliği, bu yeni tehlikenin anlaşılmasına bağlıdır. Kirleticiler, hayvancılık sistemlerine girdiğinde daha büyük bir ekolojik tehdit oluşturur; bu durum sürü sağlığını, ekonomik sürdürülebilirliği ve besin ağı stabilitesini etkileyebilir. Bu tehlikelerle başa çıkmak için toksikoloji, çevre kimyası, halk sağlığı ve veterinerlik bilimlerinin birlikte çalışması gerekmektedir (Kataria, 2024).

2.Çiftlik Hayvanlarında Hayvanlarda Mikroplastik ve Nanoplastiklerin Maruziyeti ile Taşınım Mekanizmaları

2.1.Hayvanlarda mikro ve nano plastiklerin (MPS'lerin) Maruziyetinin sonuçları

Mikroplastikler, geviş getirenlerin vücuduna yutma, soluma ve deri teması yoluyla girebilir ve böylece hayvanların sağlık ve üretim performansını etkileyebilir.Geviş getirenlerin mikroplastiklere maruziyetiyle ilgili araştırmalar, ağırlıklı olarak yutma ve buna bağlı olumsuz etkiler üzerinde yoğunlaşmıştır.Kaçınılmaz uzun süreli maruziyet nedeniyle, geviş getirenlerde mikroplastiklerin zararları özellikle üretim performansı, bağışıklık fonksiyonu ve rumendeki mikrobiyal topluluk üzerindeki etkilerle kendini göstermektedir (Su et al., 2025).Geviş getiren hayvan yemleri, besin zinciri boyunca mikroplastik (MP) kontaminasyonunda kritik bir bağlantı oluşturmakta ve geviş getirenler için olası birincil MP maruziyet kaynaklarından birini temsil etmektedir.Geviş getiren hayvan yemlerinde. Mısır silajı, en yüksek mikroplastik kirliliğine sahip yem türü olarak belirlenmiştir ($37,9 \pm 7,94$ parçacık/g). Kuru ot: $16,4 \pm 3,81$ MP parçacık/g; yüksek proteinli yem: $16,3 \pm 3,76$ MP parçacık/g. Tüm yemlerde en bol bulunan partiküller, şeffaf lif şeklindeki mikroplastiklerdir. Tarımda yaygın kullanımını yansıtan LDPE (düşük yoğunluklu polietilen), en çok rastlanan polimer olmuştur (Patrucco et al., 2025)



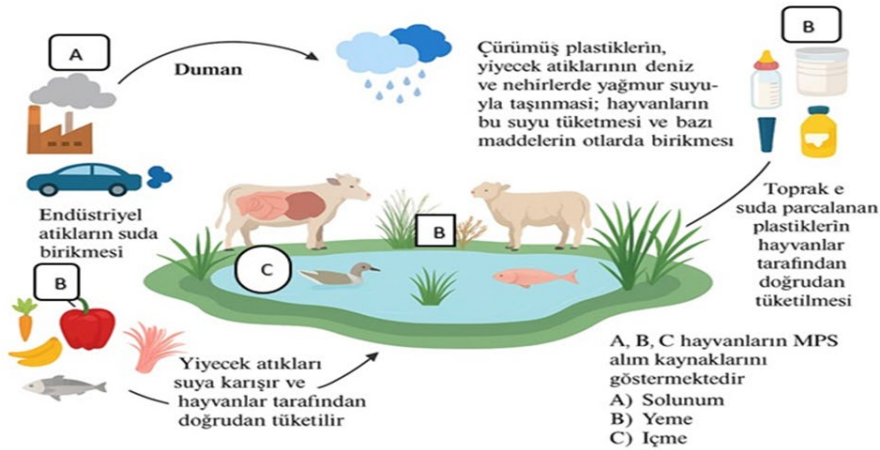
Şekil.1. Hayvanlarda nanoplastiklerin (NP'ler) ve mikroplastiklerin (MP'ler) Hedef organlara taşınması

Mikroplastikler, tarım filmleri, kanalizasyon çamuru, tekstil ürünleri ve kozmetik gibi kaynaklardan toprağa geçmekte ve toprak yapısını ve besin dinamiklerini değiştirmektedir. Bitkiler, kökleri ve yaprakları aracılığıyla mikroplastikleri absorbe etmekte, bu parçacıklar gövdeye, yapraklara ve yenilebilir dokulara taşınmakta ve bu durum gıda güvenliği ile insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır (Chaudhary et al., 2025).Çiftlik hayvanları, kirlenmiş yemler, kaba yemler, içme suyu ve kanalizasyon çamuru ile değişime uğramış topraklar aracılığıyla düzenli olarak mikroplastiklere maruz kalmaktadır. Mikroplastik alımı, vücutta tutulması ve sistemik dağılımı, özellikle ruminant hayvanlar ile tek mideye sahip hayvanlar arasında görülen tür-spesifik sindirim fizyolojisi farklılıklarından etkilenmektedirHayvanların, kirlenmiş yemler, kaba yemler, içme suyu ve mera koşulları aracılığıyla mikroplastik alımı ve birikimine maruz kalabileceği giderek daha net bir şekilde anlaşılmaktadır (Kataria, 2024).

Ruminantlar, balıklar, kümes hayvanları ve insanların besin zincirinin üst kademelerinde yer alması nedeniyle, su, hava veya topraktaki herhangi bir kirlilik, sonunda hayvanlara ve buradan insanlara geçebilir.Örneğin, su ürünleri, ruminantlar ve kümes hayvanlarının bağırsaklarında mikroplastiklerin varlığı, bağırsak mikrobiyal popülasyonunda değişikliklere ve sonuç olarak hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur.Bu parçacıklar ayrıca hayvanların karaciğer, böbrekler, akciğer, dalak, kalp, yumurtalık ve testis gibi diğer organlarında da gözlemlenmiş, bu durum biyokimyasal değişikliklere,

yapısal tahribata ve organ fonksiyonlarında bozulmalara yol açmıştır (Lackner & Branka, 2024). Mikroplastikler özellikle kanatlı hayvanlarda yutma, soluma ve deri yoluyla temas sonucu sağlık üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Mikroplastiklere maruz kalma; büyümenin yavaşlaması, bağışıklık fonksiyonlarının zayıflaması, doğurganlığın azalması ve doku hasarına neden olabilmektedir. Bu durum, hem çevresel sağlık hem de hayvan sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. (Abd El-Hack et al., 2025).

Mikroplastik maruziyeti; fiziksel zarara, kimyasal kirleticilere maruziyete, enflamatuvar (iltihabi) yanıtlara ve hatta davranışsal değişikliklere yol açabilmektedir. Kronik maruziyet, uzun vadeli sağlık sonuçları doğurabilir. Mikroplastikler, kimyasal kirleticileri adsorbe edebilir ve taşıyabilir; bu durum, kirleticiye maruziyeti artırma potansiyeli taşımaktadır. Adsorbe edilen kimyasalların serbest kalması, mikroplastik toksisitesinin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Mikroplastikler, hayvan davranışlarını, popülasyon dinamiklerini ve ekosistem süreçlerini bozarak biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetleri üzerinde ciddi etkiler yaratabilmektedir (Jeong et al., 2024).



Şekil.2. Hayvanlarda Mikro ve Nano plastiklerin Vücuda Alınmasının Döngüsü(Khan et al., 2024)

Hayvan bilimleri alanında, su ve yemlerdeki mikroplastik kirlenme düzeyi, çiftlik hayvanlarının vücudunda ve yüksek tüketimli ürünlerde (et, süt) miktar ve türleri hakkında yapılan çalışmalar hâlen çok sınırlıdır. Bu parçacıkların üretim verimliliği, üreme oranı ve hayvan sağlığı üzerindeki etkileri de yeterince bilinmemektedir. Sorunun net bir şekilde anlaşılması ve

(mikro)plastik emisyonlarının biyosfere ciddi şekilde azaltılması gerekmektedir (Lackner & Branka., 2024).

3. Çiftlik Hayvanlarında Mikroplastik ve Nanoplastiklerin Hayvanlar üzerindeki Genel Etkileri

Mikroplastikler (MP'ler), hayvanlar üzerindeki etkileri çok yönlüdür; fiziksel hasar, inflamatuvar yanıtlar, adsorbe olmuş kirleticilerden kaynaklanan kimyasal toksisite ve davranışsal değişiklikleri kapsar. Uzun süreli maruziyet, kronik toksisite ve MP'lerin zararlı maddelerin taşınmasındaki rolü nedeniyle ciddi kaygılar uyandırmakta ve gıda zinciri içinde biyobirikime katkıda bulunmaktadır. Bu bozulmalar, hayvan davranışını, popülasyon istikrarını ve ekosistem işlevselliğini etkileyerek daha geniş ekolojik sonuçlara yol açabilir (Yelmame et al., 2025). Mikroplastik maruziyeti hayvanlar üzerinde toksik etkileri yaratmaktadır. Bu etkiler arasında oksidatif stres, DNA hasarı, organ fonksiyon bozuklukları, metabolik bozukluk, bağışıklık sistemi yanıtı, nörotoksisite ve üreme ile gelişim toksisitesi yer almaktadır (Li et al., 2023).

Mikroplastik maruziyeti; fiziksel zarara, kimyasal kirleticilere maruziyete, enflamatuvar (iltihabi) yanıtlara ve hatta davranışsal değişikliklere yol açabilmektedir. Kronik maruziyet, uzun vadeli sağlık sonuçları doğurabilir. Mikroplastikler, kimyasal kirleticileri adsorbe edebilir ve taşıyabilir; bu durum, kirleticiye maruziyeti artırma potansiyeli taşımaktadır. Adsorbe edilen kimyasalların serbest kalması, mikroplastik toksisitesinin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Mikroplastikler, hayvan davranışlarını, popülasyon dinamiklerini ve ekosistem süreçlerini bozarak biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetleri üzerinde ciddi etkiler yaratabilmektedir (Jeong et al., 2024). Mikroplastik maruziyeti sığırlarda mekanik gastrointestinal yaralanmalar, oksidatif stres, bağışıklık sistemi değişiklikleri, karaciğer fonksiyon bozuklukları ve hatta üreme bozukluklarına yol açabilir. Mikroplastiklerin, ağır metaller ve endokrin sistemi bozan bileşikler gibi toksik maddeleri taşıyarak yenilebilir dokularda birikmesine neden olma riski vardır. Bu durum, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından ciddi bir endişe kaynağıdır (Kataria, 2024). Mikroplastikler (MP'ler), hayvan vücudu için doğrudan toksik tehdit oluşturmakta ve hayvan sağlığını tehlikeye atan kimyasal zehirlerin ve patojenlerin taşıyıcısı olarak, hayvancılık ve hayvansal gıda üretimini ciddi şekilde etkilemektedir. Mikroplastiklerin toksik mekanizması nispeten karmaşıktır ve başlıca oksidatif stres, immünotoksisite, üreme toksisitesi ve nörotoksisiteyi kapsamaktadır. Toksisite düzeyi, mikroplastiklerin türü,

maruziyet dozu, boyutu ve şekli ile yakından ilişkilidir (Su et al., 2025). Mikroplastiklerin çiftlik hayvanlarındaki varlığı ciddi bir sorundur ve bu durumun fark edilip çok boyutlu önlemler alınması gerekmektedir. Sadece mikroplastik kirliliğini ortadan kaldırmak yeterli olmayacak; bozulmayan tüm plastik envanteri için bütünsel bir çözüm bulunmalı ve biyobazlı ve biyolojik olarak çözünebilen alternatifler uygulanmalıdır. Bu sayede, mikro- ve nanoplastik kirliliğinin temel sorunu gerçekten çözülebilir (Lackner & Branka, 2024).

Tablo.1. Mikroplastiklerin ve Nanoplastiklerin Çiftlik Hayvanlarında neden olduğu Fizyolojik etkiler (Lackner & Branka., 2024)

Mikroplastik / Kimyasal	Hayvan Türü	Fizyolojik Etki	Kaynak
MPs ve NPs	Kümes hayvanları	Nanoplastiklerin embriyoya taşınması, vitellus kesesinde birikim, besin emiliminde bozulma	(Yin et al., 2021)
BPA	Siğır	Oositlerde apoptotik gen ekspresyonunun artışı	(Saleh & Favetta, 2019)
BPA	Siğır	Olgun oosit oluşumunda azalma	(Fujimoto et al., 2011)
BPA	Tavuk	Embriyo ölümleri ve üreme organlarında malformasyon	(Talpade et al., 2018)
MEHP	Siğır	Oositlerde mayoz olgunlaşmanın inhibisyonu	(Grossman et al., 2012)
BPA	Siğır ve domuz	Mayoz, iç iplikleri ve embriyoda konjenital bozukluklar	(Nandinee et al., 2021; Wang et al., 2016)
Kısaltma	Açıklama		
MPs	Microplastics (Mikroplastikler)		
NPs	Nanoplastics (Nanoplastikler)		
BPA	Bisphenol A (Bisfenol A)		
MEHP	Mono-(2-ethylhexyl) phthalate (Monoetilheksil ftalat)		

Tablo.2. Mikro-Makro ve Nano plastiklerin çiftlik hayvanlarında Türlerle ve Hedef Organlar üzerindeki Potansiyel etkiler(Lackner & Branka., 2024)

Hayvan Türü	Plastik Türü	Hedef Organ(lar)	Etki	Kaynak
Tavuk	PS	Böbrek	Böbrek dokusunda hasar, mitokondriyal bozulma, kan-idrar bariyerinde düzensizlik	(Meng et al., 2022)
Tavuk	PS	Kalp	Vücut veya miyokard ağırlığında fark yok; oksidatif stres, inflamasyon, mitokondriyal bozulma, enerji metabolizmasında zayıflama	(Zhang et al., 2022)
Tavuk)	PS	Testis dokusu ve kan	Testis dokusunda bozulma, inflamatuvar infiltrasyon, BTB ile ilişkili proteinlerin etkilenmesi	(Hou et al., 2022)
Tavuk	PS	Kalp	Miyokard displazisi ve endoplazmik retikulum (ER) stresi	(Zhang et al., 2022)
Tavuk	PE	Kan, bağırsak, karaciğer, böbrek, dalak	Vücut ağırlığında azalma, ALT ve AST artışı, karaciğer inflamasyonu, böbrek glomerüller hipoplazisi, bağırsak villuslarında bozulma, bağırsak mikrobiyotasında azalma	(Li et al., 2023)
Tavuk	PS	Göğüs ve but kasları, karaciğer, bağırsak	Kas dokusunda artış, karaciğer ve iskelet kası fonksiyonlarında bozulma, et kalitesinde düşüş	(Chen et al., 2023)
Tavuk)	PE	Taşlık (gizzard)	Taşlık hacminde artış, yem tüketiminde ve kondisyonunda azalma	(Ryan, 1988)
Deve	PE, PP	Bağırsaklar	Bağırsak hasarı, patojen (bakteriyel) enfeksiyon, organ yetmezliği	(Eriksen et al., 2021)
Manda	MP	Vücut sıvıları ve dokular	İşkembe tıkanması, rumende, kanda, karaciğer, kas ve böbrekte ağır	(Mahadappa et al., 2020)

GI = gastrointestinal- sindirim sistemi

BTB = Blood–Testis Barrier (Kan–Testis Bariyeri)

ALT = Alanine Aminotransferase (Alanin Aminotransferaz)

AST = Aspartate Aminotransferase (Aspartat Aminotransferaz)

Kısaltma Plastik Türü

PS Polystyrene (Polistiren)

PE Polyethylene (Polietilen)

PP Polypropylene (Polipropilen)

MP Microplastics (Mikroplastik)

Tablo 3. Çiftlik Hayvanlarında Mikroplastik ve Nanoplastiklerin Hayvansal Ürünlerde Bulgular ve Ülke Bazında Çalışma Verileri (Prata & Dias-Pereira, 2023)

Hayvan	Örnek	Bulgular	Ülke	Kaynak
Sığır	Süt	Nylon-6, PET, EVA, PP, PU	Türkiye	(Basaran et al., 2023).
Tavuk	Kursak	11 MP kursak ⁻¹	Meksika	Huerta Lwanga ve ark., 2017
	Taşlık	Var	Filipinler	Leon ve ark., 2022
		45.8 MP taşlık ⁻¹	Meksika	Huerta Lwanga ve ark., 2017
	Bağırsak	Var	Filipinler	Leon ve ark., 2022
	Et (paketli)	4.0–18.7 MP kg ⁻¹ ; 18–164 lif kg ⁻¹	Fransa	Kedzierski ve ark., 2020
	Et (parça)	30–1190 MP kg ⁻¹	Birleşik Arap Emirlikleri & Kuveyt	Habib ve ark., 2022
	Yumurta	11.67 MP yumurta ⁻¹	Çin	Liu ve ark., 2022
	Dışkı	129,800 MP kg ⁻¹	Meksika	Huerta Lwanga ve ark., 2017
	Gübre	667 MP kg ⁻¹ (yaş ağırlık)	Çin	Wu ve ark., 2021
Keçi	Et (parça)	2200–6500 MP kg ⁻¹ ; 120–1620 mg kg ⁻¹	Orta Doğu	Habib ve ark., 2022
Koyun	Dışkı	997 MP kg ⁻¹	İspanya	Beriot ve ark., 2021
Sığır	Süt	2040–10,040 MP L ⁻¹	İsviçre & Fransa	Da Costa Filho ve ark., 2021
		3–11 MP L ⁻¹	Meksika	Kutralam-Muniasamy ve ark., 2020
		40 MP L ⁻¹	Ekvador	Diaz-Basantes ve ark., 2020
	Gübre	74 MP kg ⁻¹ (yaş ağırlık)	Çin	Wu ve ark., 2021
		4520 MP kg ⁻¹ (kuru ağırlık)	Çin	Zhang ve ark., 2022
Domuz	Akciğer	180,000 MP kg ⁻¹	Çin	Li ve ark., 2023
	Gübre	902 MP kg ⁻¹ (yaş ağırlık)	Çin	Wu ve ark., 2021
		3547 MP kg ⁻¹ (kuru ağırlık)	Çin	Zhang ve ark., 2022
Arı	Bal	54 ve 67 MP L ⁻¹	Ekvador	Diaz-Basantes ve ark., 2020
		40–660 lif kg ⁻¹ ; 0–38 parçacık kg ⁻¹	Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, Meksika	Liebezeit & Liebezeit, 2013
		10–336 lif kg ⁻¹ ; 2–86 parçacık kg ⁻¹	Almanya	Liebezeit & Liebezeit, 2015

Dipnot: w.w., yaş ağırlık; d.w., kuru ağırlık.

4. Literatürde Mikro ve Nano Plastiklerin Tespitine İlişkin Çalışmalar

Mohammadi et al. (2025), 71,42% oranında mikroplastik içeren inek (COM) ve kanatlı gübresi (POM) örneklerini incelemiştir. Mikroplastikler dört morfolojide sınıflandırılmıştır: lif, film, parça ve küre; en yaygın renkler renksiz, yeşil, sarı, mavi, beyaz ve siyah olup, en yüksek polimer oranları PE ve PP olarak bulunmuştur. Doksisiklin (0,53–2,3 mg/kg), eritromisin (0,49–1,9 mg/kg), enrofloksasin (0,54–2,6 mg/kg) ve progesteron (21,5–46,2 mg/kg) tespit edilmiştir. COM’de Zn 248,16±31,62 mg/kg, Cr 34,46±17,58 mg/kg ve Cu 100,2±2,22 mg/kg iken, POM’de Zn 200,1±39,17 mg/kg, Cr 34,2±11,6 mg/kg ve Cu 148,4±57,02 mg/kg olarak ölçülmüştür.

(Sheriff et al. (2023), Yapılan çalışmada analizler sonucunda domuz dışkısında $9,02 \times 10^2 \pm 1,29 \times 10^3$ parçacık/kg, sığır dışkısında $7,40 \times 10^1 \pm 1,29 \times 10^2$ parçacık/kg, koyun dışkısında 0 ila 5000 parçacık/kg ve tavuk dışkısında $129,8 \pm 82,3$ parçacık/g (0,1298 parçacık/kg). Çiftlik hayvanı gübresinde bulunan mikroplastikler, esas olarak mikroplastiklerle kontamine olmuş yemlerden ve bitki artıklarına bağlı plastik malç filminden alınmaktadır. Bununla birlikte, diğer olası kaynaklar (ör. su, toprak ve hava) da dikkatle incelenmelidir. Mevcut bulgulara dayanarak, hayvan gübresinin, tarım arazilerinde yaygın olarak gübre olarak kullanılması nedeniyle, mikroplastiklerin çevreye girmesinde bir kaynak olduğu sonucuna varılabilir.

(Visentin et al.,(2025) Çalışmada, 28 süt ürünü örneği Fourier dönüşümlü kızılötesi mikrospektroskopi yöntemi kullanılarak, yansımali toplam yansıtma modunda analiz edilmiştir ve mikroplastiklerin konsantrasyon seviyeleri ile polimer bileşimi değerlendirilmiştir. En sık rastlanan polimer poli(etilen tereftalat) olup, bunu polietilen ve polipropilen takip etmektedir. Mikroplastiklerin çoğu 150 mikrometreden küçük olup, 51–100 mikrometre aralığı en yaygın boyut olarak bulunmuştur (%33,8).Düzensiz parçacıklar (%77,4) ve gri renkli parçacıklar (%68,4) baskın olmuştur.Olgunlaştırılmış peynir, en yüksek mikroplastik konsantrasyonuna (1857 MP/kg) sahip iken, bunu taze peynir (1280 MP/kg) ve süt (350 MP/kg) takip etmiştir. Sonuçlar, süt ürünlerinde yaygın mikroplastik kontaminasyonunu doğrulamıştır (Visentin et al., 2025).

(Van-der Veen et al., 2022) Hollanda'daki bir pilot çalışmada, çiftlik hayvanlarının plastik parçacıklara maruziyeti incelenmiştir. Çalışmada kan, süt, yem ve et örnekleri analiz edilmiştir: 12 domuz ve 12 inekten kan, 25 süt örneği (el sağımı, tank süt ve market sütü), 16 et örneği ve farklı yem örnekleri (pellet, taze ve süpermarket parçalanmış yem) değerlendirilmiştir. Analizlerde polivinil klorür, polietilen, polistiren, polipropilen, poli(metil metakrilat) ve polietilen tereftalat gibi yüksek üretim hacmine sahip polimerler tespit edilmiştir. İnek kanı örneklerinin %100'ünde PVC (1,2–6,1 µg/g), PE (0,22–1,5 µg/g) ve Styr-P (0,09–1,5 µg/g), domuz kanında ise PE (2,1–>33 µg/g) ve Styr-P (0,3–>10 µg/g) bulunmuştur. Süt örneklerinin 18'inde mikroplastik tespit edilmiş, olgunlaştırılmış peynir 1857 MP/kg, taze peynir 1280 MP/kg ve süt 350 MP/kg olarak ölçülmüştür. Et örneklerinde PVC, PE ve Styr-P tespit edilmiş, yem örneklerinin çoğu PVC ve PE içermiştir. Bu çalışma, plastik parçacıkların çiftlik hayvanlarının beslenme zincirinde bulunduğunu ve potansiyel maruziyetin süt, et ve yem yoluyla insanlara aktarılabilirliğini göstermektedir.

González-Puetate ve ark. (2025) Ekvatorda yapılan çalışmada piyasaya sürülen sığır sütlerinde mikroplastik (MP) varlığını, süt tipi, ambalaj malzemesi ve kullanılan analitik yöntemler dikkate alınarak değerlendirmiştir. Toplam 35 süt örneği analiz edilmiş olup, bunlar çiğ, tam yağlı ve yarım yağlı süt olarak toplanmış ve Tetra Pak, plastik poşet veya ambalajsız olarak satılmıştır. Örnekler doğrudan gözlem (DO), yoğunlukla ayırma doygun tuz çözeltisi (SSS), filtrasyon sonrası SSS (FSSS) ve %10 NaOH kimyasal sindirim (CD) yöntemleri ile analiz edilmiştir. Çiğ, ambalajsız süt $241,05 \pm 66,18 \text{ MP L}^{-1}$ mikroplastik içerirken, yarım yağlı süt $115,14 \pm 24,21 \text{ MP L}^{-1}$ ve tam yağlı süt $65,83 \pm 14,19 \text{ MP L}^{-1}$ mikroplastik içermiştir. Ambalaj etkisi gözlemlenmiş; Tetra Pak süt $92,38 \pm 20,56 \text{ MP L}^{-1}$ ve plastik poşet süt $88,60 \pm 19,66 \text{ MP L}^{-1}$ mikroplastik içermiştir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tarımsal sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, tarım alanlarını tehdit eden çevresel kirlilik ve gıda güvenliği baskısı altında şekillenmektedir. Üretilen ve tüketilen hayvansal ürünlerin sağlık koşullarının bu baskı ekseninde sorgulanması kaçınılmaz hale gelmektedir. Çiftlik hayvanlarının maruz kaldığı mikroplastikler ve nanoplastikler, kara ve su ekosistemlerinde yaygın

kirleticiler haline gelerek giderek artan ölçüde gıda zinciri ile hayvansal üretim sistemlerine doğru, besin zincirinin son basamaklarında görülmektedir. Mikro ve nanoplastiklerin doğada parçalanma hızları, deniz suyu ekosistemlerinden kara ekosistemlerine taşınması, parçacık boyutu, yüzey reaktivitesi ve kimyasal bileşimi gibi fiziko-kimyasal özellikleri, bu maddelerin toksikolojik potansiyelini belirlemektedir. Hücresel bariyerleri hızlı geçebilme ve dokularda birikebilme özellikleri nedeniyle nanoplastikler, mikroplastiklere kıyasla daha yüksek risk oluşturmaktadır.

Çiftlik hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin ve nanoplastiklerin sindirim sistemi bütünlüğünü bozabileceğini, rumen mikrobiyotasını değiştirebileceğini, oksidatif stres oluşturabileceğini ve besin emilimini azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu partiküllerin süt, et ve yumurta gibi yenilebilir dokularda kalıcılığı, gıda güvenliği ve bu ürünleri tüketen insanların sağlığı açısından doğrudan bir risk oluşturmaktadır. Bu durum, hayvan sağlığını, hayvan refahını ve üretim-tüketim verimliliğini tehdit etmektedir.

Genel olarak, çalışmada elde edilen bulgular, mikroplastiklerin ve nanoplastiklerin çiftlik hayvanlarında alım, birikim ve biyolojik etkilerinin mekanizmalarını daha iyi anlamaya yönelik; ekoloji, çevre bilimi, biyoloji, kimya, zootekni, gıda bilimi ve veterinerlik bilim dallarının katkısıyla disiplinler arası araştırmaların yapılmasının, çevresel kirliliğin parçası olan mikro, makro ve nanoplastik sorununun daha iyi anlaşılmasına katkı sunacağını göstermektedir. Çiftlik hayvanlarının mikro plastikler ve nano plastiklere maruz kalması ve hayvanlar üzerindeki geniş etkilerinin anlaşılması, hem hayvansal üretimin verimliliği, hayvan insan sağlığı ve hayvan refahının korunması hem de küresel gıda sisteminin güvenliği ve sürdürülebilirliği ile hayvancılığın ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutları açısından son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

- Abbas, G., Ahmed, U., & Ahmad, M. A. (2025). *Impact of microplastics on human health: Risks, diseases, and affected body systems*. *Microplastics*, 4(2), 23. <https://doi.org/10.3390/microplastics4020023>
- Alamgir, W., & Shan, H. (2025). Bioaccumulation of microplastics: From environmental pollutants to multisystemic toxicity in humans. *Life & Science*, 6(2), 154–155. <https://doi.org/10.37185/LnS.1.1.946>
- Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V., & Huerta Lwanga, E. (2021). Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of The Total Environment*, 755, 142653. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653>
- Boctor, J., Hoyle, F. C., Farag, M. A., Ebaid, M., Walsh, T., Whiteley, A. S., & Murphy, D. V. (2025). Microplastics and nanoplastics: Fate, transport, and governance from agricultural soil to food webs and humans. *Environmental Sciences Europe*, 37, 68. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01104>
- Chaudhary, H. D., Shah, G., Bhatt, U., et al. (2025). Microplastics and plant health: A comprehensive review of sources, distribution, toxicity, and remediation. *npj Emerging Contaminants*, 1, 8. <https://doi.org/10.1038/s44454-025-00007-z>
- Chen, J., Chen, G., Peng, H., Qi, L., Zhang, D., Nie, Q., Zhang, X., & Luo, W. (2023). Microplastic exposure induces muscle growth but reduces meat quality and muscle physiological function in chickens. *Science of the Total Environment*, 882, 163305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163305>
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., et al. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*, 11, 24046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03230-1>
- Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability*, 12, 5514. <https://doi.org/10.3390/su12145514>

- El-Hack, M. E. A., Ashour, E. A., AlMalki, F., Khafaga, A. F., Moustafa, M., Alshaharni, M. O., Youssef, I. M., Elolimy, A. A., & Świątkiewicz, S. (2025). Harmful impacts of microplastic pollution on poultry and biodegradation techniques using microorganisms for consumer health protection: A review. *Poultry Science*, 104(1), 104456. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104456>
- Eriksen, M., Lusher, A., Nixon, M., & Wernery, U. (2021). The plight of camels eating plastic waste. *Journal of Arid Environments*, 185, 104374. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104374>
- Fraissinet, S., De Benedetto, G. E., Malitesta, C., et al. (2024). Microplastics and nanoplastics size distribution in farmed mussel tissues. *Communications Earth & Environment*, 5, 128. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01300-2>
- Fujimoto, V. Y., Kim, D., Vom Saal, F. S., Lamb, J. D., Taylor, J. A., & Bloom, M. S. (2011). Serum unconjugated bisphenol A concentrations in women may adversely influence oocyte quality during in vitro fertilization. *Fertility and Sterility*, 95(6), 1816–1819. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2011.01.017>
- González-Puetate, I., Pinela Castro, D., Carpio Zorrilla, G. M., Moreno Verdesoto, M. K., Zambrano Guerra, M. d. C., Cedeño Reyes, P. P., Marín-Tello, C., & Vásquez-Kool, J., & Yáñez-Avalos, D. (2025). Bovine milk and microplastics: Revealing the invisible with advanced microscopy. *Revista Veterinaria*, 36(2), 1–8. <https://doi.org/10.30972/vet.3628605>
- Grossman, D., Kalo, D., Gendelman, M., & Roth, Z. (2012). Effect of di-(2-ethylhexyl) phthalate and mono-(2-ethylhexyl) phthalate on in vitro developmental competence of bovine oocytes. *Cell Biology and Toxicology*, 28(5), 383–396. <https://doi.org/10.1007/s10565-012-9225-0>
- Habib, R. Z., Al Kindi, R., Al Salem, F., Kittaneh, W. F., Poulouse, V., Iftikhar, S. H., Mourad, A.-H. I., & Thiemann, T. (2022). Microplastic contamination of chicken meat and fish through plastic cutting boards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 13442. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013442>

- Hoang, H. G., Nguyen, N. S. H., Zhang, T., Tran, H.-T., Mukherjee, S., & Naidu, R. (2025). A review of microplastic pollution and human health risk assessment: Current knowledge and future outlook. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1606332. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1606332>
- Hou, L., Wang, D., Yin, K., Zhang, Y., Lu, H., Guo, T., Li, J., Zhao, H., & Xing, M. (2022). Polystyrene microplastics induce apoptosis in chicken testis via crosstalk between NF- κ B and Nrf2 pathways. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 262, 109444. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109444>
- Huerta Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Ku Quej, V., Chi, J. D. L. A., Sanchez del Cid, L., Chi, C., Escalona Segura, G., Gertsen, H., Salánki, T., van der Ploeg, M., et al. (2017). Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports*, 7, 14071. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14267-2>
- Jeong, E., Lee, J.-Y., & Redwan, M. (2024). Animal exposure to microplastics and health effects: A review. *Emerging Contaminants*, 10(4), 100369. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100369>
- Kataria, R. C. (2024). Impact of microplastics on livestock: Sources, exposure pathways, and physiological consequences. *Journal of Advanced Zoology*, 45(4), 250–261. <https://jazindia.com>
- Kataria, R. C. (2024). Impact of microplastics on livestock: Sources, exposure pathways, and physiological consequences. *Journal of Advanced Zoology*, 45(4), 250–261. <https://doi.org/10.53555/jaz.v45i4.5164>
- Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., & Bruzard, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100489. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100489>
- Khan, A., Qadeer, A., Wajid, A., Ullah, Q., Ur Rahman, S., Ullah, K., Safi, S. Z., Ticha, L., Skalickova, S., Chilala, P., Bernatova, S., Samek, O., & Horky, P. (2024). Microplastics in animal nutrition: Occurrence, spread, and hazard in animals. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, 101258. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101258>
- Kochanek, A., Graż, K., Potok, H., Gronba-Chyła, A., Kwaśny, J., Wiewiórska, I., Ciula, J., Basta, E., & Łapiński, J. (2025). Micro- and nanoplastics in

- the environment: Current state of research, sources of origin, health risks, and regulations—A comprehensive review. *Toxics*, 13, 564. <https://doi.org/10.3390/toxics13070564>
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks—Are they immune from microplastics contamination? *Science of The Total Environment*, 714, 136823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823>
- Lackner, M., & Branka, M. (2024). Microplastics in farmed animals—A review. *Microplastics*, 3(4), 559–588. <https://doi.org/10.3390/microplastics3040035>
- Leon, L. I. D., Bautista, I. M. R., Deza, A. G. M. D., Kok, J. F. F., Del Mundo, E. F., & Vince-Cruz-Abeledo, C. C. (2022). No microplastic fragments from poultry entrails in wet markets from South Caloocan, Philippines. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1845913/v1>
- Li, H., Yang, Z., Jiang, F., Li, L., Li, Y., Zhang, M., Qi, Z., Ma, R., Zhang, Y., Fang, J., et al. (2023). Detection of microplastics in domestic and fetal pigs' lung tissue in natural environment: A preliminary study. *Environmental Research*, 216, 114623. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.114623>
- Li, S., Keenan, J. I., Shaw, I. C., & Frizelle, F. A. (2023). Could microplastics be a driver for early onset colorectal cancer? *Cancers*, 15(11), 3323. <https://doi.org/10.3390/cancers15113323>
- Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential health impact of microplastics: A review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment & Health*, 1(4), 249–257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30, 2136–2140. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.817255>
- Liu, Q., Chen, Z., Chen, Y., Yang, F., Yao, W., & Xie, Y. (2022). Microplastics contamination in eggs: Detection, occurrence and status. *Food Chemistry*, 397, 133771. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133771>
- Mahadappa, P., Krishnaswamy, N., Karunanidhi, M., Bhanuprakash, A. G., Bindhuja, B. V., & Dey, S. (2020). Effect of plastic foreign body

- impaction on rumen function and heavy metal concentrations in various body fluids and tissues of buffaloes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 109972. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109972>
- Meng, X., Yin, K., Zhang, Y., Wang, D., Lu, H., Hou, L., Zhao, H., & Xing, M. (2022). Polystyrene microplastics induced oxidative stress, inflammation and necroptosis via NF- κ B and RIP1/RIP3/MLKL pathway in chicken kidney. *Toxicology*, 478, 153296. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153296>
- Mir, M. A., Khan, M. A. A., Banik, B. K., Hasnain, S. M., Alzayer, L., Andrews, K., & Abba, S. I. (2025). Microplastics in food products: Prevalence, artificial intelligence based detection, and potential health impacts on humans. *Emerging Contaminants*, 11(2), 100477. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2025.100477>
- Mohammadi, M., Dargahi, A., Almasi, A., Mousavi, S. A., & Mohammadi, P. (2025). Occurrence of microplastic, antibiotics, hormones, and heavy metals in livestock and poultry manure in west iran. *Scientific Reports*, 15(1), 27228.
- Muniv, Y. S., & Supanekar, S. P. (2024). Microplastics: Classification, sources, characterisation, fate, and control measures. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(5), 136–144. <https://doi.org/10.56557/UPJOZ/2024/v45i53939>
- Nandinee, D., Mishra, G., Shukla, A., Soni, N. L., & Sharma, P. (2021). Bisphenol A and cattle fertility. *The Pharma Innovation Journal*, 10, 524–528. <https://doi.org/10.22271/tpi>
- Naz, S., Chatha, A. M. M., Khan, N. A., Ullah, Q., Zaman, F., Qadeer, A., ... & Horky, P. (2024). Unraveling the ecotoxicological effects of micro and nano-plastics on aquatic organisms and human health. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1390510
- Olmo, L., & Holman, B. W. B. (2025). The sources and impact of microplastic intake on livestock and poultry performance and meat products: A review. *Animal Production Science*, 65, AN25022. <https://doi.org/10.1071/AN25022>
- Patrucco, S. G., Abid, K., Rivoira, L., Bruzzoniti, M. C., Bracco, P., Kaihara, H., Barbera, S., & Tassone, S. (2025). Microplastics contamination in ruminant feeds of Northwestern Italy: A preliminary assessment. *Science*

- of The Total Environment, 1001, 180479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180479>
- Prata, J. C., & Dias-Pereira, P. (2023). Microplastics in terrestrial domestic animals and human health: Implications for food security and food safety and their role as sentinels. *Animals*, 13(6), 661. <https://doi.org/10.3390/ani13040661>
- Ramesh, R., Sellamuthu, A., Dharshini, J., & Dharshini, J. (2025). Microplastics in agriculture: A review. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)*, 7(3), 1. <https://www.ijfmr.com>
- Rawat, H., Gaur, A., Singh, N., Selvaraj, M., Karnwal, A., Pant, G., & Malik, T. (2025). Artificial intelligence-driven detection of microplastics in food: A comprehensive review of sources, health risks, detection techniques, and emerging artificial intelligence solutions. *Food Chemistry: X*, 29, 102687. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102687>
- Ryan, P. G. (1988). Effects of ingested plastic on seabird feeding: Evidence from chickens. *Marine Pollution Bulletin*, 19(3), 125–128. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90708-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90708-4)
- Saleh, A., & Favetta, L. (2019). Effect of bisphenol A and bisphenol S on AMH and AMHR mRNA expression during in vitro bovine oocyte maturation and early embryo development. *Reproduction, Fertility and Development*, 31, 204. <https://doi.org/10.1071/RDv31n1Ab159>
- Sheriff, I., Yusoff, M. S., Manan, T. S. B. A., & Koroma, M. (2023). Microplastics in manure: Sources, analytical methods, toxicodynamic, and toxicokinetic endpoints in livestock and poultry. *Environmental Advances*, 12, 100372. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100372>
- Su, M., Gan, S., Gao, R., Du, C., Wei, C., Shah, A. M., & Ma, J. (2025). Toxicity mechanisms of microplastic and its effects on ruminant production: A review. *Biomolecules*, 15(462). <https://doi.org/10.3390/biom15040462>
- Susanti, R., Yuniastuti, A., & Fibriana, F. (2021). The evidence of microplastic contamination in Central Javanese local ducks from intensive animal husbandry. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 178. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05119-7>

- Talpade, J., Shrman, K., Sharma, R. K., Gutham, V., Singh, R. P., & Meena, N. S. (2018). Bisphenol A: An endocrine disruptor. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6, 394–397.
- Thapliyal, C., Negi, S., Nagarkoti, S., & Daverey, A. (2025). Mechanistic insight into potential toxic effects of microplastics and nanoplastics on human health. *SN Applied Sciences*, 7(6). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07214-8>
- Tran Anna, H. A., Tang, D. H., Yong, C. T., Ng, J. J., & Ho, A. F. W. (2025). Health Impacts of Micro-and Nanoplastics in Humans: Systematic Review of In Vivo Evidence. *medRxiv*, 2025-07.
- Tsochatzis, E. D., Gika, H., Theodoridis, G., Maragou, N., Thomaidis, N., & Corredig, M. (2024). Microplastics and nanoplastics: Exposure and toxicological effects require important analysis considerations. *Journal of Applied Toxicology*, 44(11), e32261. <https://doi.org/10.1002/jat.32261>
- United Nations Environment Programme. (2021). From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. <https://sdg.iisd.org/news/unep-publishes-scientific-assessment-of-plastic-pollution/>
- Urli, S., Corte Pause, F., Crociati, M., Baufeld, A., Monaci, M., & Stradaioli, G. (2023). Impact of microplastics and nanoplastics on livestock health: An emerging risk for reproductive efficiency. *Animals*, 13, 1132. <https://doi.org/10.3390/ani13071132>
- Van-der Veen, I., Van Mourik, L. M., Van-Velzen, M. J. M., Groenewoud, Q. R., & Leslie, H. A. (2022). Plastic particles in livestock feed, milk, meat and blood. *Environmental Health*.
- Visentin, E., Niero, G., Benetti, F., et al. (2025). Assessing microplastic contamination in milk and dairy products. *npj Science of Food*, 9, 135. <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00506-8>
- Wang, T., Han, J., Duan, X., Xiong, B., Cui, X. S., Kim, N. H., Liu, H. L., & Sun, S. C. (2016). The toxic effects and possible mechanisms of bisphenol A on oocyte maturation of porcine in vitro. *Oncotarget*, 7(32), 32554–32565. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.8620>
- Wen, J., & Lin, Y. (2025). Invisible invaders: Unveiling the carcinogenic threat of microplastics and nanoplastics in colorectal cancer – A systematic

- review. *Frontiers in Public Health*, 13, 1653245. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1653245>
- Wu, R.-T., Cai, Y.-F., Chen, Y.-X., Yang, Y.-W., Xing, S.-C., & Liao, X.-D. (2021). Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in South China. *Environmental Pollution*, 277, 116790. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116790>
- Yelmame, S. S., Sonawane, A. S., Katiyar, P., Joshi, N. A., & Ahire, K. N. (2025). Impacts of microplastic exposure on animal physiology and health: A global perspective. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 46(13), 312–333. <https://doi.org/10.56557/upjz/2025/v46i135109>
- Yin, K., Wang, Y., Zhao, H., Wang, D., Guo, M., Mu, M., Liu, Y., Nie, X., Li, B., Li, J., et al. (2021). A comparative review of microplastics and nanoplastics: Toxicity hazards on digestive, reproductive and nervous system. *Science of the Total Environment*, 774, 145758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145758>
- Zhang, J., Li, Z., Zhou, X., Ding, W., Wang, X., Zhao, M., Li, H., Zou, G., Chen, Y. (2022). Long-term application of organic compost is the primary contributor to microplastic pollution of soils in a wheat–maize rotation. *Science of The Total Environment*, 866, 161123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161123>

BÖLÜM 15

ARICILIK İŞLETMELERİNİN GENEL YAPISININ BELİRLENMESİ

Hamdullah Serhat BULAK¹

Prof. Dr. Sezai ALKAN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18132914>

¹ Ordu İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Ordu, Türkiye.

Hsb0652@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0003-4324-0074

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Ordu, Türkiye.

sezaialkan61@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-0601-0122

1. GİRİŞ

Arıcılığa dair tarihsel kanıtlar, Valencia kentinde gerçekleştirilen arkeolojik kazılara dayanarak MÖ 7.000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Antik dönemlerden itibaren, insanlar varlıklarını arılarla beraber karmaşık bir şekilde iç içe geçirmişlerdir. İnsanların arı ürünleriyle etkileşime girdiğine dair en eski arkeolojik kanıtlar, Paleolitik döneme kadar uzanmaktadır. Örneğin, balmumunun avlanma pratiğini geliştirmek için kullanılması, taş uçlarını şaftlara sabitlemek amacıyla balmumu, reçineler ve aşı boyasıyla karıştırılması veya zehirli Euphorbia ile zehirli yapışkan maddelerin oluşturulması gibi örnekler bu etkileşimi yansıtmaktadır (Wadley,2015). Ayrıca, arıcılık tarihi insanlık tarihi kadar eski olup, bu tarih boyunca çeşitli medeniyetler arasında yaygın olarak uygulanmıştır. Arıcılıkla ilgili çizimlere, M.Ö. 10.000’li tarihli yıllarda mağara resimlerinde rastlanmıştır. Orta Çağ’da arıcılık faaliyetlerinde ilkel kovanlar kullanılmış ve bazı bölgelerde sadece arıların ürettiği bal tüketilmiştir (Graham, 2015).

Mezopotamya’da M.Ö. 3000’li yıllarda yaşayan Sümerlerin, balı ilaç olarak değerlendirdikleri belgelenmiştir. Mısır firavunlarının mezarlarında yapılan araştırmalarda 3200 yıllık kuru bal bulunmuş ve 4000 yıllık tabletlerdeki raporlar, eski Mısırlıların balı gıda, ilaç ve dini ritüellerde kullanmış olduklarını göstermektedir. MÖ 3.000 yıllarında ise Nil nehri boyunca gezginci arıcılık faaliyetleri Mısır’da gerçekleştirilmekteydi. Sümer tabletlerinden günümüze ulaşan ifadelerden biri de "bal gibi adam" olarak bilinir. Arıcılıkla ilgili verilere, Anadolu’dan Sümerler ve Hititlere, Asya’dan Çin ve Hindistan’a, Afrika’dan Mısır uygarlığına ve Avrupa’dan binlerce yıl öncesine ait resim, tablet ve hiyerogliflerde rastlanmaktadır (Floris, 2020). Avrupa’dan gelen göçmenlerle beraber, bal arıları 1638 yılında Kuzey Amerika’ya, 1822 yılında Avustralya’ya ve 1842 yılında Yeni Zelanda’ya taşınmıştır.

Ordu ili, Karadeniz Bölgesi’nin giriş kapısı olarak konumlanmış bir ildir. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Tokat ve Sivas, doğusunda Giresun, batısında ise Samsun illeri ile komşudur. Coğrafi konum olarak 40°-41° kuzey paralelleri ile 37° -38° doğu meridyenleri arasında yer almaktadır.

Arıcılık hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için büyük önem arz eden bir tarımsal faaliyettir. Dünya genelinde 2021 yılında kovan sayısı, bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 102 milyon adede ulaşmıştır. Bu verilere göre, Hindistan %12,6'lık payla dünya genelindeki kovan sayısında lider konumda bulunurken, Çin %9,1 payla ikinci sırada ve %8,6 payla Türkiye üçüncü sırada yer almaktadır. Kovan sayılarında 2021 yılında bir önceki yıla oranla Hindistan'da %2,1, Çin'de %0,3 ve Türkiye'de ise %6,8 oranında artış olmuştur. Dünya genelinde kovan sayılarının dağılımına bakıldığında, Asya kıtası 45 milyon 265 bin kova ve %45 payla birinci sırada yer almakta olup bu durum Hindistan ve Çin'in etkisiyle gerçekleşmiştir. Avrupa %24,7 payla ve yaklaşık 25 milyon kovan ile ikinci sırayı, Afrika ise %18 payla ve 18 milyon 246 bin kova ile üçüncü sırayı almaktadır. Kovan sayılarında 2021 yılında bir önceki yıla oranla Asya'da %2,7, Avrupa'da %3,5 ve Afrika'da ise %0,6 oranında bir artış meydana gelmiştir (Burucu, 2023).

Dünya genelinde 2021 yılında toplam bal üretimi yaklaşık 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretim miktarı, bir önceki yıla göre çok az bir değişim göstermiştir. Dünya genelindeki bal üretiminin %26,7'sini gerçekleştirerek lider konumda bulunan Çin, 473 bin tonluk üretimiyle öne plana çıkmıştır. Türkiye %5,4'lük payla ve 96 bin tonla ikinci sırada yer alırken, %4,4'lük payla ve 77 bin ton üretimle İran üçüncü sırada yer almıştır. Dünyada 2021 yılına ait bal üretim miktarlarına göre, Çin'de %3,2'lik ve İran'da %3,8'lik bir artış meydana gelmişken, Türkiye'de %7,4'lük bir azalma ortaya çıkmıştır. FAO (2023) verilerine göre, Çin'in etkisiyle Asya kıtası yaklaşık 859 bin ton bal üretimi ve %48,5'lik payla lider konumda bulunmaktadır. Avrupa %21,6'lık payla ve yaklaşık 383 bin ton üretimle ikinci sırada yer alırken, Amerika %19,5'lik payla ve yaklaşık 345 bin ton üretimle üçüncü sırada yer almıştır (Burucu, 2023).

Bu çalışmada, Ordu ilindeki arıcılık işletmelerinin mevcut durumunun, üretim kapasitelerinin, üretimde ve pazarlamada yaşadıkları sorunların ve beklentilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile Ordu ilinde kullanılan arı ırklarının/genotiplerinin dağılımı, gezginci arıcıların tercih ettiği bölgeler, arıcıların bal verimleri, bal dışında üretilen arı ürünlerinin belirlenmesi ile elde edilecek bulguların bu alanda ileride yapılacak olan başka

çalışmalara ışık tutulması da amaçlanmıştır. İllere göre Türkiye'nin kovan varlığı ve toplam bal üretimi Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. İllere göre Türkiye'nin kovan varlığı (adet)

İller	2018	2019	2020	2021	2022
Muğla	935.463	918.116	900.583	949.267	884.096
Ordu	568.547	573.358	573.375	604.213	609.427
Adana	461.987	469.938	481.557	481.878	494.432
Mersin	267.251	282.749	290.795	303.120	347.045
İzmir	232.009	244.519	273.949	276.918	287.179
Sivas	239.575	243.673	256.374	269.709	287.104
Aydın	281.060	274.826	257.738	253.606	245.941
Antalya	230.323	217.705	216.423	335.686	244.655
Bitlis	155.899	168.888	158.976	253.625	207.120
Balıkesir	172.881	170.432	168.952	175.564	180.595
Diğer	4.563.429	4.564.156	4.600.363	4.829.808	5.197.082
Türkiye	8.108.424	8.128.360	8.179.085	8.733.394	8.984.676

Kaynak TÜİK, 2023

Tablo 2. İllere göre Türkiye'nin bal üretimi (ton)

İller	2018	2019	2020	2021	2022
Ordu	16.994	17.057	17.213	11.377	19.098
Adana	10.941	11.077	12.172	12.336	12.646
Muğla	14.777	14.688	6.104	3.820	6.578
Sivas	5.048	5.029	5.471	5.744	6.079
Kocaeli	624	656	561	555	4.726
İzmir	2.777	3.007	1.493	3.056	3.516
Mersin	2.416	2.352	2.150	3.192	3.295
Aydın	4.227	3.693	3.643	3.254	3.143
Erzurum	1.537	1.207	2.160	1.774	2.857
Balıkesi	2.618	2.480	2.657	2.656	2.629
Diğer	45.961	48.082	50.455	48.580	53.731
Türkiye	107.920	109.330	104.077	96.344	118.297

Kaynak TÜİK, 2023

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada veri toplama yöntemi olarak yüz yüze görüşme ve veri toplama aracı olarak da çalışmanın değişkenlerini ölçmeye yönelik olarak hazırlanmış anket formları kullanılmıştır. Katılımcılara anket sorulara hakkında bilgi verildikten sonra katılımcıların sorulara doğru bir şekilde cevaplamaları sağlanmıştır. Anket formları 7 adet demografik soruyla beraber Ordu ili arıcılığının genel yapısının belirlenmesi amacıyla hazırlanmış toplam 44 adet sorudan oluşmuştur.

2.2. Yöntem

2.2.1. Çalışma popülasyonu ve örneklem

Bu çalışmanın popülasyonunu 2023 yılında Ordu ilinde faaliyet gösteren toplam 3003 adet arıcılık işletmesinden seçilen toplam 384 arıcılık işletmesi oluşturmuştur. Çalışmada örnekleme yöntemi olarak tabakalı örnekleme yöntemi kullanılmış olup arıcılık işletmeleri kovan sayılarına göre küçük ölçekli, orta ölçekli ve büyük ölçekli olmak üzere 3 tabakaya ayrılmıştır. Birinci tabakayı kovan sayısı 200'ün altında olan işletmeler, ikinci tabakayı 201-400 arasında kovanı bulunan işletmeler ve üçüncü tabakayı 400'den fazla kovanı olan işletmeler oluşturmuştur.

Örneklem genişliğinin belirlenmesi için eşitlik 1 kullanılmış ve %95 güven aralığında %5 sapma dikkate alınarak örneklem genişliği toplam 384 adet işletme olarak hesaplanmıştır. Örneklem genişliğinin tabakalara dağıtımı tabakaların varyansları da dikkate alınarak Neyman paylaştırması (eşitlik 2) ile yapılmıştır (Yamane, 2001; Öztürk ve Kaşko Arıcı, 2017). Neyman paylaştırmasına göre tabakalardan örnekleme dahil edilecek işletme sayısı Tablo 3'te verilmiştir. Her tabakada anket uygulanacak işletmeler basit tesadüfi örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Anketlerde ortaya çıkabilecek olası sorunlar nedeniyle (tutarlılık testinden geçemeyen ve çeşitli sebeplerle faydalanılamayacak olan anketlerin yerine kullanılmak üzere) örneklem büyüklüğünün %5 fazlası anket yapılmıştır. Böylece araştırmada toplam 403 arıcılık işletmesi sahibi ile anket çalışması yapılmıştır.

Tablo 3. Tabakalı örnekleme yöntemine göre hesaplanan örnek genişliği

İşletme Büyüklüğü	Kovan Sayısı	N _h	n _h
Küçük işletme	≤ 200	1900	243
Orta işletme	201- 400	699	89
Büyük işletme	> 400	404	52
Toplam		3003	384

$$n = \frac{N \sum (N_h S_h^2)}{N^2 D^2 + \sum (N_h S_h^2)} \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Eşitlikte;

n : Örnek hacmini,

S_h : *h*'inci tabakanın varyansını,

D : (*d/t*)² (*d*=%5, *t*=1,65),

N_h : *h*'inci tabakadaki işletme sayısını göstermektedir.

$$n_h = \frac{N_h S_h}{\sum N_h S_h} n \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Eşitlikte;

n : Örnek hacmini,

S_h : *h*'inci tabakanın standart sapmasını,

N_h : *h*'inci tabakadaki işletme sayısını göstermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arıcıların Demografik Özellikleri

Araştırma kapsamında anket çalışmasına katılan işletme sahiplerinin bireysel nitelikleri ile sosyo-demografik özelliklerinin belirlenmesi için sorulan sorulara verilen cevaplardan elde edilen sayısal (n) ve yüzde (%) frekans değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Ankete katılan işletme sahiplerinin %5,75'inin 18-30 yaş arasında, %40,75'inin 31-50 yaş arasında, %53,50'sinin de 51 yaş ve üzerinde olduğu ve arıcılığı asıl meslek olarak yapanların oranının ise %60,50 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada arıcılık yapanların %13,75'inin emekli, %10'unun memur, %6,0'sının esnaf, %4,75'inin işçi, %4,0'ünün çiftçi ve %1,0'inde bu mesleklerin dışında başka bir meslekle uğraştığı belirlenmiştir. Ankete katılan

arıcılarının %93,25'ini erkekler ve %6,75'ini de kadınlar oluşturmuştur. Arıcılara arıcılığın temel gelir kaynağı olup olmadığı sorulduğunda, katılımcıların %65,50'si arıcılığı ana gelir kaynağı, %21,50'si yan gelir kaynağı ve %13,0'ü de hobi amaçlı olarak yaptığını ifade etmiştir. Yine katılımcıların eğitim durumu incelendiğinde; katılımcıların %33,25'inin lise, %30,5'inin ilkokul, %23,0'ünün üniversite ve %13,25'inin ise ortaokul mezunu olduğu saptanmıştır. Araştırmaya katılan katılımcıların hanelerindeki birey sayısı 5 ve üzerinde olanların oranı %37,0, hane halkı sayısı 4 olanların oranı %25,25, hane halkı sayısı 3 olanların oranı %23,0, hane halkı sayısı 2 kişi olanların oranı %13,75 ve yalnız yaşayan arıcıların oranı da %1,0 olarak tespit edilmiştir. Sosyal güvence bakımından katılımcıların %47,5'inin SGK'lı, %25,0'inin BAĞ-KUR'lu, %3,75'inin yeşil kartlı olduğu, %16,75'inin Emekli Sandığı'na bağlı olduğu ve %7,0'sinin ise herhangi bir sosyal güvencesinin olmadığı saptanmıştır. Araştırmada arıcılıkla uğraşanların yarısından fazlasının 50 yaş ve üzerinde olması, genç kuşakların arıcılığa fazla ilgi göstermediklerinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Türkiye'de arıcılık faaliyetlerinin sürdürülebilir olması için genç kuşakların arıcılık yapması sağlanmalıdır. Bunun için de genç kuşaklar daha fazla teşvik edilmeli, gerekli desteklemeler sağlanmalı ve konuyla ilgili gerekli eğitimler verilmelidir.

Mahmutoğlu (2022) tarafından Tekirdağ ilinde yapılan çalışmada, anket çalışmasına katılan arıcıların %10,60'ının 29 yaş altında, %29,40'ının 30-39 yaş arasında, %31,80'inin 40-49 yaş arasında ve %28,20'sinin de 50 yaş ve üzerinde olduğu saptanmıştır. Yine arıcıların %32,9'unun serbest meslek sahibi, %25,90'ının emekli, %21,20'sinin memur olduğu ve %20,0'sinin de çiftçilikle uğraşmakta olduğu saptanmıştır. Seviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan araştırmada, katılımcıların %43,70'inin 51 yaş ve üstünde, %40,20'sinin 36-50 yaş arasında, %16,10'unun 35 yaş ve altında olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda katılımcıların %62,1'inin sadece arıcılıkla uğraştığı, %16,10'unun esnaf, %12,60'ının çiftçi, %4,60'ının işçi, %2,30'unun öğretmen ve %1,10'unun da memur ve emekli olduğu tespit edilmiştir. Yine Arıcan (2021) Konya ilinde yaptığı çalışmada, 85 arıcıdan 82'sinin erkek (%96,47), 3 tanesinin ise kadın (%3,53) olduğu belirlenmiş, buna karşın Arslan (2016) tarafından Sivas ilinde yapılan çalışmada ise katılımcıların %100'ünün erkeklerden oluştuğu tespit edilmiştir.

Esen ve Özbakır (2023) tarafından Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmada, arıcılığı tam zamanlı ana gelir kaynağı olarak yapan arıcıların oranının %88, yan gelir kaynağı olarak yapanların oranının %12,0 olduğu, Hallaçoğlu (2021) tarafından Hatay ilinde yapılan çalışmada ise arıcıların %59,66'sının arıcılığı ek gelir sağlamak için, %24,47'sinin ana geçim kaynağı olarak ve %15,87'sinin de hobi olarak yaptığı belirlenmiştir. Yine Seğmenoğlu (2018) Adana ilinde yaptığı çalışmada, arıcıların %4,60'ının okuryazar olmadığını, %33,40'ının ilkökul, %37,10'unun ortaokul, %19,90'ının lise ve %5,0'inin de üniversite mezunu olduğunu tespit etmiştir. Yine Hallaçoğlu (2021) tarafından Hatay ilinde yapılan araştırmada, katılımcıların %33,64'ünün lise mezunu, %29,94'ünün üniversite, %26,15'inin ilkökul ve %10,27'sinin de ortaokul mezunu olduğu saptanmıştır. Öztürk (2013) tarafından Ordu ilinde yapılan araştırmada, arı yetiştiricilerinin %25,50'sinin hanelerinin 3 ve daha az bireyden, %55,50'sinin 4-5 bireyden, %15,50'sinin 6-7 bireyden ve %3,60'ının da 8 ve daha fazla bireyden oluştuğu saptanmıştır. Aynı zamanda Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan çalışmada, araştırmaya katılanların hanelerindeki birey sayısı 2 olanların oranının %6,90, birey sayısı 3 olanların oranının %26,40, birey sayısı 4 olanların oranının %28,70, birey sayısı 5 olanların oranının %24,10 ve 5 bireyden fazla olanların oranının da %13,80 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. Arıcıların demografik özelliklerine ilişkin tanıttıcı istatistikler

Demografik Özellikler	Seçenekler	Frekans	
		n	%
Arıcının yaşı (yıl)	18-30	23	5,75
	31-50	163	40,75
	51 ve üstü	214	53,50
Arıcının mesleği	Arıcılık	242	60,50
	Çiftçi	16	4,00
	Emekli	55	13,75
	İşçi	19	4,75
	Memur	40	10,00
	Esnaf	24	6,00
	Diğer	4	1,00
Arıcının cinsiyeti	Erkek	373	93,25

	Kadın	27	6,75
Arıcının arıcılık yapma sebebi	Ana gelir	262	65,50
	Yan gelir	86	21,50
	Hobi	52	13,00
Arıcının eğitim düzeyi	İlkokul	122	30,50
	Ortaokul	53	13,25
	Lise	133	33,25
	Üniversite	92	23,00
Arıcının hanesindeki birey sayısı	1	4	1,00
	2	55	13,75
	3	92	23,00
	4	101	25,25
	5 ve üzeri	148	37,00
Arıcının sosyal güvencesi	SGK	190	47,50
	Emekli	67	16,75
	Sandığı		
	BAĞ-KUR	100	25,00
	Yeşil kart	15	3,75
	Güvencem yok	28	7,00

3.2. Arıcıların Arıcılık İşletmelerine İlişkin Genel Bulgular

Ordu ilinde gerçekleştirilen araştırmaya katılan arıcıların işletmelerinin genel yapısının belirlenmesi amacıyla sorulan sorulara verdikleri cevaplardan elde edilen frekans değerleri (n ve %) Tablo 5’te verilmiştir.

Ankete katılan arıcılara “arıcılık konusunda kendinizi yeterli bilgiye sahip görüyor musunuz?” diye sorulan soruya, arıcıların %80’i evet cevabını verirken, %20’si de hayır cevabını vermiştir. Bu bulguya dayanarak araştırmaya katılan arıcıların önemli bir kısmının arıcılık konusunda yeterli bilgi, beceri ve tecrübeye sahip olduğu söylenebilir. Yine arıcıların %21,50’si arıcılıkla ilgili herhangi bir yayını takip ettiğini belirtmiş olup bu durum ankete katılan arıcıların önemli bir kısmının yeniliklere açık olma ve yenilikleri takip etme konusunda çok da istekli olmadıklarını göstermektedir. “Arıcılıkla alakalı herhangi bir eğitim aldınız mı?” sorusuna, katılımcıların %78’i evet cevabını verirken, %22’side hayır cevabını vermiştir. Herhangi bir kursa katılmayanların %12,50’si ise arıcılıkla ilgili eğitim almak istediğini belirtmiş olup bu oran

arıcılık eğitimi almayanların ancak yarısı kadardır. Bu durum bazı arıcıların babadan oğula aktarılan bilgi ve tecrübe ile arıcılık yaptığını ve kendilerini bu konuda yeterli gördüğünü ortaya koymaktadır. Şeviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %76'sının arıcılıkla ilgili eğitime ya da kursa katıldığı, %24'ünün ise herhangi bir eğitime ya da kursa katılmadığı belirlenmiştir. Arıcıların %56'sı arıcılık yaparken arıcılıkla ilgili kredi kullandığını ifade etmiştir. Bu durum arıcıların yarısından fazlasının arıcılıkla ilgili kredi kullandığını ve hayvancılık kredilerinin özellikle arıcılar için önemli olduğunu göstermektedir. Hallaçoğlu (2021) Hatay ilinde yaptığı çalışmada, arıcılık işletmelerinin %23,92'sinin kredi kullandığını, %76,08'inin ise kredi kullanmadığını belirlemiş olup Aydın (2014) tarafından Ardahan ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %41,40'ının kredi kullandığı, %58,60'ının kredi kullanmadığı tespit edilmiştir.

Arıcılara “kaç yıldır arıcılık yapmaktasınız?” diye sorulduğunda, arıcıların %56,50'si 21 yıl ve daha fazla süredir, %26,50'si 11-20 yıl arasında, %17'si de 10 yıl ve daha az süredir arıcılık yaptığını belirtmiştir. Elde edilen bulgulardan çalışmaya katılan arıcıların önemli bir kısmının yeterli tecrübeye sahip olduğu söylenebilir. Seğmenoğlu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %17,9'unun 1-5 yıl arasında, %44,40'ının 6-10 yıl arasında, %25,80'inin 11-15 yıl arasında, %8,90'ının 16-20 yıl arasında ve %3'ünün de 20 yıl ve üzerinde arıcılık yaptığı saptanmıştır. Yine Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan araştırmada, arıcıların %24,10'unun 1-5 yıl arasında, %25,30'unun 6-10 yıl arasında, %16,10'unun 11-15 yıl arasında, %9,20'sinin 16- 20 yıl ve üzerinde ve %25,30'unun ise 20 yıldan daha fazla arıcılık yaptığı tespit edilmiştir. “Arıcılık dışında başka bir hayvancılıkla uğraşıyor musunuz?” sorusuna, çalışmaya katılan arıcıların %84,50'si hayır cevabını verirken, %13,75'i de arıcılıkla birlikte büyükbaş hayvan yetiştirdiklerini belirtmiştir. Çalışmaya katılan arıcıların önemli bir oranının sadece arıcılıkla uğraşması, Ordu ilindeki arıcılık bakımından olumlu bir veri olarak değerlendirilebilir.

Çalışmaya katılan arıcıların %24,50'si kovan başına 46 kg ve üzerinde, %33'ü 1-15 kg arasında, %28,50'si 16-30 kg arasında ve %14'ü de 31-45 kg arasında bal elde ettiğini belirtmiştir. Ordu ilinde kovan başına elde edilen ortalama bal verimi Türkiye'nin kovan başına ortalama bal veriminden (12.5-

13,0 kg) oldukça yüksektir (TÜİK, 2022). Bu nedenle de Ordu ili arıcılık bakımından Türkiye'nin en önemli illerinden biri konumundadır. Seğmenoglu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %18,90'ının kovan başına 10 kg ve daha az, %37,10'unun 10-15 kg arasında, %27,20'sinin 16-20 kg arasında, %10,80'inin 21-30 kg arasında ve %6'sının da 30 kg ve üzerinde bal elde ettiği belirlenmiştir. Yine Karaca (2017) Elâzığ ilinde yaptığı araştırmada, %43,70'inin kovan başına 10 kg ve daha az, %51,70'inin 11-15 kg arasında, %3,40'ının 16-20 kg arasında ve %1,10'ununda 21-30 kg arasında bal ürettiklerini tespit etmiştir. Aynı zamanda Arslan (2016) tarafından Sivas ilinde yapılan çalışmada kovan başına 1-10 kg bal elde eden arıcıların oranının %10,77, 30 kg ve üzerinde bal elde edenlerin oranının da %26 olduğu saptanmıştır. Ankete katılan arıcılara “sabit arıcılık mı yoksa gezginci arıcılık mı yapıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %70,25'i gezginci arıcılık yaptıklarını belirtmiştir. Ordu ilinin gerek iklim özellikleri gerekse de bitkilerin vejetasyon sürelerinin arıcılık için yeterli olmaması nedeniyle gezginci arıcılık yapanların oranı oldukça yüksektir. Bu durum Ordu ilinde kovan başına elde edilen bal veriminin yüksek olmasında en önemli etken olarak değerlendirilebilir. Hallaçoğlu (2021) tarafından Hatay ilinde yapılan araştırmada, arıcıların %68,53'ünün gezginci arıcılık ve %31,47'sinin de sabit arıcılık yaptığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde Seviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %84'ünün gezginci arıcılık yaptığı, Albayrak (2019) tarafından Sinop ilinde yapılan çalışmada ise arıcıların sadece %33'ünün gezginci arıcılık yaptığını, %67'sinin de sabit arıcılık yaptığı belirtilmiştir.

Arıcılara “gezginci arıcılığı hangi bölgede yapıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %31,25'i Doğu Anadolu bölgesi, %21'i İç Anadolu bölgesi, %11'i Karadeniz bölgesi, %4'ü Ege bölgesi, %1'i Akdeniz bölgesi ve %1'i de Marmara bölgesi cevabını vermiştir. Buna karşın %29,75'i sabit arıcılık yaptığını belirtmiştir. “Organik arıcılık yapıyor musunuz?” sorusuna, arıcıların tamamı hayır cevabını vermiştir. Fazla sayıda arıcı bulunan Ordu ilinde organik arıcılık yapılmaması önemli bir eksiklik olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle de Ordu ilindeki arıcıların organik arıcılıkla ilgili olarak bilgilendirilmeli ve teşvik edilmelidir. Yine arıcıların önemli bir kısmının (88,5) “Birlik üyesi” olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu Ordu ilindeki arıcılarda

örgütlü olarak hareket etme bilincinin yeterli olduğunu göstermektedir. Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan araştırmada, arıcıların %90,80'inin birlik üyesi olduğu, buna karşın %9,20'sinin birlik üyesi olmadığı tespit edilmiştir. Yine Üçeş (2015) Erzincan ilinde yaptığı çalışmada, arıcıların %92,60'ının birlik üyesi olduğunu, %7,40'ının ise birlik üyesi olmadığını belirlemiştir. Arıcılara “Arıcılık kayıt sistemine kayıtlı mısınız?” diye sorulduğunda, arıcıların %99'u evet cevabını vermiştir. “Arıcılıkla alakalı devlet desteklerinden faydalaniyor musunuz?” sorusuna ise arıcıların %87,50'si desteklerden faydalandığını belirtmiştir. Seğmenoğlu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %79,80'inin koloni başına destek uygulamasından faydalanmadığı tespit edilmiştir.

“Arıcılıkla ilgili kayıt tutuyor musunuz?” sorusuyla ilgili olarak, arıcıların %65,25'i kayıt tutmadığını, %34,75 ise kayıt tuttuğunu ifade etmiştir. Seğmenoğlu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %29,10'unun kayıt tuttuğu, %43'ünün kayıt tutmadığı ve %27,90'ında kısmen kayıt tuttuğu, Arslan (2016) tarafından Sivas ilinde yapılan çalışmada ise arıcıların %82,16'sının kayıt tuttuğu belirlenmiştir. Arıcılara “Hazır petek kullanıyor musunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %87,75'i hazır petek kullandığını belirtmiştir. “Bal dışında arı ürünü üretiyor musunuz?” sorusuna, katılımcıların %80'i sadece bal ürettiğini belirtirken, %14'ü balın yanı sıra polen, %5'i propolis ve %1'i de arı sütü ürettiğini belirtmiştir. Seğmenoğlu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %47,01'inin sadece bal ürettiği, bal dışında ürün üretenlerin %26,40'ının polen, %5,62'sinin arı sütü, %4,30'unun propolis, %4,96'sının ana arı ve %11,71'inin de oğul arı ürettiği belirlenmiştir.

Katılımcılara “Hangi arı ırkını kullanıyorsunuz?” diye sorulduğunda, katılımcıların %51,25'i Kafkas arı ırkını, %21,50'si melez genotipleri, %18,75'i Belfast arı ırkını, %4,75'i Karniyol arı ırkını, %2'si İtalyan arı ırkını ve %1,75'i de Anadolu arı ırkını kullandıklarını belirtmiştir. Bu veriler Ordu ilindeki arıcıların önemli bir kısmının Kafkas arı ırkını kullandığını göstermektedir. Hallaçoğlu (2021) tarafından Hatay ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %44,25'inin melez arı ırklarını, %25,68'inin diğer arı ırklarını, %20,40'ının Kafkas arı ırkını ve %8,52'sinin de İtalyan arı ırkını kullandığı belirlenmiştir. Seğmenoğlu (2018) Adana ilinde yaptığı çalışmada, arıcıların

%2,60'ının saf Kafkas arı ırkını, %15,60'ının Kafkas melezi arı ırklarını, %76,80'inin Anadolu arı ırkını ve %5'inin de Karniyol arı ırkını kullandıklarını tespit etmiştir. Yine Seviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %66,70'inin Kafkas arı ırkını, %12,60'ının İtalyan arı ırkını, %11,50'sinin diğer arı ırklarını, %4,60'ının ise Karniyol ve Anadolu arı ırklarını kullandıklarını belirlemiştir.

“Kışlatma öncesi bakım besleme yapıyor musunuz?” sorusuna bütün katılımcılar evet cevabını vermiştir. “Kışlatma öncesi bakım-beslemede en çok ne kullanıyorsunuz?” sorusuna, arıcıların %47,25'i şurup, %35,25'i arı keki, %11,75'i bal ve %5,75'i de diğer besin maddelerini kullandıklarını belirtmiştir. Bulgulardan da anlaşıldığı üzere Ordu ilindeki arıcıların önemli bir kısmı kışlatmada çoğunlukla şurup ve arı kekinden faydalanmaktadır. Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan çalışmada arıcıların %92'sinin kışlatma öncesinde şurup-toz şeker ile %8'inin de arı keki ile arıları besledikleri tespit edilmiştir. Arıcılara “Arıcılıkta karşılaştığınız en büyük sorun nedir?” diye sorulduğunda, arıcıların %35,25'i hastalıkların, %22,75' konaklama ve nakliyenin, %19'u pazarlamanın, %7,25'i olumsuz iklim koşullarının ve %2'i bilgi eksikliğinin en büyük sorunları olduğunu belirtirken, %13,75'i de bunların dışında başka bir sorunun en önemli sorunları olduğunu belirtmiştir. Ordu ilinde çoğunlukla gezginci arıcılık yapıldığından, konaklama ve nakliye sorunları önemli bir yer tutmaktadır. Seğmenoğlu (2018) tarafından Adana ilinde yapılan çalışmada arıcıların en büyük sorunlarının sırasıyla balın pazarlanması ya da düşük fiyatla satılması (%37), yüksek girdi fiyatları (%23,80), tarımsal ilaçlama (%13,90), kaliteli damızlık bulunamaması (%9,90), konaklama yeri ve kirası (%7,90), güvenlik (%4,60), eğitim eksikliği (%1,65) ve destekleme politikasının yanlışlığı (%1,25) olarak saptanmıştır. Arıcılara “Karşılaştığınız sorunlarla ilgili olarak kimden yardım alıyorsunuz?” sorusuna, arıcıların %59,25'i ilk olarak deneyimli arıcılara, %21'i mesleki uzmanlara danıştıklarını, %7,75'i videolardan çözüm bulmaya çalıştığını ve %12'si de diğer kaynakları kullandıklarını belirtmiştir. Bu bulgudan da anlaşıldığı gibi Ordulu arıcıların çok azı arıcılıkla ilgili karşılaştıkları sorunları çözmek için uzman kişi, kurum ya da kuruluşlardan yardım almaktadır. Seğmenoğlu (2018) Adana ilinde yaptığı çalışmada, sorunlarını çözmek için arıcıların %4'ünün kitaplardan, %18,50'sinin ilgili bakanlık kurum ve

kuruluşlarından, %48,70'inin tecrübeli arıcılardan, %6,30'u internetten, %7,90'ı da arıcılık birliğinden yardım aldıklarını belirlemiştir. Yine Şeviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada arıcıların %59,80'inin arıcılıkla ilgili bilgi ihtiyacını deneyimli arıcılardan, %20,70'inin arıcılar birliğinden, %13,80'inin tarım teşkilatından ve %5,70'inin üniversitelerden yardım aldıklarını belirtmiştir. Aynı zamanda Arslan (2016) tarafından Sivas ilinde yapılan çalışmada ise sorunlarını çözmek için arıcıların önemli bir bölümünün (%59,69) deneyimli arıcılardan bilgi aldıklarını tespit etmiştir. “Kışlatma dönemi koloni kayıp oranınız nedir?” diye sorulduğunda, arıcıların %82'si 20 ve daha az, %16'sı 21-50 arası ve %2'si de 51 ve daha fazla koloni kaybı yaşadıklarını ifade etmiştir. Arslan (2016) tarafından Sivas ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %75,08'inin kaybının 10 koloni kadar olduğu belirlenmiştir. Yine Üçeş (2015) tarafından Erzincan ilinde yapılan çalışmada arıcıların %48,15'inde koloni kaybının 10 ve altında, %11,11'inde 11-15 arasında, %4,94'ünde 16-20 arasında, %35,60'ında ise 20 ve daha üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Arıcılara “Koloni kaybı nedeninizi en çok neye bağlıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %28'i yetersiz bakım beslemenin, %27,75'i zararlıların, %21'i kötü iklim koşullarının ve %17,25'i de hastalıkların sebep olduğunu belirtmiştir. Şeviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, koloni kaybının %39,10'unun hastalıklardan, %19,50'sinin olumsuz iklim şartlarından, %18,4'ünün besin yetersizliğinden, %17,20'sinin bilinçsiz ilaçlamadan ve %5,70'inin zayıf koloniden kaynaklandığı belirlenmiştir. Yine Üçeş (2015) Erzincan ilinde yaptığı çalışmada, en önemli koloni kaybı nedeninin olumsuz kış şartları (%34,60) olduğunu belirlemiştir. Yine arıcılara “Ana arı değişimini kaç yılda bir yapıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %62,75'i 2 yılda bir, %22,50'si her yıl, %13,75'i 3 yılda bir ana arı değiştirdiğini ve sadece %1'i ana arı değiştirmediklerini belirtmiştir. Elde edilen bu sonuç Ordulu arıcıların üretimde kullanılan ana arıların belirli aralıklarla değiştirilmesi konusunda yeterli bilgiye sahip olduklarını göstermektedir. Hallaçoğlu (2021) tarafından Hatay ilinde yapılan çalışmada, arıcılık işletmelerinin %47,82'sinin ana arıyı iki yılda bir, %32,99'unun her yıl, %11,09'unun iki yıldan daha uzun bir sürede değiştirdiğini ve %8,11'inin ise ana arıyı değiştirmediklerini tespit edilmiştir. Yine Arıcan (2020) Konya ilinde

yaptığı araştırmada, ana arı değişiminin işletmelerin %7,30'unda her yıl, %44,70'inde iki yılda bir ve %48'inde de iki yıldan daha fazla sürede yapıldığını tespit etmiştir. “Ana arıyı hangi yolla temin ediyorsunuz?” sorusuna, arıcıların %67'si ana arıyı kendisinin ürettiğini, %33'ü ise satın aldığını belirtmiştir. Bu bulgular ışığında Ordu ilindeki arıcıların önemli bir bölümünün ana arı üretimini kendilerinin yaptığı söylenebilir. Seviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %51,70'inin ana arıyı ticari üreticiden temin ettiğini, %43,70'inin ise ana arıyı kendisinin ürettiğini tespit etmiştir. Yine Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan çalışmada, arıcıların %73,66'sının ana arı üretmediği, %26,44'ünün ise ana arı ürettiği saptanmıştır.

Arıcılara “Koloni sayısı kapasite artırımını nasıl yapıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların çok önemli bir oranı (%86,70) suni oğul ile bölme yaparak arttırdığını, sadece %1'i doğal oğul yöntemini tercih ettiğini ve %7,25'i her iki yöntemi kullanarak koloni sayısını arttırdığını, %5'i ise kapasite artırımını yapmadığını belirtmiştir. Seviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada, arıcıların büyük bir bölümünün (%90,80) bölme yöntemiyle, %6,90'ının doğal oğul yoluyla kapasite artırdığı tespit edilmiştir. Yine Albayrak (2019) tarafından Sinop ilinde yapılan araştırmada, arıcıların %78'inin bölme yaparak, %22'sinin ise doğal oğul ile kapasite artırdığı saptanmıştır. “Elde ettiğiniz balı piyasaya ne şekilde sunuyorsunuz?” sorusuna, arıcıların %51,75'i balı kendisinin sattığını belirtirken, %48,25'i ise balı arıcılara sattığını belirtmiştir. Yine Şeviş (2018) tarafından Bingöl ilinde yapılan çalışmada arıcıların %69'unun balı perakende ya da toptancıya sattığı, %19,50'sinin ise kendisi pazarladığı tespit edilmiştir. Arıcılara “Balı hangi şekilde pazarlıyorsunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %29'u süzme bal şeklinde, %17,25'i petek bal şeklinde, %53,75'i ise her iki şekilde satış yaptıklarını belirtmiştir. Albayrak (2019) Sinop ilinde yaptığı çalışmada arıcıların %69'unun ürettikleri balı süzme bal, %31'inin ise petek bal olarak pazara sunduklarını belirlemiştir. “Arıcılıkta verimi olumsuz etkileyen en önemli unsur nedir?” diye sorulduğunda arıcıların %55,50'si iklim, %26,75'i hastalık ve zararlılar, %13,75'i yetersiz bakım ve besleme cevabını vermiştir. Arıcıların sadece %4'ü flora yetersizliğinden kaynaklandığını belirtmiştir. Elde edilen bulgulara göre küresel ısınma ve öngörülemez iklim değişikliklerinin

arıcılar için en önemli sorunların başında olduğunu söyleyebiliriz. Yine “Ürettiğiniz balı analize sokuyor musunuz?” sorusuna, arıcıların %68,75’i balını analize sokmadığını, %31,25’i ise balını analize soktuğunu belirtmiştir. “İhbarı mecburi hastalıkları biliyor musunuz?” diye sorulduğunda, arıcıların %41’i hayır cevabını vermiştir. Bu oran oldukça yüksek bir orandır. Özellikle Amerikan Yavru Çürüklüğü hastalığı ihbarı mecburi bir arı hastalığı olup Türkiye arıcıları için çok tehlikeli bir hastalıktır. Bu nedenle de arıcıların ihbarı mecburi olan hastalıklar konusunda ivedilikle yeterli düzeyde bilgilendirilmeli ve bilinçlendirilmelidir.

Arıcılara “İşletmenizde en sık karşılaştığınız arı hastalığı nedir?” diye sorulduğunda, arıcıların %55,25’i Kireç hastalığı, %19,50’si Avrupa yavru çürüklüğü hastalığı, %9’u Nosema hastalığı, %2’si de Taş hastalığı cevabını vermiş olup %14,25’i ise bunların dışında bir hastalıkla karşılaştığını belirtmiştir. Ordu ilinin nemli ve yağışlı bir iklime sahip olması, bir mantar hastalığı olan ve nemli ortamları seven Kireç Hastalığının yüksek oranda görülme nedenini açıklar niteliktedir. “İşletmenizde en sık karşılaştığınız arı zararlısı nedir?” sorusuna, arıcıların %99,75’i yani neredeyse tamamı Varroa cevabını vermiş olup %0,25’i Arı kuşu cevabını vermiştir. Bu veriler ışığında Varroa zararlısının arıcılar için mücadelesi edilmesi gereken en önemli etken olduğu çok açıktır. Karaca (2017) tarafından Elâzığ ilinde yapılan çalışmada arıcıların en fazla karşılaştıkları hastalık ve zararlılar ele alınmış olup arıcılık işletmelerinin %90,8’inde Varroa, %4,60’ında Yavru çürüklüğü, %1,70’inde Nosema görüldüğü belirlenmiştir. “Antibiyotik kullanıyor musunuz?” sorusuna, arıcıların %17,75’i antibiyotik kullandığını, %82,25’i ise antibiyotik kullanmadığını belirtmiştir. Avrupa Birliği ülkelerinde arı hastalıklarının tedavisinde antibiyotik kullanımı yasaktır ve antibiyotikli ballar insan sağlığını tehdit etmektedir. Çalışmada arıcıların %17,75’inin antibiyotik kullanması oldukça yüksek bir orandır. Bu nedenle de Türkiye’deki arıcılar antibiyotik kullanımının olumsuz etkileri hakkında bilgilendirilmeli ve bilinçlendirilmelidir.

Tablo 5. Katılımcıların arıcılık işletmelerine ait tanıtıcı istatistikler

Sorular	Seçenekler	Frekans	
		n	%
Arıcılık konusunda kendinizi yeterli bilgiye sahip görüyor musunuz?	Evet	320	80
	Hayır	80	20
Arıcılıkla alakalı herhangi bir yayın takip ediyor musunuz?	Evet	86	21,5
	Hayır	314	78,5
Arıcılıkla alakalı herhangi bir eğitim aldınız mı?	Evet	312	78
	Hayır	88	22
Almadıysanız arıcılıkla alakalı bir eğitime katılmak ister misiniz?	Evet	50	12,5
	Hayır	38	9,5
Arıcılıkla alakalı kredi kullanıyor musunuz?	Evet	224	56
	Hayır	176	44
Kaç yıldır arıcılık yapmaktasınız?	0-10 yıl	68	17
	11-20 yıl	106	26,5
	21 yıl ve üzeri	226	56,5
Arıcılık dışında başka bir tür hayvancılıkla uğraşıyor musunuz?	Büyükbaş	55	13,75
	Küçükbaş	3	0,75
	Kanatlı	4	1
	Uğraşmıyorum	338	84,5
Kaç adet arılı kovana sahipsiniz?	1-200	245	61,25
	201-400	95	23,75
	401 ve üzeri	60	15
Kovan başına yıllık bal üretiminiz nedir?	1-15	132	33
	16-30	114	28,5
	31-45	56	14
	46 ve üzeri	98	24,5
Sabit arıcılık mı yapıyorsunuz yoksa gezginci arıcılık mı?	Sabit	119	29,75
	Gezginci	281	70,25
Gezginci arıcılığı hangi bölgede yapıyorsunuz?	Karadeniz	44	11

	Ege	16	4
	Akdeniz	4	1
	Marmara	4	1
	D. Anadolu	125	31,25
	İç Anadolu	84	21
	G. Anadolu	4	1
	Gezginci değişim	119	29,75
Organik arıcılık yapıyor musunuz?	Evet	0	0
	Hayır	400	100
Birlik üyesi misiniz?	Evet	354	88,5
	Hayır	46	11,5
Tarım ve orman bakanlığının arıcılık kayıt sistemine kayıtlı mısınız?	Evet	396	99
	Hayır	4	1
Arıcılıkla ilgili devlet desteklerinden faydalaniyor musunuz?	Evet	350	87,5
	Hayır	50	12,5
Arıcılıkla ilgili kayıt tutuyor musunuz?	Evet	139	34,75
	Hayır	261	65,25
Hazır petek kullanıyor musunuz?	Evet	351	87,75
	Hayır	49	12,25
Bal dışında arı ürünü üretiyor musunuz?	Evet	80	20
	Hayır	320	80
Bal dışında ürettiğiniz arı ürünü nedir?	Polen	56	14
	Arı sütü	4	1
	Propolis	20	5
	Üretmiyorum	320	80
Hangi tür arı ırkı kullanmaktasınız?	Kafkas	205	51,25
	İtalyan	8	2
	Anadolu	7	1,75
	Karniyol	19	4,75
	Belfast	75	18,75
	Melez	86	21,5
Kışlatma öncesi bakım besleme yapıyor musunuz?	Evet	400	100

	Hayır	0	0
Kışlatma öncesi bakım ve beslemede en çok hangisini kullanıyorsunuz?	Arı keki	141	35,25
	Bal	47	11,75
	Şurup	189	47,25
	Diğer	23	5,75
Arıcılıkta karşılaştığınız en büyük sorun nedir?	Pazarlama	76	19
	Hastalık	141	35,25
	Konaklama ve nakliye	91	22,75
	Bilgi eksikliği	8	2
	İklim	29	7,25
	Diğer	55	13,75
Karşılaştığınız sorunlarla alakalı bilgi için kimden yardım alıyorsunuz?	Deneyimli arıcılar	237	59,25
	Meslekli uzmanlar	84	21
	Videolar	31	7,75
	Diğer	48	12
Kışlatma dönemi koloni kayıp oranınız nedir?	20 ve altı	328	82
	21-50 arası	64	16
	51 ve üstü	8	2
Koloni kayıp nedeninizi en çok neye bağlıyorsunuz?	Zararlılar	111	27,75
	Hastalıklar	69	17,25
	Yetersiz bakım besleme	112	28
	Kötü iklim koşulları	84	21
	Diğer	24	6
Ana arı değişimini kaç yılda bir yapıyorsunuz?	1	90	22,5
	2	251	62,75
	3	55	13,75
	Değiştirmiyorum	4	1
Ana arıyı hangi yolla temin ediyorsunuz?	Ticari üreticiden	132	33
	Kendim üretiyorum	268	67

Koloni sayısı kapasite artırımını nasıl yapıyorsunuz?	Suni Oğul	347	86,75
	Doğal Oğul	4	1
	İkisi de	29	7,25
	Artırmıyorum	20	5
Elde ettiğiniz balı piyasaya ne şekilde sunuyorsunuz?	Kendim satıyorum	207	51,75
	Aracılara veriyorum	193	48,25
Balı hangi şekilde pazarlıyorsunuz?	Süzme	116	29
	Petek	69	17,25
	İkisi de	215	53,75
Arıcılıkta verimi olumsuz etkileyen en önemli unsur nedir?	Hastalık ve zararlılar	107	26,75
	İklim	222	55,5
	Yetersiz bakım	55	13,75
	Flora yetersizliği	16	4
Ürettiğiniz balı analize sokuyor musunuz?	Evet	125	31,25
	Hayır	275	68,75
İhbarı mecburi hastalıkları biliyor musunuz?	Evet	236	59
	Hayır	164	41
İşletmenizde en sık karşılaştığınız arı hastalığı nedir?	Yavru çürüklüğü	78	19,5
	Taş hastalığı	8	2
	Kireç	221	55,25
	Nosema	36	9
	Diğer	57	14,25
İşletmenizde en sık karşılaştığınız arı zararlısı nedir?	Varroa	399	99,75
	Arı kuşu	1	0,25
Antibiyotik kullanıyor musunuz?	Evet	71	17,75
	Hayır	329	82,25

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ankete katılan arıcıların %53.50'si 51 yaş ve üzerinde olup 18-30 yaş arasında olanların oranı ise sadece %5.75 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç Ordu ilinde arıcılık yapan yetiştiricilerin yaş ortalamasının yüksek olduğunu ve

gençlerin arıcılığa fazla ilgi göstermediklerini ortaya koymaktadır. Yine anket çalışmasına katılan arıcıların önemli bir kısmının (%60.50) arıcılığı asıl meslek olarak gördüğü ve arıcıların sadece %6.75'ini kadınların oluşturduğu tespit edilmiştir. Gezginci arıcılık yapılması ve arıcılığın fiziki güç gerektirmesi nedeniyle kadınlar tarafından arıcılığın fazla tercih edilmediği söylenebilir. Kadınların bir kısmı ancak eşlerinin arıcılık yapması halinde arı yetiştiriciliği ile ilgilenmektedirler. Arıcıların %65.50'sinin arıcılığı temel gelir olarak, %13'ünün ise arıcılığı hobi olarak yaptığı belirlenmiştir. Yine arıcıların %78.5'inin arıcılıkla alakalı herhangi bir yayın takip etmediği saptanmış olup durum arıcıların arıcılık konusundaki güncel gelişmelerden haberdar olmalarını kendilerini yeterince geliştirmelerini engellemektedir. Aynı zamanda çalışmaya katılan arıcıların %56'sının arıcılıkla ilgili kredi kullandığı, %56.5'inin 21 yıl ve üzerinde bir süredir arıcılık yaptığı, %29.75'inin sabit, %70.25'inin ise gezginci arıcılık yaptığı ve gezginci arıcıların önemli bir kısmının (%31.25) Doğu Anadolu bölgesini tercih ettiği belirlenmiştir. Ordu ilindeki floranın ve iklim koşullarının arıcılık için çok elverişli olmaması nedeniyle arıcıların önemli bir kısmı daha fazla ve daha kaliteli bal elde edebilmek için gezginci arıcılığı tercih etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen önemli bulgulardan biri de ankete katılan arıcılardan hiçbirinin organik arıcılık yapmamasıdır. Bu durum Ordu ili arıcılığı için önemli bir eksiklik olarak değerlendirilebilir. Yine çalışmaya katılan arıcıların %62.75'inin ana arı değişimini iki yılda bir, %22.5'inin her yıl, %13.75'inin üç yılda bir yaptığı ve %1'inin de ana arı değiştirmedeği belirlenmiştir. Yine çalışmada arıcıların önemli sayılabilecek bir kısmı (%31.25) elde ettikleri balı herhangi bir analize sokmamaktadır. Analize girmeyen ballar insan sağlığı için güvenilirliği tartışılan bir gıda olmaktadır. Ayrıca çalışmada arıcılıkta ihbarı mecburi hastalıkları bilmeyen arıcıların oranının oldukça yüksek (%41) olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Varroa en sık karşılaşılan arı zararlısı olarak tespit edilmiş ve arıcılarının %55,25'inin en sık karşılaştığı hastalığın Kireç hastalığı olduğu saptanmıştır.

Çalışmaya katılan arıcılarının %17.75'inin antibiyotik kullanmakta olduğu tespit edilmiş olup bu oran oldukça yüksektir. Çünkü Avrupa Birliği normlarına göre arılarda antibiyotik kullanımı yasaktır. Arıcılıkta antibiyotik kullanımı çok ciddi zararlı sonuçları olabilen ve kontrol altına alınması gereken

önemli bir sorundur. Yine çalışmada 1-200 arası arılı kovana sahip arıcıların %13.90'nın, 201-400 arası arılı kovana sahip arıcıların %29.50'sinin, 401 ve üzeri arılı kovana sahip arıcıların ise %40'nın arıcılıkla ilgili herhangi bir yayını takip ettiği belirlenmiştir. Bu sonuç bize arılı kovan sayısı arttıkça arıcılıkla ilgili herhangi bir yayını takip eden yetiştiricilerin oranının arttığını göstermektedir. Aynı zamanda 1-200 arası arılı kovana sahip olan yetiştiricilerin %38'inin, 201-400 arası arılı kovana sahip olanların %83.20'snini, 401 ve üzeri arılı kovana sahip olanların %86.70'inin arıcılıkla ilgili kredi kullandığı tespit edilmiştir. Çalışmada arılı kovan sayısı arttıkça arıcılık kredisi kullanımının arttığı belirlenmiş olup bu veriler arıcılık kredisinin, özellikle fazla kovana sahip arıcılar için çok önemli olduğunu da kanıtlar niteliktedir.

Çalışmada 1-200 arası arılı kovana sahip olan arıcıların %78'inin, 201-400 arası arılı kovana sahip olanların %91.60'nın ve 401 ve üzeri arılı kovana sahip olanların ise %100'ünün arıcılıktan başka bir hayvancılıkla uğraşmadığı belirlenmiştir. Bu veriler ışığında kovan sayısının artmasına bağlı olarak arıcıların bütün enerjisini arı yetiştiriciliğine verdiğini söylenebilir. Yine 1-200 arılı kovana sahip arıcıların %49'unun kovan başına 1-15 kg, %9.80'inin ise kovan başına 45kg ve üzerinde, 201-400 arılı kovana sahip arıcıların %52.60'nın, 401 ve üzeri arılı kovana sahip arıcıların ise %40'nın 45kg ve üzerinde bal ürettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda 1-200 arılı kovana sahip arıcıların %48.60'nın sabit arıcılık, %51.40'nın ise gezginci arıcılık yaptığı ve gezginci arıcılık oranının 201- 400 ve 401 ve üzeri arılı kovan sahip arıcılarda %100 olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler Ordu ilinde kovan sayısı arttıkça arıcıların gezginci arıcılığı tercih ettiği, sabit arıcılığın daha çok düşük sayıda arılı kovana sahip arı yetiştiricileri tarafından tercih edildiği saptanmıştır.

Çalışmada 1-200 arılı kovana sahip arıcıların %18.80'inin birlik üyesi olmadığı, buna karşın %81.20'sinin ise birlik üyesi olduğu ve bu oranın 201 ve üzerinde arılı kovana sahip olan arıcılarda %100 olduğu tespit edilmiştir. Yine kovan sayısının artmasına bağlı olarak arıcılığın hobi olarak yapılma oranının azaldığı belirlenmiştir. Tüm bu veriler ışığında arılı kovan sayısı arttıkça arı yetiştiriciliğinde örgütlenme bilincinin ve arıcılığı asıl gelir kaynağı olarak görme oranının arttığı söylenebilir. Aynı zamanda arı yetiştiricilerinden 1-200 arası, 201-400 arası ve 401 ve üzerinde arılı kovana sahip arıcıların sırasıyla %82.90'nın, %91.60'nın ve %100'ünün arıcılıkla ilgili devlet desteklerinden

(kovan başına destek) yararlandığı ve kovan sayısı arttıkça devlet desteklerinden yararlanma oranının arttığı saptanmıştır. Yine ankete katılan arıcılardan 1-200 arası arılı kovana sahip arıcıların %14.70'inin, 201-400 arası arılı kovana sahip arıcıların %33.70'inin ve 401 ve üzerinde arılı kovana sahip arıcıların ise %20'sinin bal dışında arı ürünü ürettiği saptanmıştır.

Anket çalışmasına katılan arıcılardan 1-200 arası, 201-400 arası ve 401 ve üzerinde arılı kovana sahip arıcıların sırasıyla %51.40'ının, %45.30'unun ve %60'ının Kafkas arı ırkıyla çalıştığı, melez arı kullanımının ise aynı sırasıyla %28.60, %12.60 ve %6.70 olduğu belirlenmiştir. Ankete katılan arıcılardan 1-200 arasında arılı kovana sahip arıcılarda en önemli sorunun hastalıklar (%43,70) olduğu tespit edilirken, 201-400 arası arılı kovana sahip arıcılarda pazarlama (%30,50) ve 401 ve üzeri arılı kovan sahip arıcılarda ise konaklama ve nakliye (%60) olduğu tespit edilmiştir. Bu verilerden anlaşılabileceği üzere arılı kovan sayısının artmasına bağlı olarak özellikle gezginci arıcılar için konaklama ve nakliye sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Yine çalışmaya katılan arıcılardan 1-200 arasında, 201-400 arasında ve 401 ve üzeri arılı kovana sahip olanların sırasıyla %18.80'i, %25.30'u ve %33.30'u her yıl ana arı değiştirmekte, yine aynı sırayla %60.40'ı, %70.50'si ve %60'ı iki yılda bir ana arı değiştirmektedir. Aynı zamanda 1-200 arası arılı kovana sahip arıcıların %74.70'i balı kendisi pazarlamayı tercih ederken, bu oran 201-400 arası arılı kovana sahip arıcılarda %21.10 ve 401 ve üzeri arılı kovana sahip arıcılarda ise %6.70 düzeyindedir. Yine 1-200 arası, 201- 400 arası ve 401 ve üzeri arılı kovan sahip arıcıların sırasıyla %18.40'ı, %37.90'ı ve 73.30'u elde ettiği balı analiz ettirmemektedir. Çalışmaya katılan arıcılardan 1-200 arası ve 201- 400 arası arılı kovan sahip arıcıların sırasıyla %22'si ve %17.90'ı antibiyotik kullanırken 401 ve üzeri arılı kovan sahip arıcıların hiçbirinin antibiyotik kullanmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada arıcı yaş ortalamasının yüksek olduğunu görülmektedir. Ordu ilinde büyük bir potansiyele sahip olan arıcılığın sürdürülebilir olabilmesi için özellikle gençlerin arıcılığa özendirilmesi gerekmektedir. Bunun için de gençlerden istekli olanların arıcılık konusunda eğitilerek, devlet destek ve hibelerinden yararlandırılarak arı yetiştiriciliğine yönlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada ankete katılan arı yetiştiricilerinin hiçbirinin organik arıcılık yapmadığı görülmektedir. Bu

eksikliğin giderilebilmesi için yetiştiricilerinin organik arıcılık konusunda yetkili kurum ya da kuruluşlarca tarafından bilinçlendirilmesi ve organik arıcılığa teşvik edilmesi gerekmektedir.

Sağlıklı ve yüksek verime sahip bir koloni için ana arının iki yılda bir değiştirilmesi gerekmektedir. Bu konuda Ordu ilindeki arıcıların önemli bir kısmı ana arılarını iki yılda bir değiştirmektedir, ancak değiştirmeyen arıcıların bu konuda bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bal analizi gıda güvenilirliği ve balın pazarlanması açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Arıcıların elde ettikleri balları analiz ettirebilmeleri için öncelikli olarak bal analiz maliyetleri düşürülmeli, analiz yerleri kolay ulaşılabilir olmalı ve gerekirse de bal analizleri devlet tarafından desteklenmelidir.

Çalışmada en sık karşılaşılan hastalık olarak görülen Kireç hastalığı Karadeniz bölgesi gibi nemli havaları seven ve etkeni mantar olan bir hastalıktır. Arıcıların bu konuda eğitimler düzenlenerek bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bilinçli antibiyotik kullanımı hem insan hem hayvanlar için çok önemli bir konudur. Çalışmada yetiştiricilerinin bu konuda yeterince bilinçli ve bilgili olmadığı görülmüştür. Bu nedenle arıcıların bilinçlendirilmesi, düzenli olarak arıcılık işletmelerinin denetlenmesi ve balların analiz edilmesiyle antibiyotik kullanımı kontrol altına alınmalıdır. Arıcılık kredileri arı yetiştiriciliği için önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebeple arıcılık kredilerinin kolay ulaşılabilir ve uygun koşullarda arıcılara sağlanması arıcılar için oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

- Albayrak, T. (2019). Sinop ili arıcılık sektörünün ekonomik yapısı üzerine araştırma. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Arıcan, A. A. (2021). Konya ili Ehke (Ereğli, Halkapınar, Karapınar ve Emirgazi) ilçelerinde arıcılığın teknik, yapısal ve sosyo-ekonomik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı, Konya.
- Arslan, E. (2016). Sivas ili arı yetiştiriciliğinin genel yapısı ve arıcılık faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı, Elazığ.
- Aydın, A. (2014). Ardahan ilinde arıcılık faaliyetleri ve sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı, Erzurum.
- Burucu, V. (2023). Ürün Raporu Arıcılık 2023. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. TEPGE YAYIN NO: 370 ISBN: 978-625-8451-83-2.
- Esen, İ., Özbakır, Ö. G. (2023). Şanlıurfa arıcılarının göçer arıcılık tercihleri ve arıcılık faaliyetleri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 10 (2): 267-273.
- Floris, I. (2020). Italian Apiculture: A journey through history and honey diversity. Accademia Nazionale Italiana di Entomologia.
- Graham, M. J. (2015). The hive and the honey bee. A Dadant Publication. 2015 Edition.
- Hallaçoğlu, Y. (2021). Hatay ili arıcılığının yapısal analizi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı, Hatay.
- FAO, (2023). Food and Agriculture Organization.
- Karaca, M. (2017). Elazığ arıcılığının genel yapısı ve arıcılık faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Elazığ.
- Mahmutoğlu, T. (2022). Tekirdağ ili arıcılık sektörünün yapısal özellikleri ve yetiştiricilik faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Öztürk, G. F. (2013). Ordu ili arıcılık sektörünün ekonomik yapısı üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi.

- Öztürk, D., Kaşko Arıcı, Y. (2017). Fındık işletmelerinin üretim ve pazarlama sorunlarının analizi: Samsun ili örneği. Ordu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi, 7:1, 21-34.
- Seğmenoğlu, N. (2018). Adana İlinde arıcılığın genel yapısı ve arıcılık faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Zootekni Anabilim Dalı, Elazığ.
- Şeviş, H. E. (2018). Bingöl arıcılığının yapısal durumunun incelenmesi, sorunları ve çözüm önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Bingöl.
- Tüik, (2023). Türkiye İstatistik Kurumu.
- Üçeş, E. (2015). Erzincan arıcılığının genel yapısı ve arıcılık faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı, Elazığ.
- Wadley, L. T. (2015). Traditional glue, adhesive and poison used for composite weapons by Ju/'hoan San in Nyae Nyae, Namibia. Implications for the evolution of hunting Equipment in Prehistory.
- Yamane, T. (2001.) Temel Örneklem Yöntemleri. Literatür yayıncılık, İstanbul.

BÖLÜM 16

DOĞANIN DAYANIKLI KANATLI HAYVANI: BEÇ (GİNE) TAVUĞU (*Numida meleagris*)

Prof. Dr. Sezai ALKAN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18133034>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Ordu, Türkiye.
sezaialkan61@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-0601-0122

1. GİRİŞ

Günümüzde, özellikle büyük şehirlerde ve turistik bölgelerde faaliyet gösteren otel ve restoranlarda, özel tüketim amaçlı kanatlı hayvan ürünlerine olan ilgi giderek artmaktadır. Bu talep artışı, geleneksel kanatlı türlerinin yanı sıra farklı lezzet profiline sahip av kuşları ve alternatif kanatlı türlerinin gerek doğal ortamdan temin edilerek gerekse kontrollü yetiştirme koşullarında üretilerek tüketime sunulmasını yaygınlaştırmıştır. Bildırcın, sülün, keklik, kaz ve ördek gibi türlere ek olarak Beç (Gine) tavuğu da organik ve serbest sistem kanatlı yetiştiriciliğinde önemli bir alternatif olarak dikkat çekmektedir.

Beç tavuğu, Numididae familyasına ait gallinase kuş türlerini kapsayan genel bir adlandırma olup kökeni Afrika kıtasına dayanmaktadır (Payne, 1990; Smith, 1990). Tür, adını Gine kıyılarından almış ve bu bölgeden başlayarak farklı kıtalara yayılış göstermiştir (Teye ve Gyawu, 2002). Afrika'nın zorlu çevre ve iklim koşullarına yüksek adaptasyon yeteneği kazanan Beç tavukları, zamanla kıta genelinde yayılmış ve özellikle küçük ölçekli, altyapısı sınırlı aile işletmelerinde yaygın olarak yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu işletmelerde Beç tavukları, insanların hayvansal protein gereksinimlerinin karşılanmasında önemli bir rol üstlenmektedir (Belshaw, 1985; Somes, 1996; Embury, 2001; Adjete, 2006). Beç tavukları çok sayıda ırk ve varyete içermekle birlikte, yetiştiricilikte en yaygın olarak karşılaşılan türler Numida meleagris ve Numida ptilorhyncha'dır. Numida meleagris türü içerisinde inci, beyaz ve lavanta renkli varyeteler bulunmakta olup, inci renkli varyete en yaygın olarak yetiştirilen formdur. Beç tavuklarının Afrika'dan Avrupa ve Amerika kıtalarına Portekizliler aracılığıyla taşındığı düşünülmektedir. Günümüzde Beç tavukları, dünyanın birçok ülkesinde hem et hem de yumurta üretimi amacıyla yetiştirilmektedir. Beç tavuğu eti, kendine özgü aroması ve lezzetiyle diğer av kuşlarının etine benzerlik göstermektedir. Özellikle genç yaşta kesilen Gine tavuklarının etleri yumuşak ve lezzetli olup, düşük yağ içeriği ve esansiyel yağ asitleri bakımından zengin olması nedeniyle beslenme açısından da değerli bir ürün olarak kabul edilmektedir. Etin enerji içeriğinin düşük olması (100 g'da yaklaşık 134 kkal), Beç tavuğu etini diyet yapan bireyler için uygun bir hayvansal protein kaynağı hâline getirmektedir (Cappa ve Casati, 1978; Singh ve Raheja, 1990; Feltwell, 1992). Ortalama karkas randımanının %80 civarında olması ve etinin av kuşu eti benzeri özellikler taşıması nedeniyle Beç tavukları,

özellikle lüks restoran ve otellerde yüksek ekonomik değerle pazarlanmaktadır (Feltwell, 1992; Mohamed ve ark., 2012). Bunun yanı sıra, bazı yetiştiriciler tarafından süs hayvanı olarak da değerlendirilmektedir. Beç tavuklarından tarihsel olarak ilk kez Yunanlılar ve Romalılar tarafından söz edilmiş, türün ilk evcilleştirilmesinin ise eski Mısırlılar tarafından gerçekleştirildiği bildirilmiştir (Bonds, 1997). Günümüzde Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere birçok ülkede Beç tavuklarının ıslahı ve ticari üretimi üzerine faaliyet gösteren büyük ölçekli işletmeler bulunmaktadır (Baeza ve ark., 2001; Aroujo ve ark., 2019). Fransa, İtalya, Belçika, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya gibi ülkelerde Beç tavukları ticari amaçla yaygın olarak yetiştirilmekte olup, Fransa’da üretim çoğunlukla entansif sistemler üzerinden yürütülmektedir (Robinson, 2000; Embury, 2001; Tufarelli ve ark., 2007; Lopez-Pedrouso ve ark., 2019). Brezilya’nın kuzeydoğu bölgelerinde de Beç tavuğu yetiştiriciliği yapılmakta olup, bu ülkede daha çok yarı entansif sistemler tercih edilmektedir. Buna karşın, Afrika ülkelerinde Beç tavuğunun büyük ölçekli ticari işletmelerde üretimi henüz istenilen düzeye ulaşmamıştır (Nwagu ve Alawa, 1995; Dondofema, 2000; Saina, 2001). Afrika’daki küçük ölçekli işletmelerde Beç tavuğu, düşük girdi gereksinimi ve çevresel koşullara dayanıklılığı nedeniyle “fakir insanların sülünü” olarak tanımlanmaktadır (Bonds, 1997).

Bu işletmelerde Beç tavukları öncelikle et ve yumurta üretimi amacıyla yetiştirilmekle birlikte, sahip oldukları davranışsal özellikler nedeniyle farklı işlevler de üstlenmektedir. Yüksek görme yetenekleri, yabancılara karşı hızlı tepki vermeleri ve ani seslere toplu hâlde yüksek sesle karşılık vermeleri sayesinde Beç tavukları, çiftliklerde ve yerleşim alanlarının çevresinde doğal bir “alarm sistemi” olarak kullanılmaktadır (Mallia, 1999). Ayrıca yılan, fare, kene, kurbağa ve yabancı otların kontrolünde etkin rol oynadıkları bilinmektedir. Sert gagaları ve güçlü pençeleri sayesinde yabancı otları ezerek yok edebilmeleri, bu türü biyolojik mücadele açısından da avantajlı kılmaktadır. Beç tavukları, tam anlamıyla evcilleştirilme sürecini tamamlamamış olmaları nedeniyle ticari hibrit tavuklara kıyasla zor çevre koşullarına daha yüksek dayanıklılık göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde Newcastle ve Çiçek hastalığı gibi bazı kanatlı hastalıklarına karşı daha dirençli oldukları bildirilmektedir (Bonds, 1997; Mandal ve ark., 1999; Chivandi ve

ark., 2002). Küçük aile işletmelerinde yetiştirilen ergin Beç tavuklarında ölümlerin başlıca nedenleri arasında zehirlenme, yırtıcı hayvan saldırıları, bireyler arası kavgalar ve olumsuz hava koşulları yer almaktadır.

Çizelge 1. Miğferli Beç tavuğunun alt türleri

Tür ismi	Yaygın ismi	Dağılım bölgesi
N. m. meleagris	Kıl burunlu Beç tavuğu	Çad Gölü ve Sudan
N. m. sabyi	Filoplume boyunlu Beç tavuğu	Fas
N. m. galeata	Gri göğüslü Beç tavuğu	Kamerun, Senegal ve Nijerya
N. m. marungensis	Marunga miğferli Beç tavuğu	Demokratik Kongo Cumhuriyeti ve Zambiya
N. m. damarensis	Namibya Gine tavuğu	Namibya ve Batı Botsvana
N. m. coronata	Miğferli Beç tavuğu	Güney Afrika Cumhuriyeti ve Güney Botsvana
N. m. mitrata	Taçlı Gine tavuğu	Mozambik, Zimbabve ve Zambiya
N. m. reichnowi	Reichnowi Gine tavuğu	Uganda, Kenya ve Tanzanya

Van Niekerk (1993)

2. BEÇ TAVUĞUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Beç tavuklarının baş ve boyun bölgeleri büyük ölçüde tüysüzdür. Kanat ve kuyruk yapıları kısa, yuvarlak ve kompakt bir görünüme sahiptir. Doğal yaşam koşullarında ortalama 15 yıla kadar yaşayabildikleri bildirilmektedir. Ticari olarak yetiştirilen evcil tavuklarla karşılaştırıldığında daha ürkek bir yapıya sahip olup sürü hâlinde yaşamaya daha yatkındırlar. Tehlike algıladıklarında genellikle toplu ve düzensiz bir şekilde hareket ederler. Bu panik hâli, özellikle kontrolsüz ortamlarda ciddi hayvan kayıplarına yol açabilmektedir. Bu nedenle Beç tavuklarının bulunduğu alanlarda ani hareketlerden ve yüksek seslerden kaçınılması büyük önem taşımaktadır.

Gece saatlerinde korku durumunda Beç tavukları genellikle hareketsiz kalarak saklanma davranışı sergilerler. Tüneme yetenekleri oldukça gelişmiştir. Ancak yüksek sesle ve toplu hâlde bağırma eğilimleri nedeniyle yerleşim

alanlarına yakın bölgelerde yetiştirilmeleri pratik açıdan sorun yaratabilmektedir. Serbest alanlarda yetiştirildiklerinde özellikle genç bitkilere, sebze bahçelerine ve tarım alanlarına zarar verebilmeleri de dikkate alınması gereken bir diğer husustur.

Beç tavukları, ticari hibrit tavuklara kıyasla ısı stresine ve birçok kanatlı hastalığına karşı daha yüksek dayanıklılık göstermektedir. Nakliye koşullarına toleranslarının yüksek olması, bu türün uzak bölgelere veya ülkelere taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca mikotoksin ve aflatoksinlere karşı daha toleranslı oldukları bildirilmiştir. Ticari tavukların gereksinim duyduğu yüksek ışık şiddetine ihtiyaç duymadan, daha düşük aydınlatma koşullarında da rahatlıkla yetiştirilebilmeleri önemli bir avantaj sağlamaktadır (Kusina ve ark., 2012). Bu özellikleri sayesinde yüksek sıcaklık ve nem koşullarında da performanslarını sürdürebilmektedirler.

Beç tavukları çok farklı iklim koşullarına kolaylıkla uyum sağlayabilen bir türdür. Yetiştirilmeleri için ileri teknolojiye sahip ve yüksek maliyetli kümes sistemlerine ihtiyaç duyulmaması, üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Yürüme ve dolaşma yeteneklerinin gelişmiş olması, besin maddelerini arama ve bulma kapasitelerini artırmaktadır. Bu durum, ticari tavukların değerlendiremediği birçok yem hammaddesinin Beç tavukları tarafından tüketilebilmesine olanak sağlamaktadır. Sert yapılı gagaları sayesinde kabuklu ve sert besin maddelerini kırabilmeleri de bu adaptasyon yeteneğini desteklemektedir.

Beç tavuğu yumurtaları, ticari yumurta tavuklarının yumurtalarına kıyasla daha küçük olmakla birlikte, kabuk kalınlıklarının daha fazla olmasıyla dikkat çekmektedir (Ayorinde, 1988; Mundra ve ark., 1993; Nwagu ve Alawa, 1995; Embury, 2001). Kalın kabuk yapısı, yumurtaların fiziksel dayanıklılığını artırırken, kuluçka sürecinde döllülük kontrolünü zaman zaman zorlaştırabilmektedir.

Beç tavuklarında optimum kesim yaşı genellikle 16. hafta olarak bildirilmektedir. Bu yaştan sonra yemden yararlanma oranında düşüş gözlenmektedir (Ayorinde ve ark., 1989; Robinson, 2000; Embury, 2001). Islah edilmemiş bireyler bu dönemde yaklaşık 1 kg canlı ağırlığa ulaşırken, ıslah

çalışmaları uygulanmış hatlarda canlı ağırlığın 2 kg'a kadar çıkabildiği belirtilmektedir (Ayorinde ve ark., 1989; Mundra ve ark., 1993; Embury, 2001).

Beç tavukları; çevre sıcaklığına tolerans, üreme kabiliyeti ve hastalıklara karşı direnç gibi temel biyolojik özelliklerini günümüze kadar büyük ölçüde korumuştur. Çiftlik veya köy çevresinde yarı entansif koşullarda yetiştirilebilmeleri ve su gereksinimlerinin nispeten düşük olması, bu türün üretim açısından avantajlı yönleri arasında yer almaktadır. Organik hayvancılığa uygunlukları, genetik kaynak olarak değerlendirilebilmeleri ve ıslah programlarıyla verim özelliklerinin geliştirilebilir olması, Beç tavuğu yetiştiriciliğine olan ilginin gelecekte artacağını göstermektedir (Yıldırım, 2009).

Anatomik açıdan değerlendirildiğinde, Beç tavuklarında dişiler genellikle erkeklerden daha ağırdır. Bununla birlikte her iki cinsiyet 32–40 haftalık yaşa kadar benzer canlı ağırlık değerleri göstermektedir. Bu yaştan sonra üreme organlarının gelişimine bağlı olarak dişilerin canlı ağırlığı erkeklere göre yaklaşık %20 oranında artış gösterebilmektedir (Bernacki ve ark., 2013).

Genel olarak Beç tavukları yaklaşık 90 günlük yaşta kesime uygun hâle gelmekte ve ortalama 1,6 kg canlı ağırlığa ulaşmaktadır. Türün karkas randımanının yaklaşık %80 gibi yüksek bir düzeyde olması, et verimi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Musundire ve ark., 2018). Beç tavuklarında tüy rengi bakımından geniş bir varyasyon görülmektedir. Gri boncuklu, beyaz göğüslü gri boncuklu, tamamen beyaz, gri, kahverengi, siyah ile beyaz ve siyah benekli gri olmak üzere yedi temel tüy rengi varyasyonu tanımlanmıştır. Bu varyasyonlar arasında en yaygın olanı gri boncuklu tüy rengine sahip bireylerdir (Houndonougbo ve ark., 2017).

3. BEÇ TAVUĞU YETİŞTİRME SİSTEMLERİ

Beç tavuklarının yetiştirilmesinde uygulanan sistemler, sürü büyüklüğü, işletmelerin ekonomik durumu ve bölgesel koşullara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Afrika ülkelerinde çoğunlukla serbest (ekstansif), yarı serbest (yarı entansif) ve entansif olmak üzere üç temel yetiştirme sistemi

kullanılmaktadır. Buna karşılık Avrupa ve Amerika kıtasında Beç tavuğu yetiştiriciliği daha çok entansif üretim sistemleri üzerinden yürütülmektedir.

3.1.Serbest (ekstansif) Yetiştirme Sistemi:

Serbest yetiştirme sistemi, Afrika'da Beç tavuğu yetiştiriciliğinde en yaygın uygulanan yöntemdir. Bu sistemde klasik kanatlı hayvan yetiştirme teknikleri büyük ölçüde kullanılmamakta ve hayvanlar geniş alanlarda serbest dolaşım imkânına sahip olmaktadır. Genellikle ekonomik imkânları sınırlı ve altyapısı yetersiz küçük aile işletmelerinde tercih edilen bu yöntem, düşük girdi gereksinimi nedeniyle üreticiler açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Ekstansif sistemde yetiştirilen Beç tavuklarının besin gereksinimleri büyük ölçüde doğal ortamdan karşılanmaktadır. Bununla birlikte, özellikle su temini ve temel sağlık koruma uygulamalarında yapılacak iyileştirmeler, bu işletmelerin verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür iyileştirmelerin, küçük ölçekli işletmelerin ekonomik gelişimine olumlu katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (Branckaert ve Gueye, 1999; Kitalyi, 1999).

3.2.Yarı Serbest (yarı entansif) Yetiştirme Sistemi:

Yarı serbest yetiştirme sistemi, serbest dolaşım imkânı ile kontrollü bakım ve besleme uygulamalarının birlikte yürütüldüğü bir üretim modelidir. Bu sistemde Beç tavuklarına kümes içerisinde düzenli olarak yem ve su sağlanmakta, aynı zamanda hayvanların belirli büyüklükte açık alanlarda dolaşmasına izin verilmektedir. Yaklaşık 400 m²'lik bir alanda 500 adet Beç tavuğunun yetiştirilebildiği bildirilmektedir.

Bu sistemde, civcivlerin ilk gelişim dönemlerinde daha kontrollü koşullara ihtiyaç duyulmaktadır. İlk üç haftalık yaşa kadar 1000 adet Beç tavuğu civcivinin yetiştirilmesi için yaklaşık 24 m² kapalı alan yeterli olmaktadır. Daha sonraki dönemde ise yırtıcı hayvanlara karşı korunma amacıyla çevresi yaklaşık 2 m yüksekliğinde tülle çevrilmiş, 40 m² kapalı ve 200 m² açık alan içeren, tünikli bir yaşam alanına ihtiyaç duyulmaktadır (Fanatico, 1998; Embury, 2001). Yarı entansif sistem

Beç tavuklarının doğal davranışlarını sergilemelerine olanak tanırken, aynı zamanda bakım ve beslemenin kontrol altında tutulmasını sağladığı için üretim performansı açısından dengeli bir yetiştirme modeli olarak değerlendirilmektedir.

3.3.Entansif Yetiştirme Sistemi:

Entansif yetiştirme sisteminde Beç tavukları tamamen kapalı alanlarda yetiştirilmekte ve hayvanların serbest dolaşımına imkân tanınmamaktadır. Bu sistemde bakım, besleme ve çevresel koşullar diğer yetiştirme sistemlerine kıyasla çok daha sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Bu durum, Beç tavuklarının performansının artırılmasına olanak sağlamaktadır.

Beç tavuklarının hareketliliğini kontrol altına almak ve agresif davranışları sınırlamak amacıyla entansif sistemde kümeslerde düşük aydınlatma şiddeti uygulanması önerilmektedir. Hayvanlar yer sistemi veya kafes sisteminde yetiştirilebilmektedir. Yerde yetiştirme koşullarında, 1 m² alana yaklaşık olarak 20 adet Beç tavuğu civcivi, 10 haftalık yaşta 8 adet palaz ve damızlık dönemde ise 4 adet Beç tavuğu yerleştirilebilmektedir (Embury, 2001). Kümes içerisinde tüneklerin bulunması, hayvan refahı açısından önem taşımaktadır.

Günümüzde modern entansif işletmelerde Beç tavuklarının kafes sistemlerinde yetiştirildiği ve üreme verimini artırmak amacıyla suni tohumlama uygulamalarının yaygınlaştığı bildirilmektedir (Robinson, 2000; Embury, 2001). Etlik Beç tavuğu yetiştiriciliğinde entansif sistemde tavuk başına ortalama 900 cm²'lik alanın yeterli olduğu ifade edilmektedir.

4.BEÇ TAVUKLARINDA CANLI AĞIRLIK, YUMURTA VERİMİ VE KULUÇKA ÖZELLİKLERİ

Beç tavuklarında büyüme performansı, canlı ağırlık artışı ve karkas özellikleri üzerine çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Vivek ve ark. (2002) tarafından yapılan araştırmada, Beç tavuklarının kuluçka çıkış ağırlığı ile 4., 8., 12. ve 16. haftalardaki canlı ağırlıkları sırasıyla 26,87 g, 208,12 g, 619,78 g, 951,00 g ve 1190,00 g olarak belirlenmiştir. Hien ve ark. (2002) ise serbest ve kontrollü yetiştirme koşullarında gerçekleştirdikleri çalışmada, Beç tavuklarının 28 haftalık yaştaki canlı ağırlıklarını sırasıyla 933,3 g ve 958 g

olarak rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Ayorinde ve ark. (1988) Nijerya’da dört farklı Beç tavuğu varyetesi üzerinde yaptıkları araştırmada, 28 haftalık yaştaki canlı ağırlıkların 949–978 g aralığında değiştiğini bildirmiştir.

Karkas özelliklerine ilişkin olarak Brijesh ve ark. (1999), iki farklı Beç tavuğu ırkında karkas randımanını erkeklerde %76,06 ve %78,32; dişilerde ise %73,43 ve %76,88 olarak belirlemiştir. Aleandri ve Olivetti (1982) tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise erkek ve dişi Beç tavuklarında karkas randımanlarının sırasıyla %87,1 ve %83,0 gibi daha yüksek değerlere ulaştığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, genotip, cinsiyet ve yetiştirme koşullarının karkas verimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Beç tavuklarında yumurtlama faaliyeti genellikle günlerin uzamaya başladığı dönemlerde başlamakta ve yumurtlama süresi yaklaşık 6–9 ay devam etmektedir. Doğal yaşam koşullarında Beç tavuklarının çiftler hâlinde yaşadığı ve tek eşli çiftleşme davranışı sergilediği bildirilmektedir (Crowe ve Elbin, 1987). Entansif yetiştiricilik koşullarında ise damızlık sürülerde yüksek döllülük oranı elde edebilmek amacıyla genellikle bir erkeğe 4–5 dişi düşecek şekilde cinsiyet oranı düzenlenmektedir.

Beç tavuklarının yumurtlamaya başlama yaşı bakım-besleme koşullarına ve genetik yapıya bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, 16–17 haftalık yaşıta yumurtlamaya başlayabilen bireyler bulunduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, ortalama yumurtlama yaşının genellikle 26–32 hafta arasında olduğu ifade edilmektedir (Belshaw, 1985; Nwagu, 1997). Güney yarımkürede Beç tavuklarının çoğunlukla Ekim–Nisan ayları arasında üretimde kullanıldığı belirtilmiştir (Kabera, 1997; Embury, 2001).

Beç tavuklarının yıllık yumurta verimi, yetiştirme sistemi ve çevresel koşullara bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir. Tropikal iklim koşullarında yıllık yumurta sayısının 50–170 adet arasında olduğu bildirilmektedir. Ancak ılıman iklim bölgelerinde ve uygun bakım-besleme koşulları sağlandığında yumurtlama periyodunun 40 haftaya kadar uzayabildiği ve yumurta veriminin önemli ölçüde arttığı belirtilmektedir. Serbest yetiştirme sisteminde iyi yönetilen sürülerde bir Beç tavuğunun yılda ortalama 100 adet yumurta verebildiği, entansif sistemde kafeste yetiştirilen sürülerde ise bu sayının 170–180 adede ulaşabildiği bildirilmektedir (Nwagu ve Alawa, 1995;

Binali ve Kanengoni, 1998). Standart aydınlatma programlarının uygulandığı entansif sistemlerde ise Beç tavuklarının yıl boyunca yumurtlayabildiği ve 50–200 adet arasında yumurta verebildiği ifade edilmektedir (Yakubu ve ark., 2019).

Beç tavuğu yumurtalarının ağırlığı ticari yumurta tavuklarının yumurtalarına kıyasla daha düşük olup, Alkan ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada yumurta ağırlıklarının 34,03–45,70 g arasında değiştiği ve ortalama değerin 40,14 g olduğu belirlenmiştir. Yumurta kabuğunun kalın olması, yumurtaların mekanik dayanıklılığını artırmakla birlikte, ışıkla döllülük kontrolünü zorlaştırmakta ve yapay kuluçka uygulamalarında bazı güçlükler yaratabilmektedir.

Bakım ve besleme koşullarının uygun olduğu işletmelerde Beç tavuklarının 2–3 yıl süreyle üretimde kullanılabildiği, buna karşın küçük ölçekli ve sınırlı imkânlara sahip aile işletmelerinde bu sürenin 4–5 yıla kadar uzayabildiği bildirilmektedir (Ayorinde ve ark., 1989). Beç tavuğu yumurtalarının ortalama ağırlığı 40–45 g civarında olup, kabuk kalınlığı 0,43–0,70 mm arasında değişmektedir (Alkan ve ark., 2013).

Ekstansif yetiştiricilik koşullarında yumurtaların uygun sıcaklık ve nem değerlerinde günde ortalama dört kez toplanması önerilmektedir. Özellikle çok yüksek (30 °C ve üzeri) ya da çok düşük (5 °C ve altı) sıcaklıklarda yumurtaların daha sık toplanması gerektiği bildirilmektedir. Beç tavuğu yumurtalarının 15–18 °C sıcaklık ve %70–80 bağıl nem koşullarında depolanması önerilmekte olup, optimum depolama süresi yedi gün olarak kabul edilmektedir (Belshaw, 1985; Binali ve Kanengoni, 1998). Depolama süresinin uzaması, yumurta kalitesinde bozulmaya ve kuluçka çıkış gücünde azalmaya yol açmaktadır (Nwagu, 1997).

Beç tavuğu yumurtalarının kuluçka süresi genellikle 26–28 gün arasında değişmekte olup, civcivlerin yumurtadan çıkış ağırlıkları ortalama 24–25 g olarak bildirilmektedir (Belshaw, 1985; Embury, 2001). Döllülük ve çıkış gücü, Beç tavuğu yetiştiriciliğinde kritik öneme sahiptir. Erkek Beç tavuklarının testis ağırlıklarının (1–9 g) ticari hibrit tavuklara göre daha düşük olması (14–16 g), sperma üretimi açısından dezavantaj oluşturmaktadır (Belshaw, 1985; Nwagu ve Alawa, 1995). Doğal çiftleşme koşullarında döllülük oranlarının %49–58

arasında değiştiği, buna karşın yapay tohumlama uygulamalarıyla bu oranın %75–85 düzeylerine çıkarılabildiği bildirilmektedir (Ayorinde ve ark., 1989; Kabera, 1997).

Doğal kuluçka daha çok küçük işletmelerde uygulanmakta olup bir Beç tavuğunun genellikle 12–15 yumurtanın üzerine yatmasıyla en iyi çıkış gücünün elde edildiği belirtilmektedir (Embury, 2001). Doğal kuluçkada kuluçka randımanının %44–92 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Ayorinde, 1987; Mwale ve ark., 2008; Araujo ve ark., 2019). Yapay kuluçka uygulamalarında ise makinenin giriş bölümünde 37,5–37,8 °C sıcaklık ve %55–60 nem, çıkış bölümünde ise 37,2 °C sıcaklık ve %70–75 nem koşullarının sağlanması önerilmektedir. Ayrıca yumurtaların saat başı otomatik olarak çevrilmesi, çıkış başarısını artırmaktadır (Belshaw, 1985; Binali ve Kanengoni, 1998).

Yumurtadan çıkan Beç tavuğu civcivlerinin, pürüzsüz ve kaygan yüzeylerde yetiştirilmemesi gerektiği bildirilmektedir. Civcivlerin ayak kontrolünün yeterince gelişmemiş olması, bu tür yüzeylerde “çatal bacak” oluşumuna neden olabilmektedir (Bell ve Smith, 2003). Uygun yetiştirme koşulları sağlandığında ilk 3–4 haftalık dönemde ölüm oranlarının %3–5 arasında olduğu, buna karşın yetersiz koşullarda ilk 8 haftada ölüm oranının %50’nin üzerine çıkabildiği rapor edilmiştir (Nwagu ve Alawa, 1995).

Çizelge 2. Beç tavuklarının bazı verim özellikleri

Yıllık ortalama yumurta sayısı	100
Ortalama yumurta ağırlığı (g)	40-45
Ortalama döllülük oranı (%)	75-80
Ortalama çıkış gücü	75-80
Ergin ağırlık (kg)	1.60-1.70
Eşeyssel olgunluk yaşı (gün)	185-190
Kuluçka süresi (gün)	26-28
Ortalama civciv çıkış ağırlığı (g)	24.5-26.0

Fani ve ark. (2004)

Çizelge 3. Beç tavuğu yumurtalarının dış kalite özellikleri

Özellikler	N	Minimum	Maksimum	Mean $\pm$ SE
Yumurta ağırlığı (g)	100	34,03	45,7	40,14 $\pm$ 0,235
Yumurta uzunluğu (mm)	100	46,44	52,68	49,47 $\pm$ 0,107
Yumurta genişliği (mm)	100	36,40	40,02	37,89 $\pm$ 0,087
Kabuk ağırlığı (g)	97	3,01	8,97	6,48 $\pm$ 0,08
Kabuk oranı (%)	97	9,0	20	16 $\pm$ 0,002
Sivri uç kalınlığı (mm)	95	0,44	0,71	0,55 $\pm$ 0,005
Küt uç kalınlığı (mm)	95	0,41	0,69	0,53 $\pm$ 0,004
Orta kısım kalınlığı (mm)	95	0,43	0,69	0,54 $\pm$ 0,004
Ortalama kabuk kalınlığı (mm)	95	0,43	0,70	0,54 $\pm$ 0,004
Kabuk yüzey alanı (cm ²)	100	49,94	60,71	65,69 $\pm$ 0,216
Birim yüzey kabuk ağırlığı(g/cm ²)	97	0,06	0,15	0,11 $\pm$ 0,001
Şekil indeksi	100	0,72	0,81	0,76 $\pm$ 0,002
Yumurta hacmi (cm ³)	100	34,26	43,25	38,21 $\pm$ 0,214

Alkan ve ark. (2013)

Çizelge 4. Beç tavuğu yumurtalarının iç kalite özellikleri

Özellikle	N	Minimum	Maksimum	Mean $\pm$ SE
Sarı ağırlığı (g)	90	11,69	15,87	13,58 $\pm$ 0,107
Sarı yüksekliği (mm)	90	12,04	17,09	14,99 $\pm$ 0,110
Sarı genişliği (mm)	90	36,51	45,13	40,64 $\pm$ 0,170
Sarı indeksi	90	28,0	44,0	37,00 $\pm$ 0,003
Sarı oranı (%)	90	30,0	38,0	33,00 $\pm$ 0,002
Ak yüksekliği (mm)	90	3,09	6,93	4,77 $\pm$ 0,086
Ak genişliği (mm)	90	51,54	71,54	62,97 $\pm$ 0,480
Ak uzunluğu (mm)	90	65,23	91,34	80,07 $\pm$ 0,563
Ak ağırlığı (g)	100	16,67	41,89	21,62 $\pm$ 0,49

Ak indeksi	90	4,0	10,0	6,70±0,001
Ak oranı (%)	90	44,0	57,0	50±0,003
Sarı/ak oranı (%)	90	54,0	85,0	68±0,008
Haugh Birimi	90	60,57	87,80	74,97±0,65

Alkan ve ark. (2013)

5.BEÇ TAVUKLARINDA CİNSİYETİN BELİRLENMESİ

Beç tavukları yetiştiriciliğinde karşılaşılan temel sorunlardan biri, erkek ve dişi bireylerin erken yaşlarda ayırt edilmesinin güç olmasıdır. Bunun temel nedeni, Beç tavuklarında cinsiyetler arasında dış görünüş bakımından belirgin farklılıkların sınırlı düzeyde olmasıdır. Bu durum, özellikle damızlık sürü oluşturulması ve üretim planlaması aşamalarında yetiştiriciler açısından önemli zorluklar yaratmaktadır.

Beç tavuklarında yaklaşık iki aylık yaştan sonra cinsiyet tayininde bireylerin çıkardıkları seslerden yararlanılabilmektedir. Ancak bu yöntem, uygulama açısından oldukça güçtür. Seslere dayalı cinsiyet belirlemenin doğru yapılabilmesi, uygulayıcının erkek ve dişi bireylerin çıkardığı sesleri iyi ayırt edebilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle söz konusu yöntem, pratikte yaygın olarak tercih edilmemektedir.

Cinsiyet tayininde kullanılan diğer yöntemler, baş ve boyun bölgesindeki morfolojik farklılıklara dayanmaktadır. Erkek Beç tavuklarının baş yapısı ve baş üzerinde bulunan miğferin genellikle dişilere göre daha büyük ve belirgin olduğu bildirilmektedir. Ayrıca boynun her iki yanında yer alan sarkık yapılar (küpeler) erkeklerde daha geniş, kalın ve belirgin bir görünüme sahiptir. Dişi bireylerde ise bu yapılar daha küçük ve narin yapıdadır (Prinsloo ve ark., 2005; Van Niekerk, 2010).

Davranışsal özellikler de cinsiyet ayırımında yardımcı olabilmektedir. Beç tavuklarında kavgaya etme davranışının çoğunlukla erkek bireylerde görüldüğü bildirilmektedir. Bu özellik, özellikle ergin yaşa yaklaşan bireylerde cinsiyetin belirlenmesine destekleyici bir kriter olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, davranış temelli değerlendirmelerin çevresel faktörlerden

etkilenebileceği ve her durumda kesin sonuç vermeyebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Beç tavuklarında cinsiyetin erken yaşlarda güvenilir biçimde belirlenmesine yönelik yöntemlerin sınırlı olduğu, bu nedenle üretim planlamasında belirli bir belirsizliğin kaçınılmaz olduğu söylenebilir. Bu durum, Beç tavuğu yetiştiriciliğinde seleksiyon ve damızlık yönetimi açısından dikkatle ele alınması gereken bir konu olarak önemini korumaktadır.

6.BEÇ TAVUKLARININ BESLENMESİ

Doğal yaşam koşullarında Beç tavuklarının beslenmesi oldukça çeşitlidir. Bitki tohumları ve yeşil aksamın yanı sıra böcekler, örümcekler, solucanlar, yumuşak kabuklu canlılar, fareler, yılanlar ve kurbağalar bu türün doğal besin kaynakları arasında yer almaktadır. Özellikle böcekler, Beç tavuklarının rasyonunda önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle Beç tavukları, bahçeler ve yerleşim alanları çevresinde zararlı böcek popülasyonlarının azaltılmasında biyolojik mücadele unsuru olarak da değerlendirilmektedir.

Beç tavuğu palazlarının yaşamlarının ilk dört haftasında yüksek enerjili karma yemlerle beslenmesi büyük önem taşımaktadır (Yıldırım, 2009). Bu dönemde yetersiz protein alımı, gelişmenin yavaşlamasına ve büyümede belirgin gecikmelere neden olmaktadır. Karma yemde protein düzeyinin düşük olması, büyüme performansını olumsuz etkilemekte; bu durum, hayvanların amino asit gereksinimlerini karşılayacak nitelikte ve dengede rasyonların hazırlanmasını zorunlu kılmaktadır (Blum ve Leclercq, 1976). Ticari tavuk yetiştiriciliğinde olduğu gibi Beç tavuğu yetiştiriciliğinde de besleme programı genellikle üç döneme ayrılmaktadır: başlatma, büyütme ve bitirme. Başlatma yemi ilk dört haftada kullanılmakta, bunu 10. haftaya kadar büyütme yemi izlemekte ve 10. haftadan kesim yaşına (14–16 hafta) kadar bitirme yemi uygulanmaktadır. Başlatma yeminin %24–26 ham protein ve yaklaşık 2900 kcal/kg metabolik enerji içermesi önerilmektedir. Büyütme yeminde protein oranı %18–20, bitirme yeminde ise yaklaşık %16 düzeyine düşürülmekte, metabolik enerji seviyesi ise sırasıyla 2900 ve 2700 kcal/kg olarak planlanmaktadır. Tropikal bölgelerde yüksek sıcaklık ve nem koşullarının yem tüketimini azaltması nedeniyle, bu çevre koşullarında kullanılan karma

yemlerin enerji ve protein düzeylerinin artırılması gerektiği bildirilmektedir. Blum ve ark. (1975), Beç tavuklarının gelişme döneminde kullanılan rasyonların 3000 kcal/kg metabolik enerji içermesi ve 0–4 haftalar arasında %24–26, 4–8 haftalar arasında %19–20 ve 8–12 haftalar arasında %16 ham protein düzeyinde olmasının performans üzerinde olumlu etki sağladığını belirtmişlerdir. Agwunobi ve Ekpenyong (1991) tropikal koşullarda %22 ham protein ve 3000 kcal/kg metabolik enerji içeren başlangıç yemi ile %16 ham protein ve 2800 kcal/kg metabolik enerji içeren bitirme yeminin 12 haftalık yaşa kadar optimum büyümeyi desteklediğini bildirmiştir. Lopes ve ark. (1996) ise 25–31 °C çevre sıcaklığında yüksek enerji (3000 ve 3200 kcal/kg ME) ve protein (%24 ve %26) içeren başlangıç rasyonlarıyla beslenen Beç tavuğu civcivlerinde canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranlarının arttığını rapor etmiştir.

Bir Beç tavuğunun yaşamı boyunca tükettiği toplam yem miktarının ortalama 43 kg olduğu bildirilmektedir. Bunun yaklaşık 12 kg'ı büyütme döneminde, 31 kg'ı ise yumurtlama döneminde tüketilmektedir. Beç tavuğu rasyonlarının besin madde içeriği, genel olarak ticari tavuk rasyonlarına benzerlik göstermekle birlikte, büyütme ve yumurtlama dönemlerinde kullanılan yemlerde lizin ve metiyonin düzeylerinin nispeten daha yüksek olması gerekmektedir (Say, 1987). Beç tavuklarının günlük ortalama yem tüketimleri 0–6, 6–12 ve 12–16 haftalık yaş dönemlerinde sırasıyla 25–30 g, 50–60 g ve 70–80 g arasında değişmektedir. Rafiu ve ark. (2007) tarafından yürütülen bir çalışmada, Beç tavukları 10 haftalık yaşa kadar %16, %18, %20 ve %22 ham protein içeren rasyonlarla beslenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, en yüksek canlı ağırlık değerleri %18 (1,56 kg) ve %20 (1,52 kg) ham protein içeren rasyonlarla beslenen gruplarda elde edilmiştir. Buna karşın, en iyi yemden yararlanma oranı %16 ham protein içeren rasyonla beslenen Beç tavuklarında belirlenmiştir. Okyere ve ark. (2020) tarafından yapılan başka bir araştırmada ise %22 ham protein içeren rasyonlarla beslenen Beç tavuklarının daha yüksek canlı ağırlıklara ulaştığı ve ilk yumurtlama yaşına daha erken eriştiği bildirilmiştir. Bu grubu sırasıyla %18, %20 ve %16 ham protein içeren rasyonlarla beslenen gruplar izlemiştir. Beç tavuğu rasyonlarında kullanılan besin maddesi içerikleri, amino asit gereksinimleri, vitamin ve mineral düzeyleri yaş dönemine ve üretim amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu

kapsamda başlangıç, büyüme, bitirme ve damızlık dönemlerine ait rasyon içerikleri literatürde ayrıntılı biçimde tanımlanmış olup, söz konusu değerler Çizelge 5–8’de sunulmuştur (Ensminger ve ark., 1990; Tewe, 1983; Yıldırım, 2009).

Çizelge 5. Beç tavuğu rasyonlarının besin maddesi içerikleri ve değerleri

Besin maddesi	Başlangıç	Büyütme	Bitirme	Damızlık
Ham protein (%)	24 -25	20	15	18
Metabolik enerji (MJ/kg)	12.30	12.30	11.30	12.30
Kalsiyum (%)	1.20	1.00	0.80	0.30
Kullanılabilir fosfor (%)	0.50	0.50	0.40	0.40
Sodyum (%)	0.18	0.48	0.18	0.18
Arginin (%)	1.50	1.20	0.80	0.91
Lizin (%)	1.30	1.20	0.80	0.83
Metiyonin (%)	0.52	0.45	0.34	0.55
Metiyonin+sistin (%)	0.91	0.80	0.61	0.74
Triptofan (%)	0.22	0.22	0.15	0.17
Histidin (%)	0.54	0.45	0.35	0.41
Lösin (%)	1.50	1.40	1.10	0.80
İzolösin (%)	1.00	1.70	1.30	0.73
Fenilalanin (%)	1.00	0.93	0.74	0.74
Fenilalanin+tirozin (%)	1.50	1.40	1.10	1.00
Treonin (%)	0.93	0.81	0.62	0.71
Valin (%)	1.10	1.00	0.75	0.72
Vitaminler (kg rasyon başına)				
Vitamin A (IU)	5000	4000	4000	5000
Vitamin D3 (IU)	2500	2000	2000	2500
Kolin eşdeğerleri (mg)	1000	750	750	1000
Riboflavin (mg)	4	3	3	4
Pantotenik asit (mg)	12.0	9.0	9.0	12.0
Vitamin B12 (mg)	0.012	0.01	0.01	0.012
Folik asit (mg)	1.0	0.08	0.08	1.0
Biyotin (mg)	0.25	0.20	0.20	0.25
Niasin (mg)	60	40	40	60
Vitamin K (mg)	2.0	1.5	1.5	2.0
Vitamin E (mg)	25	15	15	25
Tiamin (mg)	2.5	2.0	2.0	2.5
Pridoksin (mg)	5	4	4	5
İz elementler (mg/kg rasyon)				
Manganez (mg)	70	55	55	70
Demir (mg)	80	70	70	80
Bakır (mg)	10	8.0	8.0	10
Çinko (mg)	80	60	60	80

Selenyum (mg)	0.30	0.20	0.20	0.30
İyot (mg)	0.40	0.40	0.40	0.40

Ensminger ve ark. (1990); Tewe (1983)

Çizelge 6. Beç tavuklarının farklı dönemlerde protein ile amino asit ihtiyaçları ve verim özellikleri (g/dönem/hayvan)

Dönem	Protein	Lizin	KKA	CAA, g	Yem tüketimi, g	YYO
0-4 haftalar	208	11,3	8,1	480	890	1,85
5-8 haftalar	412	20,7	19,1	825	1970	2,39
9-11 haftalar	242	12,2	11,7	430	1820	4,23
12.hafta	75	3,2	3,2	95	590	6,20
13.hafta	70	3,0	3,0	75	530	7,07
0-11 haftalar	862	44,2	38,9	1735	4680	2,70
0-12 haftalar	937	47,4	42,1	1830	5270	2,88
0-13 haftalar	1007	50,4	45,1	1905	5800	3,05

* 20oC çevre sıcaklığında; 3100 kkal/kg ME içeren karma yem verilmiştir (Yıldırım, 2009).

KKA: Kükürtlü amino asit, CAA: canlı ağırlık artışı, YYO: Yemden yararlanma oranı

Çizelge 7. Beç tavuklarının 100 g canlı ağırlık artışı için protein, lizin ve kükürtlü amino asit ihtiyaçları (g)

Yaş (hafta)	Protein	Lizin	Kükürtlü Amino Asit
0-4	43,4	2,37	1,68
4-8	50,0	2,51	2,32
8-11	56,3	2,82	2,73

Leclercq ve ark. (1975); Yıldırım (2009)

Çizelge 8. Etlik Beç tavuklarının karma yemlerine katılacak oligo element ve vitamin düzeyleri

İz elementler (ppm)	Başlangıç	Gelişme ve bitiş
Demir	25	15
Bakır	3	2
Çinko	40	25
Manganez	70	50
Kobalt	0,15	-
Selenyum	0,15	-
İyot	1	1
Vitaminler		
Vitamin A (UI/kg)	12000	10000
Vitamin D1 (UI/kg)	200	1000
Vitamin E (ppm)	25	12
Vitamin K3 (ppm)	3	2
Riboflavin (ppm)	5	5
Pantotenik asit (ppm)	8	8
Niasin (ppm)	30	15
Pridoksin (ppm)	1	-
Biyotin (ppm)	0,2	-
Folik asit (ppm)	0,2	-
Vitamin B12 (ppm)	0,01	0,01
Kolin klorür (ppm)	500	250

Yıldırım (2009)

7. PAZARLAMA

Beç tavukları, yetiştirildikleri ülkelerde büyük ölçüde özel tüketim amaçlarına yönelik olarak pazarlanmaktadır. Bu türün üretiminin yapıldığı bölgelerde, Beç tavuğu etine olan talep yılın belirli dönemlerinde artış göstermekte ve buna bağlı olarak kesim ve satış zamanları da genellikle planlı şekilde gerçekleştirilmektedir. Pazarlama sürecinde Beç tavukları çoğunlukla canlı olarak kesimhanelere sevk edilmekte, kesim işlemlerinin ardından elde edilen karkaslar doğrudan tüketiciye sunulmaktadır.

Canlı hayvan olarak pazarlanan Beç tavuklarında kesim, soğutma veya dondurma, paketleme ve dağıtım işlemleri belirli bir organizasyon çerçevesinde yürütülmektedir. Bu süreçlerin ardından ürünler restoranlara, otellere veya perakende satış noktalarına ulaştırılmaktadır. Özellikle lüks restoranlar ve oteller, Beç tavuğu etinin başlıca pazarını oluşturmaktadır.

Beç tavukları genellikle 15 haftalık yaşta pazara sunulmakla birlikte, bazı durumlarda satış yaşı 16–18 haftaya kadar uzayabilmektedir. Bu yaş aralığında canlı ağırlıklar çoğunlukla 1500–1700 g arasında değişmekte, kesim sonrası elde edilen karkas ağırlıkları ise yaklaşık 1200–1400 g düzeylerinde olmaktadır. Tüketici tercihleri incelendiğinde, özellikle yaklaşık 900 g ağırlığa sahip karkasların daha fazla talep gördüğü bildirilmektedir.

8. HASTALIKLAR VE STRESİN ÖNLENMESİ

Evcil Beç tavukları, henüz tam anlamıyla evcilleştirilmemiş olmaları nedeniyle yabani atalarına benzer biçimde yüksek çevresel dayanıklılık özelliklerini büyük ölçüde korumaktadır. Bu durum, Beç tavuklarının ticari hibrit kanatlılara kıyasla pek çok zararlıya ve hastalığa karşı daha toleranslı olmasını sağlamaktadır. Örneğin Newcastle hastalığına karşı Beç tavuklarının, ticari tavuklara göre daha yüksek dayanıklılık gösterdiği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra Enfeksiyöz Bronşit, Çiçek Hastalığı, Koksidiyoz, paraziter enfestasyonlar, Tavuk Kolerası ve Kronik Solunum Yolu Hastalığı gibi ticari tavuklarda yaygın olarak görülen birçok hastalığa karşı da nispeten daha dirençli oldukları ifade edilmektedir.

Beç tavuğu ölümlerinin başlıca nedenleri arasında zehirlenmeler, yırtıcı hayvan saldırıları, bireyler arası kavgalar, yetersiz beslenme koşulları ile aşırı sıcak veya aşırı soğuk çevre şartları yer almaktadır. Bununla birlikte stres faktörleri, Beç tavuklarının hayatta kalma oranları, gelişme performansları ve verim özellikleri üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Her ne kadar Beç tavukları doğaları gereği sağlam yapılı hayvanlar olsa da, stres koşullarının bağışıklık sistemini baskılayarak hastalıklara yatkınlığı artırabildiği bilinmektedir. Bu nedenle Beç tavuğu yetiştiriciliğinde stres faktörlerinin en aza indirilmesi ve uygun yönetim önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır.

A. Aşırı Gürültü ve Ani Seslerden Koruma

Beç tavukları, yabancı ve ani seslere karşı son derece hassas hayvanlardır. Bu nedenle kümeslerin inşaat alanları, sanayi bölgeleri veya yoğun trafik bulunan ana yolların yakınına kurulmasından kaçınılmalıdır. Kümes çevresine rüzgâr kırıcı veya çit benzeri yapılar yerleştirilerek çevresel gürültünün azaltılması mümkündür. Ayrıca gece saatlerinde kümes içi ve

çevresinin mümkün olduğunca sakin tutulması, hayvanların strese girmesini önleyici bir uygulama olarak değerlendirilmektedir.

B. Yerleşim Sıklığının Uygun Düzeyde Tutulması

Kanatlı hayvan yetiştiriciliğinde yerleşim sıklığının artması, stresin en önemli kaynaklarından biridir. Hayvan başına düşen alanın azalması, yem ve suya erişim için rekabeti artırmakta; bu durum Beç tavuklarında gagalama, kovalamaca ve agresif davranışların artmasına neden olmaktadır. Gagalama sonucu oluşan yaralanmalar ve kanamalar, kanibalizm riskini yükseltmektedir. Bu nedenle kümes içerisinde tavuk başına en az 0,3–0,5 m² alan ayrılması, serbest (free range) sistemlerde ise hayvan başına 4–5 m² açık alan sağlanması önerilmektedir.

C. Güvenli Saklanma Alanlarının Sağlanması

Beç tavukları tehdit algıladıklarında yoğun stres yaşamakta ve saklanma eğilimi göstermektedir. Bu davranışın karşılanabilmesi amacıyla kümes içinde tahta sandıklar, bölmeler veya çalı demetleri gibi saklanma alanlarının oluşturulması önerilmektedir. Açık alanlarda ise çalılık, gölgelik veya örtü tüneli gibi sığınakların bulunması, hayvanların kendilerini daha güvende hissetmelerine katkı sağlamaktadır.

D. Düzenli ve Dengeli Beslenme

Stres koşullarında Beç tavuklarında ilk etkilenen sistemlerin başında beslenme düzeni ve sindirim sistemi gelmektedir. Bu nedenle hayvanların her zaman temiz ve yeterli miktarda suya erişimi sağlanmalı, dengeli besin içeriğine sahip rasyonlar kullanılmalı ve ani yem değişikliklerinden kaçınılmalıdır. Gerekli görüldüğü durumlarda vitamin ve mineral takviyelerinin uygulanması, stresin olumsuz etkilerini azaltmada yardımcı olmaktadır.

E. Sürünün Aşırı Rahatsız Edilmesinden Kaçınılması

Beç tavukları, doğaları gereği sık dokunulmayı ve ani hareketleri tolere edememektedir. Yakalama ve taşıma işlemlerinin mümkün olduğunca akşam saatlerinde veya alacakaranlıkta gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu zaman dilimlerinde hayvanların daha sakin olduğu ve stres düzeylerinin daha düşük

seyrettiği bildirilmektedir. Ayrıca Beç tavuklarının kovalanmasından kaçınılması, stresin azaltılması açısından önem taşımaktadır.

F. Yırtıcı Hayvan ve Tehdit Algısının Azaltılması

Beç tavukları, köpek, tilki, kedi ve yırtıcı kuşlar gibi potansiyel tehditleri algıladıklarında hızla kaçma ve uçuş davranışı sergilemektedir. Bu durum sürüde yoğun panik ve stres oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle Beç tavuklarının bulunduğu alanların yaklaşık 2 m yüksekliğinde çitlerle çevrilmesi ve üst kısımlarının ağ benzeri malzemelerle kapatılması, yırtıcı hayvan kaynaklı stresi azaltmada etkili bir önlem olarak değerlendirilmektedir.

G. Düzenli Günlük Rutin Oluşturulması

Her ne kadar ürkek yapılı hayvanlar olsalar da Beç tavukları günlük rutinlere kısa sürede uyum sağlayabilmektedir. Yemleme, sulama, kümesin açılıp kapatılması gibi günlük işlemlerin mümkün olduğunca aynı saatlerde ve düzenli şekilde yapılması, hayvanların çevresel değişimlere karşı daha az stres yaşamasını sağlamaktadır. Bu işlemlerin zamanlarının sık sık değiştirilmemesi önerilmektedir.

H. Sürü İçindeki Sosyal Düzenin Korunması

Beç tavukları kendi aralarında hızlı bir şekilde hiyerarşik bir sosyal yapı oluşturmaktadır. Sürüye aniden çok sayıda yeni bireyin katılması, bu düzenin bozulmasına ve stres düzeyinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sürüye eklenecek yeni Beç tavuklarına yaklaşık iki haftalık bir karantina süresi uygulanması ve bireylerin göz teması sağlanarak kademeli şekilde ana sürüye alıştırılması önerilmektedir.

SONUÇ

Beç tavuğu, Afrika kıtasının büyük bölümünde doğal olarak yayılış gösteren ve özellikle küçük ölçekli aile işletmelerinde önemli bir yere sahip olan bir kanatlı türüdür. Günümüzde ise organik ve alternatif hayvancılık sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte Beç tavukları, sadece geleneksel üretim alanlarında değil, aynı zamanda ticari üretim sistemlerinde de giderek daha fazla ilgi görmektedir. Anavatanı Afrika olmasına rağmen, Fransa, Belçika, İtalya, Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya gibi ülkelerde Beç tavuğu

yetiştiriciliğinin hızla gelişmesi, bu türün farklı üretim koşullarına uyum sağlayabilme kapasitesini açıkça ortaya koymaktadır.

Beç tavuklarının en önemli avantajları arasında; farklı iklim koşullarına yüksek adaptasyon yetenekleri, sınırlı bakım ve besleme koşullarında dahi ekonomik düzeyde verim verebilmeleri ve ticari hibrit tavuklara kıyasla birçok hastalığa karşı daha yüksek dayanıklılık göstermeleri yer almaktadır. Ayrıca, yarı entansif ve serbest (free range) yetiştirme sistemlerine uygun olmaları, bu türü özellikle organik hayvancılık uygulamaları açısından cazip bir alternatif hâline getirmektedir.

Kırsal bölgelerde bulunan küçük aile işletmelerinde Beç tavuklarının yetiştirilmesi, yalnızca et ve yumurta üretimiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda çevredeki böcek, kene, larva ve hatta küçük yılanların tüketilmesi yoluyla biyolojik mücadeleye katkı sağlamaktadır. Güçlü gagaları ve pençeleri sayesinde yabancı otların ezilerek baskılanabilmesi, bu türün çevresel yönetim açısından da dolaylı faydalar sunduğunu göstermektedir. Bu özellikler, Beç tavuklarının sürdürülebilir tarım sistemleri içerisinde çok yönlü bir üretim unsuru olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, Beç tavuğu yetiştiriciliğinin özellikle kırsal alanlarda alternatif kanatlı üretimi kapsamında önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Serbest sistemlere uygunluğu, düşük girdi gereksinimi ve çevresel koşullara dayanıklılığı, Beç tavuklarının aile işletmelerinde et ve yumurta üretimi amacıyla yaygınlaştırılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu türün genetik kaynak olarak taşıdığı değer, yapılacak ıslah çalışmalarıyla verim özelliklerinin daha da geliştirilebileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, Beç tavukları; üretim maliyetlerinin azaltılması, organik ve sürdürülebilir hayvancılığın desteklenmesi ve kırsal kalkınmanın teşvik edilmesi açısından değerlendirilmesi gereken önemli bir alternatif kanatlı türüdür. Bu kapsamda Beç tavuklarıyla ilgili bilimsel çalışmaların artırılması, yetiştirme tekniklerinin geliştirilmesi ve ıslah programlarının yaygınlaştırılması, bu genetik kaynağın daha etkin biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adjeter, A.N.A. 2006. Comparative growth performance of growing indigeneous Guinea fowl (*Numida meleagris*) from the upper East, upper West and Northern regions of Ghana. BSc. Thesis. University for Development Studies, Department of Animal Science, Tamale, Ghana.
- Agwunobi, L.N., Ekpenyong, T.E. 1991. Protein and energy-requirements for starting and finishing broiler Guinea-fowl (*Numida meleagris*) in the Tropics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55: 207-213.
- Alkan, S., Karşı, T., Galiç, A., Karabağ, K. 2013. Determination of phenotypic correlations between internal and external quality traits of Guinea fowl eggs. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19: 861-867.
- Aleandri, M., Olivetti, A. 1982. Rearing Guinea fowls for meat in floor pens and batteries. Preliminary experimental results. *Atti-della Societa Italiana delle Scienze Veterinarie*, 32: 394.
- Aranjör, I.C.S., Lucas, L.R., Machado, J.P., Mesquita, M.A. 2019. "Macroscopic embryonic development of Guinea fowl compared to other domestic bird species." *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48: 8. doi:10.1590/rbz4820190056.
- Ayorinde, K. L. 1987. "Effect of holding room, storage position and duration on hatchability of Guinea fowl eggs." *Tropical Agriculture*, 64.
- Ayorinde, K.L., Oluyemi, J.A., Ayeni, J.S.O. 1988. Growth performance of four indigeneous helmeted quinea fowl varieties. *Bulletin of Animal Health and Production Africa*, 36: 356-360.
- Ayorinde, K.L, Ayeni, J.S.O., Oluyemi, J.A. 1989. Laying characteristics and reproductive performance of four indigeneous helmeted Guinea fowl varieties (*Numidia meleagris galeata pallas*) in Nigeria. *Tropical Agriculture*, 66 (3): 277-280.
- Baeza, E., Juin, H., Rebours, G., Constantin, P., Marche, G., Leterrier, C. 2001. Effect of genotype, sex and rearing temperature on carcase and meat quality of Guinea fowl. *British Poultry Science*, 42: 470- 476.
- Bell M, Smith K. 2003. Guinea fowl production. Agency for Food and Fibre Science. Ed. Paul Kent. The State of Queensland (Department of primary Industries), 3 sayfa.

- Belshaw, R.H. 1985. Guinea fowl of the world” world of ornithology”. Minirod Book Services, Hampshire, England.
- Bernacki, Z., Kokoszynski, D., Bawej, M. 2013. “Laying performance, egg quality and hatching results in two Guinea fowl genotypes.” *Archiv fur Geflugelkunde*, 77: 109–115.
- Binali, W., Kanengoni, E. 1998. Guinea fowl production. A training manual produced for the use by farmers and rural development agents. Agritex, Harare, 35 sayfa.
- Blum, J.C., Guillaume, J., Leclercq, B. 1975. Studies of the energy and protein requirements of the growing Guinea-fowl. *British Poultry Science*, 16(2): 157-168.
- Blum, J.C., Leclercq, B. 1976. Besoins du pintadeau de chair en lysine et en acides aminés soufrés pendant les périodes de croissance et de finition. *Ann. Zootech.* 25: 397-406.
- Bonds, H. 1997. Alternative farming: A “United Nations” of alternative farming on the Mornington Peninsula, Available: [www.independentnewsgroup.com.au /archive/helmi/](http://www.independentnewsgroup.com.au/archive/helmi/), pp 1.
- Branckaert, R.D.S., Gue’ye, E.F. 1999. FAO’s program for support to family poultry production. Proceedings of a Workshop: Poultry as a tool in poverty eradication and promotion of gender quality held at tune landboskole, Denmark, March 22-26, sayfa 244-256.
- Brijesh, S., Husain, K.Q., Varma, S.K., Singh, B. 1999. Effect of strain and sex on the carcass yield of Guinea fowl. *Indian Journal of Poultry Science*, 34:277-279.
- Cappa, V., Casati, M. 1978. Experiments of growing Guinea fowl, amino acid composition of the carcass. *Avicoltura*, 47(3):21-29.
- Chivandi, E., Mbundure, A., Mufumisi, T. 2002. Guinea fowl farming- A promising livestock enterprise. Department of Agricultural Research and Extension, Ministry of Agriculture, Zimbabwe. 2 sayfa.
- Crowe, T.M, Elbin, SB. 1987. Social behaviour of Helmeted Guinea fowl *Numida meleagris*. *South African Journal Wild Rescue Supplement*, 1:55–57.
- Dieng, A., Gue’ye, EF., Mahoungou-Mouelle, N.M., Buldgen, A. 1999. Effect of diet and poultry species on feed intake and digestibility of nutrients in Senegal. *Livestock Research for Rural Development*, 10 (3): 5-9.

- Dondofema, F. 2000. A Survey of agricultural production and marketing in Nenyunga Communal Lands with special emphasis on livestock. BSc., Hons. Dissertation, University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe. pp 30.
- Embury, I. 2001. Raising Guinea fowl. Agfact. A5.0.8. New South Wales Agriculture Publications, New South Wales, USA, pp 4.
- Ensminger, M.E., Oldfield, J.E., Heinemann, W.W. 1990. Feeds and Nutrition. The Ensminger Publishing Company, Clovis.
- Fanatico, A. 1998. Sustainable chicken production. Livestock Production Guide. Appropriate Technology for Rural Areas, National Centre for Appropriate Technology, US Department of Agriculture, Arkansas, USA, pp 12.
- Fani, A.R, Lotfollan, H, Ayazi, A. 2004. Evaluation in economical traits of Iranian native Guinea fowl (*Numida meleagris*). The Joint Agriculture and Natural Resources Symposium, Tabriz-Ganja, Iran.
- Feltwell, R.1992. Small-scale poultry keeping. A guide to free range poultry production. Faber and Faber Limited. Sayfa: 142-143.
- Hien, O.C., Boly, H., Brillard, J.P., Diarra, B., Sawadogo, L. 2002. Effects of preventive medical treatments on the productivity of local Guinea fowl (*Numida meleagris*) in the sub-humid region of Burkina Faso. *Tropicultura*, 20:23-28.
- Houndonougbo, P.V., Bindelle, J., Chrysostome, C.A.A.M, Hammami, H., Gengler, N. 2017. Characteristic of Guinea fowl breeding in West Africa: A review. *Tropicultura*, 35: 222-230.
- Jamenot, P., Galor, S.A. 1994. La Pintade: An unknown product. *Misset World Poultry*,10: 10-13.
- Kabera, C. 1997. Breeding Guinea fowl in Vhumba. *The Farmer*, 67 (12): 16-17.
- Kitalyi, A.J. 1999. Family poultry management systems in Africa. The First INFPD/FAO Electronic Conference on Poultry, 3: 1-6.
- Kouame, Y.A.E., Nideou, D., Kouakou, K., Tona, K. 2019. Effect of Guinea fowl egg storage duration on embryonic and physiological parameters, and keet juvenile growth. *Poultry Science* 98 (11): 6046–6052.
- Kusina, N.T., Saina, H., Lebel, S. 2012. An insight into Guinea fowl rearing practices and productivity by Guinea fowl keepers in Zimbabwe. *African Journal of Agricultural Research*, 7(25):3521–3625.

- Leclercq, B., Larbier, M., Blum, J.C. 1975. Emploi de la DL méthionine et de la L-lysine HCl pour réduire l'apport alimentaire de protéines chez le pintadeau de chair. *Ann. Zootechn.* 24: 229-235.
- Lopes, I.R.V., Fuentes, M.D.F.F., De Sousa, F.M., Espindola, G.B., Neto, J.L.V. 1996. Energy and protein levels in initial diets for Guinea fowl (*Numida meleagris*). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 31 (2):83-87.
- López-Pedrouso, M., Cantalapiedra, J., Munekata, P.E.S., Barba, F.J., Lorenzo, J.M.L., Franco, D. 2019. Carcass characteristics, meat quality and nutritional profile of pheasant, quail and Guinea fowl. In *More Than Beef, Pork and Chicken-The Production, Processing, and quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet*, edited by J. M. Lorenzo, P. E. S. Munekata, F. J. Barba, and F. Toldrá, 269–311. Cham: Springer International Publishing.
- Mallia, J.D. 1999. Observations on family poultry units in parts of Central America and sustainable development opportunities. *Livestock Research for Rural Development*, 11 (3): 10.
- Mandal, A.B., Pathak, N.N., Singh, H. 1999. Energy and protein requirements of Guinea keets (*Numidia meleagris*) as meat birds in a hot climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 523-531.
- Mohamed, A.E., Elhag, Z.M.M., Mohamed, A.S. 2012. Guinea fowl (*Numida Meleagris*) as a meat bird. *International Journal of Sudan Research*, 2(1):97-112.
- Mundra, B.L., Raheja, K.L., Singh, H. 1993. Genetic and phenotypic parameter estimates for growth and conformation traits in Guinea fowl. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 63 (4): 445- 450.
- Musundire, M.T., Halimani, T.E., Chimonyo, M. 2018. Effect of age and sex on carcass characteristics and internal organ weights of scavenging chickens and Helmeted Guinea fowls. *Journal of Applied Animal Research*, 46 (1): 860–867.
- Mwale, M., Mupangwa, J.F., Mapiye, C., Saina, H., Chimvurama, J. 2008. Growth performance of Guinea fowl keets fed graded levels of Baobab seed cake diets. *International Journal of Poultry Science*, 7 (5): 429- 432.
- Nwagu, B.I., Alawa, C.B.I. 1995. Guinea fowl production in Nigeria. *World Poultry Science Journal*, 51: 260-270.

- Nwagu, B.I. 1997. Factors affecting fertility and hatchability of Guinea fowl eggs in Nigeria. *World Poultry Science Journal*, 53: 279-285.
- Okyere, K., Agyemang, J.K.K., Annor, S.Y., Ameyaw, A.A., Kyere, C.G., Fiashide, N., Setsiwah, W. 2020. Effects of graded dietary protein on growth and laying performance of Pearl Guinea fowl (*Numida meleagris*). *Journal of Applied Life Sciences International*, doi:10.9734/jalsi/2020/v23i630168.
- Payne, A. 1990. An introduction to animal husbandry in the tropics. 4th edition publication. Longman Group Limited. Singapur. Sayfa:739-740.
- Petek, M. 2004. Bilinmeyen Bir Ürün: Beç Tavuğu. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23 (2004), 1-2-3: 127-129.
- Prinsloo, H.C., Harley, V., Reilly, B.K., Crowe, T.M. 2005. Sex-related variation in morphology of Helmeted Guinea fowl (*Numida meleagris*) from Riemland of the Northeastern Free State. *South African Journal of Wildlife Research*, 35: 96–98.
- Rafiu, T. A., Adetutu, O.I., Adesoye, F.A., Adeniji, O.J., Oluwafemi, E.O. 2021. Performance characteristics and meat quality assessment of Guinea fowl fed varied levels of dietary Protein. *Nigerian Journal of Animal Production*, 48 (5): 135–142.
- Robinson R. 2000. Regulatory impact analysis. Canadian Food Inspection Agency. Ontario. Canada, pp 3.
- Say R.R. 1987. Manual of poultry production in the tropics. CAB International, United Kingdom, pp 112-113.
- Saina, H. 2001. Livestock production in the semi-arid smallholder farming area of Chirisa in Midlands Province of Zimbabwe. BSc. Honours. Dissertation. University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe.
- Singh, H., Raheja, K.L. 1990. Genetic estimates of cholesterol and high density lipid components in indigenous Guinea fowl serum. *Proceedings of XII Annual Conference and Symposium of Indian Poultry Science Association*. Bombay Veterinary College, Bombay, India.
- Smith, A.J. 1990. The tropical agriculturist: Poultry. McMillan, London and Basingstoke. 218 sayfa.
- Somes, R.G. 1996. Guinea fowl plumage color inheritance, with particular attention on the dun color. *The Journal of Heredity*, 87 (2): 138-142.

- Tewe, O. O. 1983. Replacing maize with plantain peels in diets for broilers. *Nutr. Rep. Int.*, 28 1: 23-29.
- Teye, G.A., Gyawu, P. 2002. A guide to Guinea fowl production in Ghana. Department of Animal Science. University for Development Studies, Tamale, Ghana. 14 pp.
- Tufarelli, V., Dario, M., Laudadio, V. 2007. Effect of xylanase supplementation and particle-size on performance of Guinea fowl broilers fed wheat-based diets. *International Journal of Poultry Science*, 4:302–307.
- Van Niekerk, J.H. 2010. Social organization of a flock of Helmeted Guinea fowl (*Numida meleagris*) at the Krugersdorp Game Reserve, South Africa. *Chinese Birds*, 1(1):22-29.
- Vivek, P., Brijesh, S., Kumar, D., Sarma, R.K., Himansu, P., Porwl, V., Singh, B., Pandey, H. 2002. Genetic studies on growth and conformation traits of Guinea fowl. *Indian Journal of Poultry Science*, 37:179-180.
- Yakubu, K., T. Ibrahim, T., Egbo, M.L., Shuaibu, A., Umar, H.A. 2019. Some factors affecting incubation parameters of Guinea fowl (*Numida meleagris*) eggs. *Nigerian Journal of Animal Science and Technology*, 2: 97–106.
- Yıldırım A. 2009. Etlik Beç tavuklarının beslenmesi. *Hayvansal Üretim*, 50(2):60-65.

BÖLÜM 17

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ'NİN EKONOMİK BÜYÜME VE İSTİHDAMA ETKİSİ

Doç. Dr. Şakir İŞLEYEN¹
Sercan DÜZGÜN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18133357>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri ABD, Van, Türkiye. sakirisleyen@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-8186-1990

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri ABD, Van, Türkiye. sercanduzgun65@gmail.com. Orcid ID: 0000-0002-4553-2022

GİRİŞ

Sanayi devrimi ile birlikte dünyada yaşanan sosyo-ekonomik dönüşüm ülkeleri fosil enerji kaynaklarına bağımlı hale getirmektedir. Ekonomik büyümenin önemli bir dinamiği olan fosil enerji kaynağı kullanımında artışa da bağlı olarak sera gazı emisyonu da artmaktadır. Artan karbon emisyonu, küresel ısınmaya neden olmakta ve dolaylı ve doğrudan çevresel etkileri yanısıra kuraklık ve kıtlık gibi etkileri de mevcuttur (Besnili Memiş ve Aydını 2023: 1066).

2. Dünya Savaşı'ndan bu yana artan sanayi üretimi, 1980 sonrasında Neo-Klasik iktisat akımı çerçevesinde artan küreselleşme ve kapitalizm süreci doğal kaynakların aşırı kullanımı, artan nüfus, bozulan ekolojik denge ve çevrenin tahribatı gibi faktörler küresel ısınmaya yol açmaktadır bu durum gelecek nesillerin yaşam alanlarını sürdürülebilirliği açısından bir belirsizlik oluşturmaktadır. Bu belirsizlik süreci ve meydana getirdiği olumsuz etkiler, 'Yeşil Ekonomi' kavramını ortaya çıkarmıştır. Artan küresel ısınma etkisiyle bozulan ekolojik denge dünya üzerinde yaşayan tüm canlıların geleceğini tehdit etmektedir. Sürdürülebilir büyüme ve kaynakların etkin kullanılabilmesi için yeşil ekonomiye geçiş sürecini zorunlu kılmaktadır. Çevresel bozulmayı en aza indireyen, iş sağlığı ve güvenliğini önceleyen toplumsal refahı ve eşitliği arttıran bir ekonomik sistem olarak 'Yeşil Ekonomi' kavramının önemi vurgulanmaktadır. 'Yeşil işler', bazı sektörlerde yeni istihdam alanları oluştururken bazı sektörlerde de istihdam düşüşüne neden olabilmektedir. Yeşil işler çevreyi, doğayı, ekosistemi korunması ve enerjinin verimli kullanılması amacıyla ekosistemi korumaya (atık ve kirliliği azaltmak, sera gazı emisyonun azaltmak amacıyla) yönelik yasal düzenlemeleri de içermektedir (Kavurmacı, 2022).

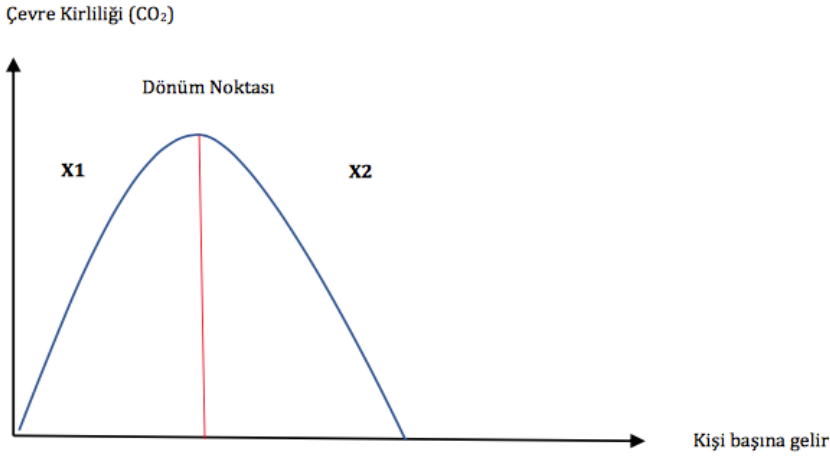
20. yy başlangıcı itibariyle ve İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde dünyada ülkelerin büyümesiyle artan enerji ihtiyacı etkisiyle kömür, petrol gibi fosil enerji yakıtlarına ve artan nüfus artışıyla ve teknolojiye yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte hammadde ihtiyacına bağlı olarak su ve hava kirliliği gibi birçok çevre problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Başoğlu, 2014). Stern (2006, 2008) tarafından ifade edildiği üzere, hava olaylarındaki düzensiz değişiklikler, kalıcı sıcaklık artışı ve yağış düzeninde meydana gelen değişimler, ekonomik büyüme ve işgücü verimliliği üzerinde tarımsal çıktı

düzeyinde düşüş, sanayi üretimi için hammadde tedarik zincirinde bozulma, işgücü verimliliğinde ve sermaye stoğunda azalma, yatırım ve hasıla düzeyinde düşüş gibi az gelişmiş ülkeler için telafisi mümkün olmayan yıkıcı makroekonomik etkilere sahiptir. Uzun dönemde uyum (adoption) ve sınırlama (mitigation) politikaları gibi uygulamalarla etkileri indirgenebilmektedir (Kızılkaya ve Mike, 2023: 404).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2018 ve 2019 yılında yayınlamış olduğu İklim Değişikliği Arazi Okyanus ve Kriyosfer özel raporlarında, 1.5 Derece iklim değişikliğinin etkilerinin her zamankinden daha hızlı bir biçimde arttığı ifade edilmektedir. İklim krizi ile mücadelede gerekli adımların atılmaması durumunda 21.yüzyıl sonunda küresel yurt içi gayrisafi hasılda %11'lik bir düşüşe neden olabileceği ifade edilebilmektedir.

1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ

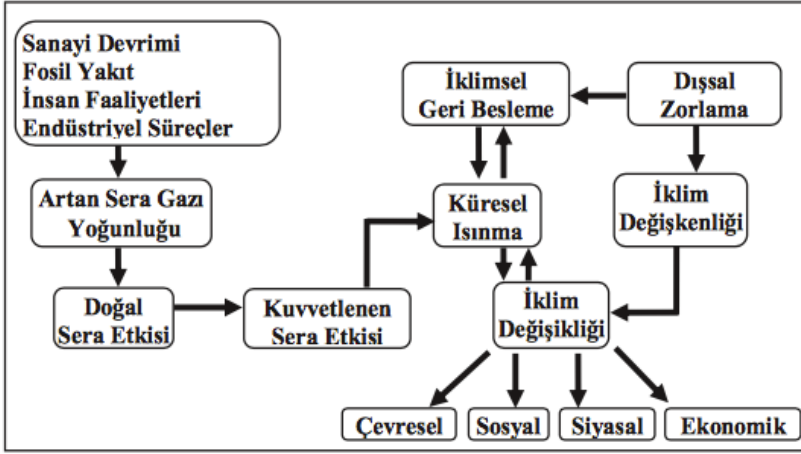
Uluslararası Çalışma Örgütü'nden (ILO) elde edilen veriler doğrultusunda, iklim değişikliği krizinin küresel ölçekte ekonomik etkileriyle mücadelede azaltım politikalarının uygulanmasının etkileri yanı sıra, uyum (adaptasyon) politikalarının etkilerinin önemli bir payı mevcuttur. Avrupa Komisyonu iklim kriziyle mücadeleye yönelik geliştirilen uyum politikalarının, yeni iş olanakları sağlamada çok önemli etkilerinin olduğunu söylenebilmektedir. İklim kriziyle mücadelede yeterli görülmeyen referans uyum senaryoları dahi AB sınırları içerisinde yarım milyon yeni istihdam olacağı yaratma kapasitesinin olduğu belirtilmektedir. Bu denli bir istihdam düzeyi AB'nin mevcut istihdam edilen nüfusunun % 0.2'sine denk gelmektedir (<https://www.iklimin.org>).



Şekil 1. Çevresel Kuznets Eğrisi

Kaynak: Akyol, 2022: 184.

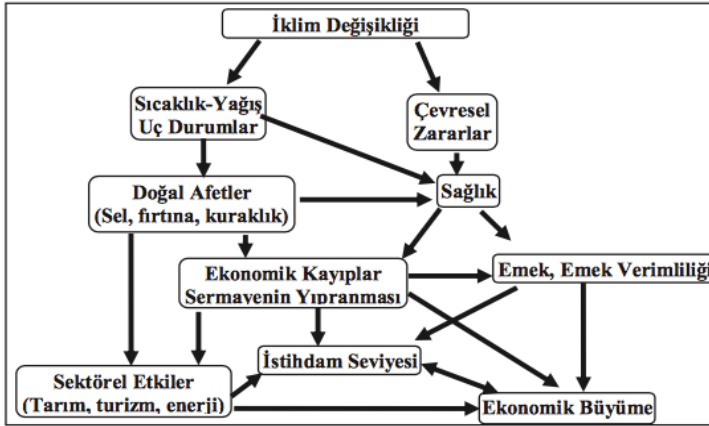
Şekil 1’de, X1 çevresel bozulmayı X2, çevresel korumayı ifade etmektedir. Kuznets (1955) tarafından geliştirilen Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezine göre, ters-U şeklinde olan bu eğriye göre, kalkınmanın başlangıç aşamalarında çevresel kirlilik artmakla birlikte çevresel bozulma da artmaktadır. İlerleyen dönemlerde artan kalkınma düzeyine bağlı olarak çevreye verilen zarar azalmakta ve çevresinin korunması aşamasına geçilmektedir. Grossman ve Krueger (1991) ticaret ve dış yatırım politikasında bir değişim, kirlilik seviyesini kıt çevresel kaynakların tükenme oranını etkileyen ölçek, kompozisyon ve teknik etki olmak üzere üç farklı mekanizma ile izah edilmektedir. Artan gelir düzeyi ekonominin yapısında değişime neden olmakta ve aşamalı bir biçimde çevreye daha az veren ekonomik faaliyetlerin oranı artmaktadır. Yapısal dönüşümün son aşamasında enerji yoğunluğunun yüksek olduğu sanayi sektöründen teknolojinin yoğun kullanıldığı hizmet ve bilgi sektörlerine geçiş artmaktadır (Akyol, 2022: 183).



Kaynak: Başoğlu, (2014: 177).

Şekil 2. İklim Değişikliği Süreci

Şekil 2'ye göre, Sanayi Devrimi sonrası dönemde ülkelerin artan büyüme istekleri, yaşanan hızlı teknolojik gelişmelerin etkisiyle makineleşme ve nüfus artışı, kentleşme etkisiyle yoğun enerji kullanımı ihtiyacını da beraberinde getirmektedir (Başoğlu 2014).



Kaynak: Başoğlu, (2014: 178).

Şekil 3. İklim Değişikliği Süreci

Şekil 4'de iklim değişikliğinin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri ifade edilmektedir. Artan sıcaklık artışı ve yağış biçiminde yaşanan değişimler, aşırı kuraklık, sel ve fırtına şeklinde görüleceği gibi artan doğal afetlerin sıklığı

önemli ekonomik kayıpları da berbaberinde getirmektedir. Tarım ve turizm sektörleri doğrudan iklim de değişikliğinden etkilenirken, enerji sektörü dolaylı bir biçimde iklimle ilişkilendirilmektedir (Başoğlu, 2014).

1.1. Kaya Özdeşliği Yaklaşımı

Kaya özdeşliği, Japon enerji ekonomisti Yoichi Kaya ve bir takım karbon uzmanı tarafından geliştirilmiş bir özdeşliktir. Kaya özdeşliği, karbon yoğunluğu, enerji yoğunluğu, kişi başı gayrisafi yurt içi hasıla ve nüfus olmak üzere dört farklı değişkenle tanımlanmaktadır. Bu özdeşlik ile belirli bir ülkenin ya da insanlığın neden olduğu karbon emisyonunun hesaplanmasında kullanılır. Karbon (CO₂) emisyonlarının azaltılabilmesi için izlenecek olası stratejiler, Kaya özdeşliği ile belirlenebilmektedir. Kaya özdeşliği, CO₂ emisyonlarının, enerji tüketimi ve karbon yoğunluğunu etkileyen faktörlerle parçalara ayrılmasına imkan tanımaktadır (Tol, 2019: 18; Udalov, 2019: 2; van Kooten, 2013: 272; Özdemir ve Işık, 2022).

$$CO_2 \equiv \frac{Y}{P} \times P \times \frac{E}{Y} \times \frac{CO_2}{E} \quad (1)$$

1 no'lu denkleme göre, karbon emisyonları, enerjinin karbon yoğunluğunun $\frac{CO_2}{E}$ ve enerji tüketimini etkileyen, kişi başına GSYİH $\frac{Y}{P}$, nüfus P ve enerji yoğunluğu $\frac{E}{Y}$ gibi faktörlerin bir ürünü olarak tanımlanabilmektedir. Dolayısıyla, karbon emisyonları enerji tüketim seviyesine ve enerji bileşiminin yapısına bağlı olmaktadır (Özdemir ve Işık, 2022).

Kaya özdeşliği ile karbon emisyonlarının, kişi başına düşen gelir ve enerji yoğunluğunun (ekonomik faaliyetin birimi başına enerji kullanımı) ve karbon yoğunluğunun (enerji kullanım birimi başına emisyon) çarpımına eşit olduğu denklemde ayrıştırılarak denklem çözümlenmiştir. Elde edilen bu yeni özdeşlikte denklemin sağ tarafında paydaki ve paydadaki $\frac{Y}{P}$ 'yi, $\frac{E}{Y}$ 'yi, $\frac{CO_2}{E}$ 'yi götürmektedir ve nihayetinde $CO_2=CO_2$ eşitliği kalmaktadır (Tol, 2019: 18; Özdemir ve Işık, 2022).

Denklem (1)'de eşitliğin her iki tarafındaki değişkenler için zaman değişkenine göre birinci dereceden kısmi türevini alınarak denklem 1.1 elde edilmektedir.

$$\frac{\delta CO_2}{\delta t} = \frac{\delta \left(\frac{Y}{P}\right)}{\delta t} + \frac{\delta P}{\delta t} + \frac{\delta \left(\frac{E}{Y}\right)}{\delta t} + \frac{\delta \left(\frac{CO_2}{E}\right)}{\delta t} \quad (1.1)$$

Buradan elde edilen sonuç ise, emisyonların büyüme hızı, nüfusun büyüme hızı ve kişi başına gelirin büyüme hızı, enerji yoğunluğunun büyüme hızının toplamının karbon yoğunluğunun büyüme hızına eşit olduğunu ifade etmektedir (Tol, 2019: 18; Özdemir ve Işık, 2022). 1971-2013 yılları arasında yapılan ölçümde dünya karbon emisyonundaki artış denklem 1.2 ile hesaplanmıştır (Özdemir ve Işık, 2022).

$$\frac{\delta CO_2}{\delta t} (\% + 2) = \frac{\delta \left(\frac{Y}{P}\right)}{\delta t} (\% + 1,8) + \frac{\delta P}{\delta t} (\% + 1,5) + \frac{\delta \left(\frac{E}{Y}\right)}{\delta t} (\% - 1,4) + \frac{\delta \left(\frac{CO_2}{E}\right)}{\delta t} (\% + 0,1)$$

Denklem 1.2'den elde edilen Kaya özdeşliğine göre, incelenen 1971-2013 döneminde, Nüfus artış düzeyi yıllık ortalama %1,5 oranında artarken, kişi başına karbon emisyon oranı ise yine incelenen dönemde yılda ortalama %0,5 artmıştır. Kişi başına düşen milli gelir ise, karbon emisyonu artış oranından daha düşük bir biçimde, yıllık %1,8 oranında artış göstermiştir. Toplam gelir düzeyi karbon emisyonları düzeyi ile kıyaslandığında yılda %3,3 oranında artmıştır. Bu durumun başlıca nedenleri arasında, üretime bağlı enerji yoğunluğunun yılda %1,4 oranında düşüş göstermesi olduğu düşünülmektedir. Enerji sisteminin karbon yoğunluğu ise, yıllık %0,1 oranında artmaktadır. Enerji verimliliğindeki iyileştirmelerle kısmen dengelense de, nüfus ve gelir artışına bağlı olarak karbon emisyonları daha yoğun bir biçimde karbon-yoğun yakıtlara geçişin de etkisiyle artış göstermektedir (Tol, 2019: 19; Özdemir ve Işık, 2022):

Yine 1.3 denkleminde hareketle,

$$\frac{\delta \ln X}{\delta t} = \frac{1}{X} \left(\frac{\delta X}{\delta t} \right) = \frac{\dot{X}}{X} \quad (1.3)$$

Kaya özdeşliğinin farklı bileşenleri dikkate alındığında, özdeşlikten bireylerin dolaylı davranışları üzerine çıkarımların da yapılabilmesi mümkün olabilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik politika destekleri ve düşük ekonomik büyüme ile çevreyi koruma seçenekleri arasından fırsat maliyetlerine yönelik seçimler yeniden ele alınabilir. Benzer bir veri seti ile

modele hane halkı ve firmalarının dahil edilmesiyle günlük enerji tasarrufu faaliyetleri düşük karbonlu dolaylı bir biçimde hane halkı ve firmalar bağlamında enerji tasarrufu davranışları yeniden değerlendirilebilir.

İklim değişikliğini engellemek amacıyla uygulanan dolaylı bir yaklaşım ise, ülke ekonomilerinin enerji yoğunluğunu ve enerjinin karbon yoğunluğunu azaltılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Kaya özdeşliğine göre karbon salınımını azaltmak için nüfusu yönetmek, servet üretimini sınırlandırmak (GSYH'yi azaltmak), GSYH'yi aynı düzeyde veya daha yüksek seviyede daha az enerji kullanımıyla üretebilmektir böylelikle daha düşük karbon emisyonuyla enerji üretilebilecektir. Ya da önerilen bu dört seçeneğin bir kısmının uygulanabildiği ekonomi politikaları geliştirmek gibi sınırlı alternatif seçenek söz konusudur (van Kooten, 2013: 272; Özdemir ve Işık, 2022).

1.2. DICE ve RICE Modeli

DICE modeli ve onun bölgeselleştirilmiş versiyonu (RICE modeli) hala "tüm dünyada iklim ekonomisi için en önemli modellerdir" (Gillingham 2018; Roos Hoffart, 2021). DICE modelinde iklim değişikliğinin ekonomik yönü neoklasik ekonomik büyüme teorisinin perspektifinden ele alınmaktadır. Ekonomiler sermayeye, eğitime ve teknolojilere yatırım yapmaktadırlar, bu nedenle gelecekte tüketimi artırmak için bugün tüketimin azaltılması gerekmektedir. DICE modelinde, iklim sisteminin 'doğal sermayesini' ek bir sermaye stoğu türü olarak modele dahil edilerek bu yaklaşım genişletilmektedir. Bu model, GHG konsantrasyonlarını negatif doğal sermaye ve emisyon azaltımlarıyla doğal sermaye miktarını artıran yatırımlar olarak görmektedir. Ekonomiler çıktıyı emisyon azaltımlarına ayırarak bugünkü tüketimi azaltmaktadır ve ekonomik olarak zararlı iklim değişikliğini de önlenmektedir. Böylece gelecekteki tüketim olanaklarının artırılması amaçlanmaktadır. DICE/RICE modellerinde amaç fonksiyonu, tüketim yoluyla ilişkili ekonomik refahı ve fayda ile ifade etmektedir. Optimizasyonun kullanımı iki şekilde yorumlanabilmektedir: Olumlu bir bakış açısıyla, hem rekabetçi piyasalar sisteminin davranışını simüle etmenin bir yolu olarak görülmektedir hem de normatif bir bakış açısıyla, alternatif yolların veya politikaların ekonomik refah üzerindeki etkisini karşılaştırmanın olası bir yaklaşımı olarak görülmektedir. DICE ve RICE modellerinde, dünya veya

bireysel bölgelerin, alternatif tüketim yollarını sıralayan bir sosyal refah fonksiyonu ile temsil edilen iyi tanımlanmış tercihlere sahip olduğu varsayılmaktadır. Sosyal refah fonksiyonuna göre, her neslin kişi başına tüketiminde artış görülürken, tüketimlerinden elde edilen marjinal fayda düzeyi de azalmaktadır. Modelde farklı nesillerin göreceli önemi, saf sosyal zaman tercihi oranı (Generational discounting - Nesil iskonto) ve tüketimin marjinal faydasının esnekliği (consumption elasticity - Tüketim esnekliği) olmak üzere iki merkezi normatif parametreden etkilenmektedir. DICE/RICE modelleri, ekonomik ve iklim politikalarının zaman içerisinde tüketim akışını optimize edecek şekilde tasarlanmasının gerekliliği de vurgulanmaktadır (Kumar, 2013):

$$W = \sum_{t=1}^{T_{max}} u[c(t), L(t)]R(t) \quad (2)$$

Denklem 2’de W, kişi başına düşen tüketimin nüfus ağırlıklı faydasının iskontolu toplamını, bir sosyal refah fonksiyonu, c kişi başına düşen tüketimi, L nüfusu ve R(t) iskonto faktörünü temsil etmektedir. Varsayım (Kumar, 2013):

1. tüketimin değerinin veya ‘faydasının’ sabit bir esneklik fayda fonksiyonu ile temsil edildiği belirli bir temsilini içermektedir.

$$U[c(t), L(t)] = L(t)[c(t)^{1-\alpha}]/(1 - \alpha) \quad (2.1)$$

Bu denklem formu, tüketimin marjinal faydasının sabit bir esnekliğini α katsayısı ile temsil edilmektedir. α sıfıra yakınsa, farklı nesillerin tüketimleri yakın ikamelerdir; α yüksekse, tüketimler yakın ikame değildir. Genellikle, α riskten kaçınmayı temsil etmek için de kullanılmaktadır. A, saf zaman tercihi oranıyla birlikte kalibre edilmektedir (Kumar, 2013).

2. Bir dönemdeki tüketimin değeri nüfusa orantılıdır.

3. Sosyal iskonto faktörü

$$R(t) = (1 + \rho^{-t})$$

R(t) iskonto faktörüdür, saf sosyal zaman tercihi oranı ρ ise farklı nesillerin faydalarına ilişkin refah ağırlıklarını sağlayan iskonto oranıdır.

4. Temel veya kontrolsüz durum, piyasa ve politika faktörlerinin şu anda var olduğu haliyle sonucunu temsil etmektedir (Kumar, 2013).

2. İklim Değişikliği'nin İstihdam ve İstihdam Politikalarına Etkisi

18. yy'da Sanayi devrimi ile birlikte sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan üretim anlayışının değişmesi ve enerji kullanımında görülen değişimle birlikte üretim ve verimlilikte artışa neden olmaktadır (Murat ve Şengül, 2024).

Sosyal politika disiplini bağlamında iklim değişikliği, çalışma yaşamını ve işgücünü de etkilemektedir. Olumsuz iklim koşulları çalışanların maruz kaldığı etkiler, ortam (çalışma mekanı) sıcaklığının artması gibi nedenlerden kaynaklanan, iklim değişikliğine bağlı olarak, mesleki riskler, risk alanlarının belirlenmesi, risk altında olanların tespit edilmesi ve çalışanların korunmasına yönelik araçların tanımlanması gerekmektedir. İklim değişikliğinin işçi sağlığı ve güvenliğine etki eden tespit edilmiş risk alanları mevcuttur (Schulte vd., 2016; Kaçmaz ve Özaydın, 2019): Bu risk alanları, ortam sıcaklıklarının artması, hava kirliliği, ultraviyole (UV) radyasyona maruz kalma, aşırı iklim olayları, taşıyıcı kaynaklı hastalıklar ve diğer biyolojik tehlikeler, endüstriyel geçişler ve gelişen endüstriler yanısıra yapıları çevre değişikliği şeklindedir.

Ayrıca üretim artışı olarak da ifade edilen büyüme, üretim faktörlerinin verimliliği yanısıra girdi miktarını arttırmaktır. Verimlilik artışı sağlanırsa girdi miktarı değiştirilmeden de büyüme sağlanabilmektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, çalışanların performansı ve işgücü verimliliği olumsuz yönde etkilenmekte ve böylece sermaye girdisi ve veri teknoloji ile üretim düşüşüne de neden olabilmektedir. İklim koşullarının yeterli kontrol edilmediği ve işçilerin aşırı ısıya maruz kaldığı açık hava koşullarında çalışan işgücünün daha az verimli ve daha az üretken olmaktadır. Sıcaklık artışına bağlı olarak, çalışan işgücünün ısı stresi dünya ekonomisi üzerinde yük oluşturmaktadır. Emek gücünün iklim değişikliğine uyum sağlayamaması maliyetlidir. Bu maliyete katlanılmaması durumunda çalışanların sağlığı bozulmakta ve rekabet edebilirliği azalmaktadır bu durum da maliyetleri arttırmaktadır. İklim değişikliğinin emek verimliliği üzerindeki küresel olumsuz etkisi dünya ekonomisine maliyeti dünya GSYİH'nın yaklaşık %0,5'ine tekabül etmektedir. Bu oranın da yaklaşık olarak yıllık 300 milyar dolar civarında olduğu öngörülmektedir. Emek verimliliğindeki iklim değişikliğine bağlı düşüşten daha çok Çin, Hindistan, Endonezya ve Meksika gibi dünyanın en büyük gelişmekte olan ekonomileri etkilenmektedir. Bu ülkelerde iklim değişikliğine bağlı olarak emek verimliliği kaynaklı kayıp yıllık

200 milyar dolardan fazladır. Yeryüzündeki sıcaklıkların 0,6 0C artacağı varsayımında emek verimliliğindeki düşüşün küresel ölçekte GSYİH'nın % 1'ine karşılık gelmek üzere yaklaşık 2,5 trilyon dolar civarında kayıpla sonuçlanacağı tahmin edilmektedir (Kaçmaz ve Özaydın, 2019).

Küresel iklim değişikliği ve küresel istihdam bağlamında tartışılabilen olası senaryolara göre, artan sıcaklıklar ve iklim olayları yeşil, sürdürülebilir bir ekonomiye geçişi önemini arttırmaktadır. ILO, 21. yy sonlarına doğru gerçekleşebilecek ve yerkürenin 1.5°C küresel sıcaklık artışının gerçekleştiği senaryoya göre, işgücü eğilimlerine yönelik eğilimlerde, 2030'da dünya genelinde toplam çalışma saatlerinin %2.2'si yüksek sıcaklıklar nedeniyle kaybedilebileceği, yaklaşık 80 milyon tam zamanlı işe eşdeğer bir verimlilik kaybı oluşabileceğine işaret etmektedir (ILO, 2019; Kavurmacı, 2022). Ancak bu öngörülen tahminlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, elektrikli araçların kullanımının beninsemesi, binalarda daha fazla enerji verimliliği elde etmek için inşaat çalışmalarının yapılmasının istihdam artışı sağlayacağını ileri sürmektedir. Bu değişikliklerin gerçekleşmesiyle yaklaşık 6 milyon kişinin iş kaybı yaşamasına karşın 2030 yılına kadar yaklaşık 24 milyon yeni iş olanaklarının yaratılmasına da olanak sağlayacağı öngörülmektedir (ILO, 2018b; Kavurmacı, 2022).

Daha fazla yeşil iş olanakları yaratılması ile istihdamın yeniden şekillenebileceği, özellikle fosil yakıt tüketimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş ile ortaya istihdam ikamesi çıkacaktır. Çeşitli iş olanaklarının ortaya çıkması da muhtemel olasılıklar arasındadır. Mevcut birçok iş (tesisatçılar, elektrikçiler, metal işçileri ve inşaat işçileri vb.) becerilerinin ve profillerinin yeşil işlere dönüştürülmesi nedeniyle değişime uğraması kaçınılmaz olacaktır. Bazı iş kollarında da doğrudan ikame olmadan iş ve meslek grupları ortadan kalkabilmektedir (European Parliament, 2010; ILO, 2018b; Kavurmacı, 2022).

İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar bazı bölgelerde nem artışına bazı bölgelerde de aşırı kuraklığa ve temiz suya erişimi kısıtlamaktadır. Tarımsal üretimde düşüş ve gıda erişiminde yaşanan zorluklar işsizliğe ve göçe neden olmaktadır. İklim değişikliği krizi ile birlikte görülen sorunlar arasında istihdamda yaşanan aksaklıklar ve çevresel bozulmalar da birçok iş kolunda mesleklerin son bulmasına ve iş gücü verimliliklerinde düşüşe neden

olmaktadır. Pilcher vd. (2002) tarafından da ifade edildiği üzere, aşırı sıcağa maruz kalma çalışanların iş aktivitelerini yavaşlatmakta ve iş gücü performansında, iş yoğunluğunda olumsuz etkilere neden olmaktadır. Hanna (2011) çalışmasında, sıcaklığın 37°C'yi aştığında (<30°C ile karşılaştırıldığında) çalışan kişilerin ortalama 1 saat daha az çalıştığı ve kendilerini koruma altına aldıkları gözlemlenmektedir. Ayrıca 35°C'yi aşan günlerin sayısının 2030 ve 2070 yıllarında küresel ölçekte artacağı öngörülmektedir (Murat ve Şengül, 2024).

İklim değişikliğinin kent düzeyinde istihdam üzerindeki etkisi daha çok su ve sanitasyon, enerji temini, ulaşım ve telekomünikasyon altyapılarının bozulmasından kaynaklanmaktadır. Daha dirençli altyapı yatırımındaki artış ise, bu alanlarda istihdamın artmasına neden olmaktadır (ETUI, 2014; Kaçmaz ve Özeydin, 2019).

İklim değişikliğinin küresel sektörler üzerinde ve özellikle istihdam üzerindeki etkisi negatif yönlü etkiye sahip olmaktadır. ILO (2018) tarafından ifade edildiği üzere, küresel piyasalarda yer alan sektörlerdeki işlerin 40%'ı iklim değişikliğinin ekonomik etkilerinden doğrudan ve dolaylı bir şekilde etkilendiği ifade edilmektedir. İstihdam politikalarının iklime duyarlılığının geliştirilmesi iklim kaynaklı ekonomik krizlerin aşılmasında önem ifade etmektedir. Enerji, inşaat ve ulaştırma gibi sektörlerde küresel ısınmanın 2100 yılı itibariyle 2°C altında tutulmasına yönelik hedeflerin istihdama pozitif bir etkisinin olacağı öngörülmektedir. Güncel iklim değişikliği ile uyum politikaları çerçevesinde 136 bin mevcut iş kolunun zarar görmesi de önlenilmektedir. Bütçesi küresel GSYH'nın 51%'ine denk gelecek biçimde yürütülen uyum politikaları ile 2050 yılı itibariyle 1 milyon yeni istihdam sağlanabilecektir. Risk altında bulunan 330 bin mevcut iş kolu da kurtarılabilecektir (<https://www.iklimin.org>).

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Küresel iklim değişikliğinin ekonomi üzerindeki etkisine ilişkin yayımlanmış birçok çalışma bulunmaktadır. Dell vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, iklim değişikliğinin dünyadaki ekonomik faaliyetler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bulgular neticesinde düşük gelirli ülkelerdeki 1°C'lik sıcaklık artışının o yıl gerçekleşen ekonomik büyümeyi %1,1 azalttığı, yüksek

gelirli ülkelerde de önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Dell vd., 2008: 28). Abidoye ve Odusola (2015) 1961-2009 yılları arasında 34 Afrika ülkesinin yıllık verilerini kullanarak iklim değişikliği ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. 1°C'lik sıcaklık artışının %0,67 oranında GSYH büyümesini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır (Abidoye ve Odusola, 2015). Tol (2018) yapmış olduğu çalışmada, iklim değişikliğinin gelir cinsinden refah kayıplarını araştıran 22 çalışmayı incelemiştir. Bulgular neticesinde 2,5°C'lik ortalama sıcaklık artışının, ortalama bir insan gelirinin %1,3'ünü kaybetmesine yol açabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Tol, 2018: 2).

SONUÇ

Sanayi Devrimi ile başlayan ve günümüze kadar artan bir ivmeyle devam eden fosil yakıt kullanımı, ekonomik büyümenin temel dinamiği olmakla birlikte, sera gazı emisyonlarında ciddi bir artışa yol açmıştır. Bu durum, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi geri dönüşü zor çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. İklim değişikliğinin neden olduğu çevresel bozulma, yalnızca ekolojik dengeyi tehdit etmekle kalmamakta; ekonomik büyüme, üretim yapıları, işgücü verimliliği ve istihdam üzerinde de derin ve çok boyutlu etkiler yaratmaktadır.

Çalışmada ele alındığı üzere, çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi, ekonomik gelişmenin ilk aşamalarında çevresel bozulmanın arttığını, ancak belirli bir gelir seviyesinden sonra bu eğilimin tersine döndüğünü öne sürmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma için yeşil ekonomiye geçiş kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Kaya Özdeşliği yaklaşımı, karbon emisyonlarını nüfus, kişi başına gelir, enerji yoğunluğu ve karbon yoğunluğu gibi bileşenlere ayırarak, emisyon azaltım stratejilerine nicel bir çerçeve sunmaktadır. DICE ve RICE gibi dinamik entegre değerlendirme modelleri ise, iklim politikalarının uzun vadeli ekonomik maliyet ve faydalarını analiz etmede önemli araçlar olarak kullanılmaktadır.

İklim değişikliğinin istihdam üzerindeki etkileri ise iki yönlüdür. Bir yandan, artan sıcaklıklar, aşırı hava olayları ve tarımsal verimdeki düşüşler, özellikle açık havada çalışılan sektörlerde işgücü verimliliğini azaltmakta, sağlık risklerini artırmakta ve bazı mesleklerin ortadan kalkmasına yol açabilmektedir. Öte yandan, iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum süreçleri,

yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, sürdürülebilir ulaşım ve dayanıklı altyapı yatırımları gibi alanlarda önemli yeni istihdam alanları yaratma potansiyeli taşımaktadır. “Yeşil işler” olarak adlandırılan bu alanlar, mevcut işgücünün becerilerinin dönüştürülmesini ve yeni meslek profillerinin ortaya çıkmasını gerektirmektedir.

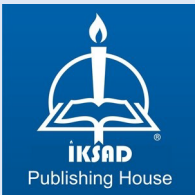
Literatür bulguları, iklim değişikliğinin ekonomik büyüme üzerinde, özellikle düşük gelirli ve gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin olmak üzere, olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, etkin azaltım ve uyum politikaları ile bu olumsuz etkiler hafifletilebilir, hatta yeşil dönüşüm sürecinden kaynaklanan ekonomik fırsatlar değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, iklim değişikliği, 21. yüzyılın en önemli küresel sorunlarından biri olarak, ekonomileri ve çalışma hayatını yeniden şekillendirmektedir. Gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakabilmek ve ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak için, fosil yakıtlara dayalı üretim ve tüketim kalıplarından hızla uzaklaşılması, yeşil ve döngüsel ekonomi modellerine geçişin hızlandırılması gerekmektedir. Bu dönüşüm, ancak uluslararası işbirliği, kapsayıcı ve adil geçiş politikaları, yenilikçi teknolojik yatırımlar ve işgücünün bu yeni düzene uyumunu sağlayacak kapsamlı eğitim ve sosyal politikalarla mümkün olacaktır. İklim değişikliğiyle mücadele, yalnızca bir çevre meselesi değil, aynı zamanda ekonomik istikrar, sosyal refah ve istihdamın geleceği için hayati öneme sahip bir kalkınma stratejisi olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- A Meta-Analytic Review. *Ergonomics*, 45 (10), 682-698.
- Akyol, H. (2022). İklim Değişikliği Türkiye’de Ekonomik Büyüme İçin Bir Risk Oluşturur mu?. *Afet ve Risk Dergisi*, 5 (1), 179-195.
- Başoğlu, A. (2014). Küresel iklim değişikliğinin ekonomik etkileri. *Sosyal bilimler dergisi*, 7, 175-196.
- Besnili Memiş, O. ve Aydın, R., (2023). İklim Değişikliğinin Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Türkiye Örneği. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 58 (2), 1065-1080.
- Eşmeler, A. Ş., Kır, A., Kavurmacı, A., Çırak, A. N., Mumlu, D. T., Ayçiçek, E., Adalı, Z. Güncel Araştırmalar Çerçevesinde İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ- Nedenler, Sonuçlar ve Mücadele Politikaları. *Nobel Bilimsel Eserler*.
- Kaçmaz, F. K., Özaydın, M. (2019). Sosyal politika disiplini bağlamında küresel iklim değişikliği. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 10(2), 96-128.
- Karakuş Kaçmaz, F., Özaydın, M. (2019). Sosyal Politika Disiplini Bağlamında Küresel İklim Değişikliği. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 10(2), 96-128.
- Kavurmacı, A. (2022). İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE KÜRESEL İSTİHDAM SORUNU VE YEŞİL İŞLER. Güncel Araştırmalar Çerçevesinde İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ-Nedenler, Sonuçlar ve Mücadele Politikaları, 311.
- Kızılkaya, O. ve Mike, F. (2023). İklim Değişikliğinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Değerlendirme, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 57, 403-411.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Murat G, Şengül B (2024). Küresel İklim Değişikliğinin İşgücü Verimliliği ve İstihdam Üzerine Yansımaları: Bir Sosyal Politika Önlemi Olarak Yeşil İşler. *Mülkiye Dergisi*, 48(3), 715-746.
- Murat, G., Şengül, B. (2024). Küresel İklim Değişikliğinin İşgücü Verimliliği ve İstihdam Üzerine Yansımaları: Bir Sosyal Politika Önlemi Olarak Yeşil İşler. *Mülkiye Dergisi*, 48(3), 717-748.
- Özdemir Mehmet Gökhan, Işık Hacı Bayram (2022). İklim Değişikliğinin Ekonomik Etkilerinin İncelenmesi. Editör: Kılınç, Efe Can; Engeloğlu, Özgür, Yayın Yeri: Nobel Yayınevi, 157 -192.

- Pilcher J vd. (2002). Effects of Hot and Cold Temperature Exposure on Performance:
- Roos, M., Hoffart, F. M. (2020). Climate economics: a call for more pluralism and responsibility. Springer Nature.
- Schulte, P.; A. Bhattacharya, C. Butler, H. Chun, B. Jacklitsch, T. Jacobs, M. Kiefer, J. Lincoln, S. Pendergrass, J. Shire, J. Watson, G.R. Wagner (2016) Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13 (11), 847-865.
- Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American economic review*, 98(2), 1-37.
- Tol, R. S. J. (2009). The Economic Effects of Climate Change. *The Journal of Economic Perspectives*, 23(2), 29-51.
- Tol, R. S. J. (2019). Climate economics: Economic analysis of climate, climate change and climate policy (Second edition). Edward Elgar Publishing.
- Udalov, V. (2019). Behavioural Economics of Climate Change: New Empirical Perspectives (1st ed. 2019). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03532-7>
- van Kooten, G. C. (2013). Climate Change, Climate Science and Economics: Prospects for an Alternative Energy Future. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4988-7>.
- Roos, M. W. M., Hoffart, F. (2021). Climate economics: A call for more pluralism and responsibility. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48423-1>.



ISBN: 978-625-378-552-9