

Ziraat ve Orman
Ürünleri Alanında
Uluslararası Derleme,
Araştırma ve Çalışmalar



EDİTÖRLER
PROF. DR. KORAY ÖZRENK
DOÇ. DR. ALİ BOLAT

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8559-94-1

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

ZİRAAT VE ORMAN ÜRÜNLERİ ALANINDA ULUSLARARASI DERLEME, ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

Editörler

PROF. DR. KORAY ÖZRENK

DOÇ. DR. ALİ BOLAT

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

TOPRAKSIZ TARIMDA BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI OLARAK KULLANILAN ORGANİK VE İNORGANİK MATERYALLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bülent YAĞMUR, Caner İsmail KAHRAMAN —1

Bölüm 2

FARKLI DOZLARDA AZOTLU GÜBRE UYGULAMALARININ KALANCHOE CALANDİVA VE CAMPANULA BİTKİLERİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bülent YAĞMUR, Gökçe ALYÖRÜK IŞIK —21

Bölüm 3

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BAZI ENERJİ BİTKİLERİNİN KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ

Mehtap ANDIRMAN —51

Bölüm 4

BİYOÇEŞİTLİLİK-EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM

Muhsin YILDIZ, Murat KARA —71

Bölüm 5

TARIMSAL SULAMADA UYGULANABİLECEK AKILLI SULAMA SİSTEMLERİ

Murat YILDIRIM —97

Bölüm 6

ÇEVRESEL KİRLETİCİLER VE RUMİNANTLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sevil ÇALIŞKAN ELEREN, Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ—109

Bölüm 7

HİDROPONİK YEŞİL YEM: ALTERNATİF BİR YEM KAYNAĞI

Şükrü Sezgi ÖZKAN, Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU—133

Bölüm 8

ESANSİYEL YAĞLARIN BAZI BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KANATLI HAYVAN BESLENMESİNDEKİ ETKİLERİ

Alp ATAY—151

Bölüm 9

SİLAJ ORTAMINDA MİKROORGANİZMALARIN ROLÜ VE ETKİLERİ

Cemal POLAT—177

Bölüm 10

HİJYENİK YEM ÜRETİMİ

Cemal POLAT, Korcan DENİZHAN—195

Bölüm 11

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA HAYVAN REFAHI VE STRES YÖNETİMİ KRİTERLERİ

Duygu KAŞIKÇI, Elif Rabia ŞANLI—215

Bölüm 12

HAYVAN ISLAHINDA GENETİK ÇEŞİTLİLİK VE VERİM İKİLEMİ: GEÇMİŞTEN GELECEĞE PERSPEKTİF

İsa YILMAZ, Ömer Faruk YILMAZ —237

Bölüm 13

FARKLI KÖKLENDİRME MASASI SICAKLIKLARI İLE OKSİN UYGULAMALARININ *ROSMARINUS OFFICINALIS* 'PYRAMİDALIS' ÇELİKLERİNDE KÖKLENME ÜZERİNE ETKİLERİ

Deniz GÜNEY, Fahrettin ATAR, İbrahim TURNA—257

Bölüm 14

DOĞU LADİNİ FİDANLARINDA SÜRGÜN TİPİ VARYASYONLARININ ORJİNLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deniz GÜNEY, Ali BAYRAKTAR —277

Bölüm 15

BİTKİ BESİN ELEMENTLERİNİN KÜLTÜR BİTKİLERİNDE ZARARLI BÖCEKLERE ETKİLERİ*

Erhan KOÇAK—293

Bölüm 16

Çelikle Bitki Üretiminde Köklenme Başarısını Etkileyen Faktörler Arasında Yaralamanın Yeri

Ali BAYRAKTAR—307

Bölüm 1

TOPRAKSIZ TARIMDA BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI OLARAK KULLANILAN ORGANİK VE İNORGANİK MATERYALLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bülent YAĞMUR¹, Caner İsmail KAHRAMAN²

1 Dr.Öğr.Üy.Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bornova-İZMİR

E-mail:bulent.yagmur@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7645-8574 Sorumlu Yazar

2 Zir.Yük. Müh. ORCID ID:0000-0003-0432-6545 Yüksek Lisans Tez Çalışması “Katı Ortam Kültüründe Kullanılan Organik ve İnorganik Bitki Yetiştirme Materyallerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi” Danışman Dr.Öğ.Üy. Bülent YAĞMUR E:Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 2023, 79 sayfa

GİRİŞ

Topraksız tarımda, yetiştirme ortamı olarak toprak haricinde çeşitli sıvı ve katı ortamlara kullanılmakta ve bitki besin elementleri kontrollü olarak verilmektedir. Topraksız tarım bitkilerin ihtiyaç duydukları besin elementlerinin bitki kök bölgesine optimal dozlarda verilmesi esasına dayanır bu teknik hidroponik (su kültürü) ve sustrat kültürü (katı ortam kültürü) olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmakta ve bunlar kendi aralarında birçok bakımdan farklılıklar göstermektedir. Bitkisel üretimin besin eriyikleri içerisinde yapılması hidroponik (su kültürü) kültür, sulamanın ve bitki beslenmesinin besin eriyikleriyle karşılanması koşulu ile perlit, kum, çakıl, kaya yünü, talaş gibi ortamlarda gerçekleştirilmesi substrat (katı ortam) kültürü olarak tanımlanmaktadır. Topraksız yetiştiricilikte, bitkilere destek sağlaması, iyi havalanabilir bir kök ortamı oluşturmaları, katı ortamın kolay temin edilebilmesi ve kısmen ucuz olması gibi nedenlerle, katı ortam kültürleri önemli bir yere sahip olmuşlardır. Substrat kültürü olarak tanımlanan katı ortam kültüründe de çok farklı organik ve inorganik materyaller yetiştirme ortamı olarak kullanılmaktadır. Genelde diğer ülkelerde de topraksız tarım uygulamalarına ortam kültürü ile başlanmıştır. Zira topraksız kültürün diğer bir şekli olan su kültürü genelde büyük bir teknik donanım ve bilgi gerektirmektedir. O nedenle ülkemiz açısından da en uygun sistemin katı ortam kültürü olduğu söylenebilir.

Topraksız tarımda kullanılan katı ortamlar ise organik ve inorganik ortam olmak üzere ikiye ayrılır. Organik yetiştirme ortamları ağaç kabuğu, torf, Hindistan cevizi lifi, çeltik kavuzu, talaş, yer fıstığı kabuğu, fındıkkabuğu, defne yaprağı, at kestanesi, meşe yaprağı, tütün tozu gibi örnekler verilebilir. İnorganik yetiştirme ortamları ise kendi aralarında doğal ve yapay ortamlar diye ikiye ayrılır. Doğal ortamlar; pomza, perlit, kum, çakıl taşı, vermikülit, curuf, zeolit örnek verilebilir. Yapay ortamlar ise kaya yünü, cam yünü, poliüretan köpüğü ve polistiren sentetik ortamlara örnek olarak verilebilir (Adamson ve Maas, 1971; Sevgican, 2003; Gül, 2012).

Ülkemizde topraksız yetiştirme ortamı olarak kullanılmaya elverişli çok sayıda inorganik ve organik (kum, çakıl, torf, perlit, pomza, cüruf, orman atıkları vb) materyal bulunmaktadır. Bitkisel üretimde katı ortam kültürü, daha az maliyetle yatırıma başlanması, kök bölgesinde tampon görevi gören bir ortamın bulunması ve kolay uygulanabilmesi gibi nedenlerle diğerine tercih edilmektedir.

Yapılan araştırmalar katı ortam kültüründe kullanılan inorganik ve organik bitki yetiştirme materyallerinin önemini bir kez daha ortaya

koymuştur. Ortamların bitki yetiştiriciliğine uygun hale getirilmesinde, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi ve bu özellikler dikkate alınarak harç materyallerinin hazırlanması da son derece önemlidir. Tarımda inorganik ve organik bitki yetiştirme materyallerin doğru oranlarda kullanımı ile bitkisel üretimde verim ve kalitenin arttırdığı, ayrıca bunun sonucunda insanların gıdaya daha çok ulaşabildiği de belirlenmiştir.

Organik ve inorganik materyallerin bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılması ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır, ancak bu ortamların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili çok az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmada ülkemiz koşullarında toprağa alternatif olacak ve kolay bir şekilde temin edilebilecek inorganik (6 adet) ve organik (12 adet) olmak üzere toplam 8 ayrı ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırma materyalleri inorganik kaynaklı olarak perlit, pomza, vermikülit, cüruf, kum, çakıl ile organik kaynaklı olarak ise torf, çam kabuğu, tütün tozu, talaş, saman, fındık kabuğu, yer fıstığı kabuğu, meşe palamutu, defne, mısır koçanı, at kestanesi, organik gübre oluşturmuştur.

Yöntem

Katı Ortam Kültüründe Kullanılan Organik ve İnorganik Bitki Yetiştirme Materyallerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

Nem: Organik ve inorganik materyallerin nem kapsamı sabit ağırlık elde edilinceye kadar 105- 110 oC’de tutulmaları ile tayin edilecek sonuçlar % olarak verilecektir (Black, 1965; Saatçı vd., 1983; Gardner, 1986).

Özgöl Ağırlık: Örneklerin özgül ağırlıkları hacmi belli olan piknometre metoduna göre belirlenecektir (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954; Black, 1965).

Su Tutma Kapasitesi: Örneklerin su tutma kapasiteleri Mitscherlich yöntemine göre belirlenecek ve sonuçlar % olarak verilecektir (Mitscherlich, 1954).

Volüm Ağırlık: Örneklerin volüm ağırlıkları yapısı bozulmuş toprak örneklerinde uygulanan volüm ağırlık yöntemine göre yapılacaktır (U.S Salinity Lab. Staff, 1954; Black, 1965; Hunt ve Gilkes, 1992).



Katı Ortam Kültüründe Kullanılan Organik ve İnorganik Bitki Yetiştirme Materyallerinin Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

pH: Örneklerin pH'ları saf su ile doyurulmuş örnekte (1:10) örneklerde cam elektrodlu pH-metre kullanılarak belirlenecektir (Black, 1965; Jackson, 1967).

Elektriki İletkenlik (EC): Örneklerin elektriksel iletkenlik (EC) değeri, saf su ile doymuş örneğin EC metrede okunmasıyla (Soil Survey Staff, 1951; Richards, 1954) belirlenecektir.

Kireç (CaCO_3): Scheibler kalsimetresi ile volumetrik olarak tayin edilecektir (Schlichting ve Blume, 1966; Tüzüner, 1990).

Organik Madde: Örneklerin organik madde miktarları kuru yakma (organik ortam) ve yaş yakma (inorganik ortam) yöntemine göre belirlenecek, sonuçlar % organik madde miktarı olarak hesaplanacaktır (Black, 1965).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Katı ortam kültüründeki inorganik ve organik bitki yetiştirme materyallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin analiz sonuçları iki ana başlıkta değerlendirilmiştir.

İNORGANİK VE ORGANİK BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMLARININ FİZİKSEL ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMASI

İnorganik Bitki Yetiştirme Ortamlarının Nem, Su Tutma Kapasitesi, Özgül Ağırlık Ve Hacim Ağırlık İçerikleri

Araştırma materyali olarak (vermikulit, pomza, perlit, cüruf, kum ve çakıl taşı) yetiştirme ortamlarının nem, su tutma kapasitesi, özgül ağırlık ve volüm ağırlık içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İnorganik bitki yetiştirme ortamlarının nem, su tutma kapasitesi, özgül ağırlık ve hacim ağırlık içerikleri

Örnek	Nem (%)	Su Tutma Kapasitesi (%)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Hacim Ağırlık (g/cm ³)
Vermikulit	3.34	383.06	1.67	0.40
Pomza	1.00	42.27	3.14	1.16
Perlit	5.40	406.55	2.67	1.20
Cüruf	0.61	34.56	1.11	1.13
Kum	0.49	19.99	2.61	1.28
Çakıl taşı	-	18.38	2.67	1.83
En Düşük	0.49	18.38	1.11	0.40
En Yüksek	5.40	406.55	3.14	1.83

Nem(%)

Araştırma materyali inorganik yetiştirme ortamlarının nem miktarlarının %0.49-5.40 arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 1). En düşük nem miktarına sahip materyalin kum ve en yüksek nem miktarına sahip materyalin ise perlit olduğu belirlenmiştir. Araştırmada çakıl taşının nem miktarı saptanamamıştır. En düşük nem içeriğinden başlayarak sırası ile inorganik materyallerin nem miktarlarının; kum, cüruf, pomza, vermikulit ve perlit olarak artış gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çeltek (1992), yaptığı bir çalışmada, inorganik materyal olarak kullanılan ortamların nem kapsamının %0.39-10.70 arasında değiştiğini belirlemiştir. Araştırmada inorganik materyallerin nem içerikleri; perlit (%10.70), kum (%0.48), cüruf (%0.39) olduğu saptanmıştır. Nem kapsamı en düşük ortamın kula cürufu olduğu ve nem kapsamı en yüksek ortamın ise perlit olduğunu belirlemiştir. Yapılan bu çalışmada ortamların su tutma kapasitelerinin partikül boyutuna göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir

Su Tutma Kapasitesi (%)

Araştırma sonuçlarına göre en yüksek su tutma kapasitesine sahip olan inorganik materyalin perlit (%406.55), en düşük su tutma kapasitesine sahip materyalin ise çakıl taşı (%18.38) olduğu belirlenmiştir. Çizelge 1'de de görüleceği gibi inorganik materyallerin su tutma kapasitelerinin en küçükten en büyüğe doğru; çakıl taşı, kum, cüruf, pomza, vermikulit, perlit şeklinde sıralandığı saptanmıştır. Araştırmada kullanılan inorganik materyallerin su tutma kapasiteleri partikül boyutuna göre değişiklik göstermiştir.

Çeltek (1992), yaptığı araştırmada kullandığı inorganik ortamların su tutma kapasitelerinin %17.57-368.35 arasında değiştiğini saptamıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre partikül boyutu küçüldükçe, örneklerin su tutma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca perlitin beş ayrı fraksiyona ayırıp işleme tabi tutulması sonucunda yine partikül boyutu küçüldükçe örneklerin su tutma kapasitelerinin arttığı belirlenmiştir. İnorganik materyaller arasında en düşük su tutma kapasitesine sahip ortamın kum, en yüksek su tutma kapasitesine sahip ortamın ise perlit (< 0.2 mm) olduğu belirlenmiştir

Özgül Ağırlık (gr/cm^3)

Katı ortam kültüründeki bitki yetiştirme materyallerini temsil eden inorganik materyallerin özgül ağırlıkları $1.11\text{-}3.14 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. İnorganik materyaller arasında en yüksek özgül ağırlık değerine sahip olan ortamın pomza (3.14 gr/cm^3), en düşük özgül ağırlık değerine sahip olan ortamın ise cüruf (1.11 gr/cm^3) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Araştırma materyali inorganik ortamların özgül ağırlık değerlerinin en düşükten en büyük değere doğru; cüruf, vermikulit, kum, perlit, çakıl taşı ve pomza şeklinde değiştiği saptanmıştır (Çizelge 1).

Çeltek (1992), yaptığı bu çalışmada inorganik ortamların özgül ağırlıklarının $1.158\text{-}2.565 \text{ gr/cm}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan inorganik materyallerin özgül ağırlıklarının; perlit için $1.158 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, kum için (gr/cm^3), cüruf için $2.185 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, değerlerini saptamıştır. Belirlenen bu sonuçlara göre inorganik materyaller arasında en düşük özgül ağırlığa sahip materyalin perlit olduğu ve en yüksek özgül ağırlığın ise kum olduğu belirlenmiştir.

Hacim Ağırlık (gr/cm^3)

Araştırma materyali inorganik yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları $0.40\text{-}1.83 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir (Çizelge 1). İnorganik materyaller arasında en yüksek hacim ağırlığa sahip olan ortamın çakıl taşı (1.83 gr/cm^3), en düşük hacim ağırlığa sahip olan ortamın vermikulit (0.40 gr/cm^3) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Ortamların hacim ağırlık değerlerinin sırası ile vermikulit, cüruf, pomza, perlit, kum ve çakıl taşı şeklinde artış gösterdiği belirlenmiştir.

Çeltek (1992), yaptığı çalışmada araştırma materyali inorganik bitki yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıklarının $0.389\text{-}1.586 \text{ gr/cm}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan inorganik materyallerin hacim ağırlıkları; perlit için $0.389 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, kum için $1.586 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, cü-

ruf için 0.820 (gr/cm³) olarak belirlenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen hacim ağırlık değerlerine göre en düşük hacim ağırlığa sahip inorganik materyalin perlit olduğu ve en yüksek hacim ağırlığına sahip materyalin ise kum olduğu belirlenmiştir.

Organik Bitki Yetiştirme Ortamlarının Nem, Su Tutma Kapasitesi, Özgöl Ağırlık Ve Hacim Ağırlık İçerikleri

Araştırma materyali olarak kullanılan organik bitki yetiştirme ortamlarından (çam kabuğu, defne yaprağı, yer fıstığı kabuğu, meşe palamutu, fındık zurufu, at kestenesi, tütün tozu, torf, mısır koçanı, talaş, organik gübre, saman) örneklerinin nem, su tutma kapasitesi, özgöl ağırlık ve volüm ağırlık içerikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Organik bitki yetiştirme ortamlarının nem, su tutma kapasitesi, özgöl ağırlık ve hacim ağırlık içerikleri

Örnek	Nem (%)	Su Tutma Kapasitesi (%)	Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	Hacim Ağırlık (g/cm ³)
Çam kabuğu	12.08	191.07	1.06	0.33
Defne yaprağı	2.27	226.93	1.24	0.29
Yer fıstığı kabuğu	5.14	188.08	1.35	0.30
Meşe palamutu	2.74	142.78	1.42	0.46
Fındık zurufu	4.44	108.36	1.30	0.62
At kestenesi	3.75	161.06	1.34	0.34
Tütün tozu	3.88	177.76	1.85	0.68
Torf	3.43	468.79	1.22	0.16
Mısır koçanı	9.09	257.46	1.34	0.25
Talaş	4.36	401.83	1.35	0.17
Organik gübre	2.58	89.63	1.18	0.73
Saman	-	404.97	1.36	0.19
En Düşük	2.27	89.63	1.06	0.16
En Yüksek	12.08	468.79	1.85	0.73

Nem (%):

Katı ortam kültüründeki bitki yetiştirme materyallerini temsil eden organik materyallerin nem miktarlarının %2.27-12.08 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Sırası ile organik materyallerin nem miktarları; def-

ne yaprağı, organik gübre, meşe palamutu, torf, at kestanesi, tütün tozu, talaş, fındık zurufu, yer fıstığı kabuğu, mısır koçanı, çam kabuğu olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). En düşük nem miktarına sahip materyalin defne yaprağı ve en yüksek nem miktarına sahip materyalin ise çam kabuğu olduğu belirlenmiştir. Araştırmada samanın nem miktarı saptanmamıştır.

Çelte (1992), yaptığı bir çalışmada, organik materyal olarak kullanılan ortamların nem kapsamlarının %8.10-58.05 arasında değiştiğini belirlemiştir. Araştırmada organik materyallerin nem içerikleri; ağaç kabuğu (%25.00), mısır koçanı (%18.77), saman (%8.10), tütün tozu (%8.52), talaş (%8.84), torf (%58.05), meşe palamutu (%27.45) olduğu saptanmıştır. Organik materyaller arasında nem kapsamı en düşük ortamın saman olduğu ve nem kapsamı en yüksek ortamın ise torf olduğunu belirlenmiştir.

Su Tutma Kapasitesi (%)

Laboratuvar analizleri sonucuna göre Çizelge 2’de de görüleceği gibi organik materyallerin su tutma kapasitelerinin en küçükten en büyüğe doğru; organik gübre, fındık zurufu, meşe palamutu, at kestanesi, tütün tozu, yer fıstığı kabuğu, çam kabuğu, defne yaprağı, mısır koçanı, talaş, saman, torf sıralandığı saptanmıştır. Bu sonuçlara göre en yüksek su tutma kapasitesine sahip olan organik materyalin torf (%468.79) en düşük su tutma kapasitesine sahip materyalin ise organik gübre (% 89.63) olduğu belirlenmiştir.

Çelte (1992), yaptığı araştırmada kullandığı organik ortamların su tutma kapasitelerinin %145.34-406.55 arasında değiştiğini saptamıştır. Organik materyallerin su tutma kapasiteleri; ağaç kabuğu (2-5 mm) %218.95, ağaç kabuğu (< 2 mm) %267.57, mısır koçanı (2-5 mm) %145.34, mısır koçanı (< 2 mm) %392.23, saman (2-5 mm) %357.14, saman (< 2 mm) %405.85, tütün tozu %134.96, talaş (ince) 406.55, torf %360.85, meşe palamutu (2-5 mm) %217.46 ve meşe palamutu (< 2 mm) %258.88 olduğu saptanmıştır. Organik materyaller arasında en düşük su tutma kapasitesinin mısır koçanı (2-5 mm) olduğu ve en yüksek su tutma kapasitesinin ise talaş (ince) olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ortamların su tutma kapasitelerinin partikül boyutuna göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir

Özgül Ağırlık (gr/cm³)

Katı ortam kültüründeki bitki yetiştirme materyallerini temsil eden organik materyallerin özgül ağırlıkları 1.06-1.85 gr/ cm³ arasında değişmektedir. Organik materyaller arasında en yüksek özgül ağırlık değerine sahip olan ortamın tütün 40 tozu (1.85 gr/ cm³), en düşük özgül ağırlık değerine sahip olan ortamın ise çam kabuğu (1.06 gr/ cm³) olduğu be-

lirlenmiştir (Çizelge 2). Araştırma materyali organik ortamların özgül ağırlık değerlerinin en düşükten en büyük değere doğru; çam kabuğu, organik gübre, torf, defne yaprağı, fındık zurufu, at kestenesi, mısır koçanı, talaş, yer fıstığı kabuğu, saman, meşe palamutu, tütün tozu olduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

Çelte (1992), yaptığı bu çalışmada organik ortamların özgül ağırlıklarının 1.230-1.867 gr/cm³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan organik materyallerin özgül ağırlıklarının; ağaç kabuğu (1.501 gr/cm³), mısır koçanı (1.417 gr/cm³), saman (1.384 gr/cm³), tütün tozu (1.867 gr/cm³), talaş (1.487 gr/cm³), torf (1.230 gr/cm³) ve meşe palamutu (1.465 gr/cm³) değerleri saptanmıştır. Belirlenen bu sonuçlara göre organik materyal arasında en düşük özgül ağırlığa sahip materyalin torf olduğu ve en yüksek özgül ağırlığın ise tütün tozunda olduğu belirlenmiştir.

Hacim Ağırlık (gr/cm³)

Araştırma materyali organik yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları 0.16-1.73 gr/ cm³ arasında değişmektedir (Çizelge 2). Organik materyaller arasında en yüksek hacim ağırlığa sahip olan ortamın organik gübre (0.73 gr/ cm³), en düşük hacim ağırlığa sahip olan ortamın torf (0.16 gr/ cm³) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Ortamların hacim ağırlık değerlerinin sırası ile; torf, talaş, saman, mısır koçanı, defne yaprağı, yer fıstığı kabuğu, çam kabuğu, at kestenesi, meşe palamutu, fındık zurufu, tütün tozu, organik gübre olduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

Çelte (1992), yaptığı çalışmada araştırma materyali organik bitki yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıklarının 0.100-0.385 gr/cm³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan organik materyallerin hacim ağırlıkları; ağaç kabuğu (0.244 gr/cm³), mısır koçanı (0.133 gr/cm³), saman (0.100 gr/cm³), tütün tozu (0.385 gr/cm³), talaş (0.188 gr/cm³), torf (0.196 gr/cm³) ve meşe palamutu (0.254 gr/cm³) olduğu saptanmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen hacim ağırlık değerlerine göre en düşük hacim ağırlığa sahip organik materyalin saman olduğu ve en yüksek hacim ağırlığına sahip materyalin ise tütün tozu olduğu belirlenmiştir.

İNORGANİK VE ORGANİK BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMLARININ KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMASI

İnorganik Bitki Yetiştirme Ortamlarının pH, Elektriksel İletkenlik (EC), Kireç (CaCO_3) ve Organik Madde İçerikleri

Araştırma materyali olarak kullanılan (vermikulit, pomza, perlit, cüruf, kum ve çakıl taşı) bitki yetiştirme ortamlarının pH, elektriki iletkenlik (EC), kireç (CaCO_3) ve organik madde içerikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. İnorganik bitki yetiştirme ortamlarının pH, EC, CaCO_3 ve organik madde içerikleri

Örnek	pH	EC(mS/cm)	CaCO_3 (%)	Organik Madde (%)
Vermikulit	6.96	0.13	2.20	0.88
Pomza	8.04	0.18	0.80	0.10
Çakıl taşı	7.68	0.19	1.20	0.24
Perlit	7.52	0.29	0.60	0.04
Cüruf	7.14	0.13	1.00	0.31
Kum	6.94	0.22	3.40	0.17
En Düşük	6.94	0.13	0.80	0.04
En Yüksek	8.04	0.29	3.40	0.88

pH

Araştırma materyali inorganik yetiştirme ortamlarının pH değerlerinin 6.94.-8.04 arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 3). En düşük pH değerine sahip materyalin kum ve en yüksek pH değerine sahip materyalin ise pomza olduğu belirlenmiştir. pH değerleri sırası ile kum, vermikulit, cüruf, perlit, çakıl taşı, pomza olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çelte (1992), yaptığı bir çalışmada, inorganik materyal olarak kullanılan ortamların pH değerleri 5.50-6.67 arasında değiştiğini belirlemiştir. Araştırmada inorganik materyallerin pH değerleri; perlit (6.33), kum (5.50) ve cüruf (6.67) olduğu saptanmıştır. En düşük pH değerine sahip ortamın kum olduğu ve en yüksek pH değerine sahip ortamın ise cüruf olduğu saptanmıştır.

Elektriki İletkenlik (EC,mS/cm)

Araştırma sonuçlarına göre inorganik yetiştirme ortamlarının EC değerlerinin 0.13-0.29 mS/cm arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 3). Araştırma sonuçlarına göre en yüksek EC değerine sahip olan inorganik materyalin perlit (0.29 mS/cm), en düşük EC değerine sahip materyalin ise cüruf (0.13 mS/cm) olduğu saptanmıştır. Çizelge 3’de de görüldüğü gibi inorganik materyallerin EC değerlerinin en küçükten en büyüğe doğru sırasıyla; cüruf, vermikulit, pomza, çakıl taşı, kum, perlit şeklinde sıralandığı belirlenmiştir.

Çeltek (1992), yaptığı araştırmada kullandığı inorganik ortamların EC değerlerinin; perlit (0.00 mmhos/cm), kum (0.10 mmhos/cm) ve cüruf (0.10 mmhos/cm) olduğu değiştiği saptanmıştır. İnorganik materyallerden perlitin EC değeri sıfır olarak ölçülmüştür. Kum ve cüruf’un EC değerlerinin ise birbirine eşit olduğu belirlenmiştir.

Kireç (CaCO_3 , %)

Katı ortam kültüründeki bitki yetiştirme materyallerini temsil eden inorganik materyallerin CaCO_3 içerikleri %0.6-3.4 arasında değişmektedir. İnorganik materyaller arasında en düşük CaCO_3 miktarına sahip olan ortamın perlit (%0.6), en yüksek CaCO_3 miktarına sahip olan ortamın ise kum (%3.4) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Araştırma materyali inorganik ortamların CaCO_3 miktarının en düşük değerden en büyük değere doğru sırasıyla; perlit, pomza, cüruf, çakıl taşı, vermikulit, kum, şeklinde değiştiği saptanmıştır (Çizelge 3).

Çeltek (1992), yaptığı çalışmada CaCO_3 değerlerinin arasında %0.25 3.61 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan inorganik materyallerin CaCO_3 değerleri; perlit (%0.25), kum (%3.61) ve cüruf (%0.90) olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu sonuçlara göre inorganik materyaller arasında en düşük CaCO_3 değerine sahip materyalin perlit olduğu ve en yüksek CaCO_3 ise kum olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak inorganik materyallerden hiçbirinin bitki gelişimi olumsuz etkileyecek düzeyde CaCO_3 içermediği saptanmıştır.

Organik Madde (%)

İnorganik yetiştirme ortamlarının organik madde miktarları %0.04-0.88 arasında değişmektedir (Çizelge 3). İnorganik materyaller arasında en yüksek organik madde miktarına sahip olan ortamın vermikulit (%0.88), en düşük organik madde miktarına sahip olan ortamın perlit (%0.04) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Ortamların organik madde

miktarları sırası ile; perlit, pomza, kum, çakıl taşı, cüruf, vermikulit, şeklinde artış gösterdiği belirlenmiştir.

Çeltek (1992), yaptığı çalışmada araştırma materyali inorganik bitki yetiştirme ortamlarının organik madde miktarının perlit (%0.00), kum (%0.65) ve cüruf (%0.38) olduğu saptanmıştır. İnorganik materyallerden perlitin organik madde değeri sıfır olduğu ve bu perlitin herhangi bir organik madde içeriğine sahip olmadığını göstermektedir.

Usluer (2008), organik (cocopeat) ve inorganik (perlit ve zeolit) materyallerin eşit oranlarda karışımından 7 farklı yetiştirme ortamı (perlit, zeolit, 44 cocopeat, perlit+zeolit, perlit+cocopeat, zeolit+cocopeat, perlit+zeolit+cocopeat) hazırlayarak topraksız kültürde yetiştirilen baş salatanın verim ve kalite üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu 7 farklı yetiştirme ortamından en düşük pH değerini 5.57 ile perlit+cocopeat, en yüksek pH değerini 7.55 ile zeolitin verdiği saptanmıştır. Buna göre pH değerinin 5.57-7.55 arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca en düşük tuz değerinin %0.35 ile perlit+zeolitte, en yüksek tuz değerinin %0.105 ile perlit+zeolit+cocopeatta olduğu saptanmıştır. Tuz değerinin %0.35 0.105 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada 7 farklı yetiştirme ortamında en düşük organik madde miktarı %0.39 ile perlit+zeolit+cocopeatta olduğu, en yüksek organik madde miktarının %2.44 ile zeolitte olduğu saptanmıştır.

Yıldız (2018), yapılan bu çalışmada topraksız tarım yetiştiriciliği ile cocopeat, vermikulit, perlit, kaya yünü, su kültürü ve aeroponik ortamlar kullanılarak havuç bitkisinin verimi ve etkileri üzerine araştırma yapılmıştır. Uygulama sonucunda pH değerleri; vermikulit (6.40), perlit (6.47), kaya yünü (6.30), olduğu saptanmıştır. Ayrıca EC değerleri ise; vermikulit (7.65 ds/m), perlit (7.66 ds/m), kaya yünü (7.84 ds/m), olduğu saptanmıştır.

Çakırer (2015), yaptığı bu çalışmada çeltik kavuzunun topraksız kültür salata yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarını araştırılmıştır. Çalışmada cocopeat, torf, perlit, doğal çeltik kavuzu, öğütülmüş çeltik kavuzu ve karbonize çeltik kavuzu olmak üzere 6 farklı ortam kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonuçlarına göre pH değeri; perlit (5.93) olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde organik ortamların inorganik ortamlara göre pH değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca perlitin pH değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Organik Bitki Yetiştirme Ortamlarının pH, Elektriksel İletkenlik (EC), Kireç (CaCO_3) ve Organik Madde İçerikleri

Araştırma materyali olarak kullanılan organik bitki yetiştirme ortamlarından (çam kabuğu, defne yaprağı, yer fıstığı kabuğu, meşe pa-

lamutu, fındık zurufu, at kestenesi tütün tozu, torf, mısır, talaş, organik gübre, saman) örneklerinin pH, EC, CaCO₃ ve organik madde içerikleri, Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Organik bitki yetiştirme ortamlarının pH, elektriki iletkenlik (EC), kireç (CaCO₃) ve organik madde içerikleri

Örnek	pH	EC (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	Organik Madde (%)
Çam kabuğu	5.69	0.66	2.40	94.40
Defne yaprağı	5.58	2.34	8.40	98.00
Yer fıstığı	5.66	2.82	2.00	93.68
Meşe palamutu	4.84	3.73	0.80	94.98
Fındık kabuğu	6.17	0.52	0.80	98.90
At kestenesi	5.02	5.43	2.40	92.30
Tütün tozu	6.89	2.85	30.40	30.44
Torf	6.29	107	5.00	88.70
Mısır	5.66	1.72	1.00	97.72
Talaş	5.59	0.48	2.60	98.75
Saman	6.18	5.28	2.60	91.12
Organik gübre	7.78	4.58	26.00	33.81
En Düşük	4.84	0.48	0.80	30.44
En Yüksek	7.78	5.43	30.40	98.90

pH

Araştırma materyali organik yetiştirme ortamlarının pH değerlerinin 4.84-7.78 arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4). En düşük pH değerine sahip materyalin meşe palamutu, en yüksek pH değerine sahip materyalin ise organik gübre olduğu belirlenmiştir. Organik ortamların pH değerleri sırasıyla; meşe palamutu (4.84), at kestenesi (5.02), defne yaprağı (5.58), talaş (5.59), yer fıstığı kabuğu (5.66), mısır koçanı (5.66), çam kabuğu (5.69), fındık zurufu (6.17), 46 saman (6.18), torf (6.29), tütün tozu (6.89), organik gübre (7.78) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çelte (1992), yaptığı bir çalışmada, organik materyal olarak kullanılan ortamların pH değerleri 4.46-6.84 arasında değiştiğini belirlemiştir. Araştırmada organik materyallerin pH değerleri; ağaç kabuğu (6.13), mısır koçanı (5.49), saman (6.80), tütün tozu (5.70), talaş (5.50), torf (6.60),

meşe palamutu (4.46) ve 47 pirinç kapçığı (6.84) olduğu saptanmıştır. En düşük pH değerine sahip organik materyalin meşe palamutu olduğu ve en yüksek pH değerine sahip organik materyalin ise pirinç kapçığı olduğu belirlenmiştir.

Bunt (1988), ABD’de yapılan çalışmalarda taze çam kabuklarının pH değerleri yaklaşık olarak 4,0.-4,3 arasında bulunurken, İngiltere’de yapılan çalışmada pH değerlerinin yaklaşık 5,0-5,2 arasında olduğu saptanmıştır.

Yıldız (2018), yapılan bu çalışmada topraksız tarım yetiştiriciliği ile cocopeat, vermikulit, perlit, kaya yünü, su kültürü ve aeroponik ortamlar kullanılarak havuç bitkisinin verimi ve etkileri üzerine araştırma yapılmıştır. Uygulama sonucunda cocopeat (6.38) pH değeri olduğu saptanmıştır.

Çakırer (2015) yaptığı bu çalışmada çeltik kavuzunun topraksız kültür salata yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarını araştırılmıştır. Çalışmada cocopeat, torf, perlit, doğal çeltik kavuzu, öğütülmüş çeltik kavuzu, ve karbonize çeltik kavuzu olmak üzere 6 farklı ortam kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde cocopeat ortamı en yüksek pH değerine sahip olduğu saptanmıştır

Elektriki İletkenlik (EC,mS/cm)

Araştırma sonuçlarına göre organik yetiştirme ortamlarının EC değerlerinin 0.48-5.43 mS/cm arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4). Organik materyaller arasında en düşük EC sahip olan ortamın talaş (0.48 mS/cm), en yüksek EC sahip olan ortamın ise at kestanesi (5.43 mS/cm) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çeltek (1992), yaptığı araştırmada kullandığı organik ortamların EC değerleri; ağaç kabuğu (0.20 mmhos/cm), mısır koçanı (0.90 mmhos/cm), saman (2.70 mmhos/cm), tütün tozu (4.00 mmhos/cm), talaş (0.15 mmhos/cm), torf (0.45 mmhos/cm), meşe palamutu (0.30 mmhos/cm) ve pirinç kapçığı (0.25 mmhos/cm) olduğu saptanmıştır. Organik materyallerin EC değerleri 0.15-4.00 mmhos/cm arasında değişmektedir. En düşük EC değerine sahip organik materyalin talaş olduğu ve en yüksek EC değerine sahip organik materyalin ise tütün tozu olduğu belirlenmiştir.

Kireç (CaCO_3 , %)

Katı ortam kültüründeki bitki yetiştirme materyallerini temsil eden organik materyallerin CaCO_3 içeriklerinin %0.80-30.40 arasında değişmektedir. Organik materyaller arasında en düşük CaCO_3 miktarına sa-

hip olan ortamın meşe palamutu ve fındık zurufu (% 0.80), en yüksek CaCO_3 miktarına sahip olan ortamın ise tütün tozu (%30.40) olduğu belirlenmiştir. Araştırma materyali organik ortamların CaCO_3 miktarının en düşükten en büyük değere doğru sırasıyla; meşe palamutu (%0.80), fındık zurufu (%0.80), mısır koçanı (%1.00), yer fıstığı kabuğu (%2.00), çam kabuğu (%2.40), at kestanesi (%2.40), talaş (%2.60), saman (%2.60), torf (%5.00), defne yaprağı (%8.40), organik gübre (%26.00), tütün tozu (%30.40) olduğu belirlenmiştir. Araştırma materyali organik yetiştirme ortamlarının organik madde miktarları %30.44-98.90 arasında değişmektedir (Çizelge 4).

Çeltek (1992), yaptığı çalışmada CaCO_3 değerlerinin %0.08-3.50 arasında değiştiğı belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan organik materyallerin CaCO_3 değerleri ağaç kabuğu (0.75) mısır koçanı (%1.25), saman (%1.17), tütün tozu (%3.50), talaş (%0.83), torf (%0.08), meşe palamutu (%0.66) ve pirinç kapçığı (%0.74) olduğu belirlenmiştir. Organik materyaller arasında en düşük CaCO_3 değerinin torf'ta olduğu ve en yüksek CaCO_3 değerinin ise tütün tozunda olduğu belirlenmiştir.

Organik Madde (%)

Organik materyaller arasında en yüksek organik madde miktarına sahip olan ortamın fındık zurufu (%98.90), en düşük organik madde miktarına sahip olan ortamın tütün tozu (%30.44) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Organik ortamların organik madde miktarları sırasıyla; tütün tozu (%30.44), organik gübre (% 33.81), torf (% 88.70), saman (%91.12), at kestanesi (%92.30), yer fıstığı kabuğu (%93.68), çam kabuğu (%94.40), meşe palamutu (% 94.98), mısır koçanı (%97.72), defne yaprağı (%98.00), talaş (%98.75), fındık zurufu (%98.90) olduğu saptanmıştır.

Çeltek (1992), yaptığı çalışmada araştırma materyali organik bitki yetiştirme ortamlarının organik madde miktarının ağaç kabuğu (%81.06), mısır koçanı (%91.18), saman (%83.75), tütün tozu (%54.55), talaş (%92.88), torf (%78.19), meşe palamutu (%85.38) ve pirinç kapçığı (%80.28) olduğu saptanmıştır. Organik materyallerin organik madde değerlerinin %54.55-92.88 arasında değiştiğı belirlenmiştir. Organik materyaller arasında en düşük organik madde değerinin tütün tozunda olduğu ve en yüksek organik madde değerinin ise talaşta olduğu belirlenmiştir.

Dönmez (2015), topraksız tarım yetiştiriciliğinde bazı bölgesel atıklardan (fındık zurufu, çeltik kavuzu ve çay atığı) elde edilen (I ve II) ortamlar ile kaya yünü ve Hindistan cevizi lifinin salkım domates çeşidinin verim ve kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Hindistan cevizi lifi ortamı salkım domates çeşidinin verim ve kalite yö-

nünden olumlu yönde etkilemiştir. Yapılan bu araştırmada I. ortamdaki ilk ölçüm sonuçlarına göre; organik madde değerinin %48 olduğu saptanmıştır. II. Ortamda ki ilk ölçüm sonuçlarına göre ise organik madde değerinin %48 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca son olarak ilk Hindistan cevizi lifinin organik madde değerinin ise %87 olduğu saptanmıştır.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular bu konuda farklı materyallerle çalışma yapan birçok araştırmacının bulgularıyla benzerlik göstermekte ve uyum içinde olduğu belirlenmiştir (Tehraniifar vd., 2007; Turhan, 1996; İnal, 2010; Ünal, 2019; Sevinç, 2019).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Katı ortam kültüründe kullanılan inorganik (vermikulit, pomza, perlit, cüruf, kum ve çakıl taşı) ve organik (çam kabuğu, defne yaprağı, yer fıstığı kabuğu, meşe palamutu, fındık zurufu, at keşanesi, tütün tozu, torf, mısır koçanı, talaş, organik gübre, saman) olmak üzere toplam 18 adet bitki yetiştirme ortamı materyallerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelendiği araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda matdeler halinde özetlenmiştir.

1. Araştırmada kullanılan inorganik ve organik bitki yetiştirme ortamlarının su tutma kapasiteleri incelendiğinde, inorganik materyallerde en yüksek su tutma kapasitesine sahip materyalin perlit, organik materyallerde ise torf olduğu belirlenmiştir.
2. Araştırma materyali inorganik bitki yetiştirme ortamlarından en yüksek özgül ağırlık ve hacim ağırlık değerine sahip ortamların pomza, perlit, kum ve çakıl olduğu; organik bitki yetiştirme ortamlarından at keşanesi, mısır koçanı, talaş, saman, yer fıstığı kabuğu ve tütün tozunun, özgül ağırlık değerlerinin; meşe palamutu, fındık zurufu, tütün atığı ve organik gübrenin hacim ağırlık değerlerinin diğer ortamlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
3. Katı ortam kültüründe kullanılan ortamların pH değerleri incelendiğinde inorganik materyallerden vermikulit, kum ve cüruf'un pH değerlerinin birbirine yakın ve katı ortam kültürü için ideal olduğu, organik materyaller arasında ise en düşük pH değerine sahip materyalin meşe palamutu olduğu, organik gübre dışında tüm ortamların katı ortam kültüründe kullanılabileceği belirlenmiştir.
4. Araştırma materyali ortamların EC değerleri incelendiğinde, inorganik materyallerden en yüksek EC değeri perlitte, organik

materyallerde ise at kestanesinde belirlenmiştir. İnorganik yetiştirme ortamlarının EC değerlerinin düşük olduğu tuzluluk yönünden herhangi bir sorun olmadan kullanılabilceği, organik ortamlardan ise fındık zurufu, çam kabuğu ve talaşın en uygun ortamlar olduğu saptanmıştır.

5. İnorganik yetiştirme ortamlarının CaCO_3 düzeylerinin düşük seviyede olduğu, en düşük CaCO_3 içeriğine sahip materyalin pomza olduğu, organik yetiştirme ortamları içinde tütün tozu, defne yaprağı ve organik gübresiında CaCO_3 içeriklerinin düşük düzeyde olduğu, en düşük CaCO_3 içeriğine sahip materyalin ise meşe palamutu ve fındık zurufu olduğu belirlenmiştir.
6. Araştırma materyali ortamların organik madde içeriklerine ait bulgular incelendiğinde inorganik yetiştirme ortamlarının organik madde içeriklerinin düşük düzeyde olduğu, organik yetiştirme ortamlarının organik madde içeriklerinin ise yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. İnorganik materyaller arasında en düşük organik madde içeriği perlitte (%0.04), en yüksek organik madde içeriği ise vermikulitte (%0.88) saptanmıştır. Organik materyaller arasında tütün tozu en düşük organik madde (%30.44) içeriğine sahip iken diğer tüm ortamların organik madde içeriği tütün tozundan çok daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Elde edilen bu bulgular sonucunda, araştırmada materyali katı ortam kültüründe kullanılan organik ve inorganik bitki yetiştirme materyallerinin tek başına değil de, belirli oranlarda karıştırılması sonucu bir harç materyalinin hazırlanması ve hazırlanan bu harç materyalinde yetiştirilecek bitkinin besin maddesi ihtiyacına göre de uygun bir gübreleme programının yapılmasının daha uygun olacağı önerilmektedir.

KAYNAKLARDİZİNİ

- Adamson, R. M.; Maas, E. F. (1971).** Sawdust and other soil substitutes and amendments in greenhouse tomato production. Horticultural Science 6: 397-9.
- Black, C.A., (1965).** Methods of soil analysis part-II. Amer.Soc. of Agronomy-Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA, 1372-1376
- Çakırer, G., (2015).** Çeltik Kavuzunun Topraksız Kültür Salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Yetiştiriciliğinde Kullanılma Olanakları. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Türkiye.
- Çeltek, M., (1992).** Topraksız Kültür Ortamında Kullanılabilecek Harç Materyallerinin Özelliklerinin Belirlenmesi Ege Üniv. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı Y.L. Tezi, İzmir.
- Dönmez, İ., (2015).** Bazı Bölgesel Atıkların Topraksız Tarımda (Torba Kültürü) Kullanılabilme İmkanlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye.
- Gardner, W.H., (1986).** Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, No: 9, 493-544, Madison, Wisconsin, USA.
- Gül, A., (2012).** Topraksız tarım. Hasad Yayıncılık, 2. Baskı, 140 s, İstanbul.
- Hunt, N. and Gilkes, R., (1992).** Farm Monitoring Handbook. The University of Western Australia: Netherlands, WA
- İnal O., (2010).** İnorganik ve Organik Maddeler Karıştırılmış Cibrenin, Fide Üretiminde ve Topraksız Tarımda, Yetiştirme Ortamı Olarak Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye 75
- Jackson., M.L., (1967).** Soil Chemical Analysis, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Mitscherlich, E.A., (1954).** Bodenkunde für Landwirte, Först und Gärtner. 7 thedition.- Parey Verlag, Berlin.
- Richards, L.A Ed., (1954).** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture Handbook 60:94.
- Saatçi, F., Tuncay, H., Altınbaş, Ü., Akıncı, M.Ç., (1983).** Toprak ve Su Analiz Yöntemleri. Ege Ü. Z. F. Teksir No: 18-II. Bornova.
- Schlichting, E. und Blume, H.P., (1966).** Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin Pp:94
- Sevgican, A. (2003).** Örtü altı Sebzeciliği (Topraksız Tarım) Genişletilmiş 2. Basım Cilt II, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526, Ege Üniv. Basımevi, Bornova-İzmir.
- Sevinç, Ş., (2019).** Topraksız çilek yetiştiriciliğinde farklı yetiştirme ortamları ve sulama programlarının verim ve su tüketimine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tehranifar, A., Poostchi, M., Arooei, H. and Nematti, H., (2007).** Effect of seven substrates on qualitative and quantitative characteristics of three

strawberry cultivars undur soilles culture. *Acta Horticulturae*, 761, 485-488. doi: 10.17660/ ActaHortic.2007.761.67 77

- Turhan E., (1996).** Bir Topraksız Tarım Şekli Olan Saksı Kültüründe Farklı Yetiştirme Ortamlarının Sera Marul Yetiştiriciliğinde Verime Etkisi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Türkiye.
- Tüzüner, A., (1990).** Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- U.S. Salinity Lab. Staff., (1969).** Diagnosis and impravement of sajjine and alkali soils. Handbook No. 60 U.S. Dept. Agr. USA
- U.S. Soil Survey Staff., (1951).** Soil Survey Manual. U.S. Department Agriculture Handbook.No.18. U.S Government Printing Office Washington
- Usluer, O., (2008).** Farklı Ortamlar Kullanılarak Topraksız Yetiştirilen Başsalatada (*Lactuca sativa* var. *capitata*) Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Türkiye.
- Ünal, N., (2019).** Topraksız çilek yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamları ve faydalı bakteri kullanımının verim ve kaliteye etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yıldız S.N., (2018).** Topraksız Yetiştiricilik Ortamlarının Havuçta Verim ve Kaliteye Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniveristesi, Türkiye.

Bölüm 2

FARKLI DOZLARDA AZOTLU GÜBRE UYGULAMALARININ KALANCHOE CALANDİVA VE CAMPANULA BİTKİLERİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bülent YAĞMUR¹, Gökçe ALYÖRÜK IŞIK²

1 Dr.Öğr.Üy.Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bornova-İZMİR

E-mail:bulent.yagmur@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7645-8574 Sorumlu Yazar

2 Zir.Yük. Müh. Yüksek Lisans Tez Çalışması "Farklı Dzlarda Azotlu Gübre Uygulamalarının Kalanchoe Calandiva ve Campanula Bitkilerinin Beslenme ve Kalitesi Üzerine Etkisi" Danışman Dr.Öğ.Üy. Bülent YAĞMUR E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 68 sayfa

GİRİŞ

İç mekan süs bitkileri; ilerleyen teknoloji, sanayileşme ve iç göçlerle birlikte hızlı bir kentleşme içinde olan ve doğal çevrenden uzaklaşan insanların, ev, büro, otel, fabrika ve çeşitli işyerlerinin dinlenme salonlarında iç mekan süs bitkileri olarak kullanılan saksılı bitkileri ve bunların üretim materyeli olan çelikleri, tohumları ve yumruları kapsamaktadır. İç mekan süs bitkileri insanların monoton günlük hayatına renk veren ve yaşadıkları çevreyi güzelleştiren varlıklarıdır. İç mekan süs bitkileri, salon bitkileri veya saksı bitkileri olarak da adlandırılmaktadırlar. Artık bu gereksinim niteliği almış olan süs bitkileri ulusların kültür düzeyi ve yaşam standardı arttıkça daha fazla tüketilmekte ve buna bağlı olarak üretiminde de artış gözlenmektedir.

Tüm kültür bitkileri gibi iç mekan süs bitkileri yetiştiriciliğinde de amaç nicelik ve nitelik yönünden yüksek ürün elde etmektir. Bu amaca ulaşmak için alınan kültürel önlemlerin başında gübreleme gelmektedir. İç mekan süs bitkilerinde uygun olan gübreleme biçimi, bitkinin gelişme dönemlerine bağlı olarak besin maddeleri arasındaki dengenin uygun biçimde ayarlanabildiği bir gübrelemedir. Söz gelişi, vejetatif gelişimin başlangıcında (genellikle ilkbaharda) veya genç bitkilerde azot(N)'ça zengin bir gübreleme programı uygundur. Böylece bitkinin yaprak ve sürgün oluşumu hızlandırılmış olur (Ayhan, 2015).

Süs bitkileri yetiştiriciliği küçük bir alan teşkil etse de büyük ekonomik öneme sahiptir, bu derece ekonomik öneme sahip süs bitkilerinde sağlıklı bir üretim için yetiştirme ortamının kalitesinin yükseltilmesi ve korunması gerekmektedir. Bu amaca uygun olarak yapılan kültürel işlemler içerisinde gübrelemenin özel bir yeri vardır.

Çiçek oluşumunun kontrolü, bitkilerin çapraz tozlaşma ve çiçekli bitki üretimi için yararlılığını belirlediğinden, çiçekçilik endüstrisindeki en önemli amaçlardan biridir. *Kalanchoe* cinsi, yaklaşık 140 tür ve çok çeşitli morfolojik özelliklere sahip çok sayıda türler arası melez içermekte, bu da *Kalanchoe* cinsini dünyadaki en çok yetiştirilen saksı bitkilerinden biri haline getirmektedir. Ticari türler, kısa gün fotoperiyodu ile kolayca çiçeklenmeye teşvik edilmekte, ancak üreme için kullanılan türlerin sayısı, çiçek indükleyici faktörlerin bilgi eksikliğinden dolayı sınırlılık içermektedir. Birçok çalışmada gece sıcaklıklarının, bazı *Kalanchoe* türlerinde çiçeklenmeyi olumlu yönde etkileyebileceği öne sürülmüştür (Sharma, 1973; Kroon et al., 1989; Coelho et al., 2018).

Azot genellikle bitkilerin en fazla ihtiyaç duyduğu elementtir ve bu nedenle tarımda en fazla tüketilen gübre azotlu gübredir Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında

yapılan bu çalışmada iç mekan süs bitkilerine (*Kalanchoe Calandiva* ve *Campanula*) farklı dozlarda azotlu gübre uygulanarak maksimum kalite ve gelişmenin kaydedildiği en uygun azotlu gübre dozu belirlenmeye çalışılmıştır.

KALANCHOE BİTKİSİ



Şekil 1. *Kalanchoe Calandiva* (Lena, Danielle, Lindsay).

GENEL ÖZELLİKLERİ

Kalanchoe'nın bitkiler âlemindeki yeri

Alem : Plantae

Şube : Magnoliophyta

Sınıf : Rosopsida

Familya : Crassulaceae

Cins : *Kalanchoe*

Tür : *Kalanchoe blossfeldiana*

Türkçe Adı : Ateşli katy

Halk arasında “Kalanşo bitkisi” şeklinde adlandırılan “*Kalanchoe*”, evlerde ve ofislerde yetiştirilen bir süs bitkisidir (Kızıl ve Çiftçi, 2018). *Kalanchoe*, *Crassulaceae* familyasına ait yaygın bir çiçekli bitki cinsidir. Çoğunlukla Madagaskar, Doğu ve Güney Afrika'ya özgü etli bitkiler olan yaklaşık 140 türden oluşmaktadır (Descoings, 2003). *Kalanchoe* cinsi ilk olarak 1763 yılında botanikçi Michel Adanson tarafından tanımlanmıştır. 1947’de Mannoni ve Boiteau bu cinsi *Kalanchoe*, *Bryophyllum*

ve *Kitchingia* olmak üzere üçe ayırmışlardır. Bu farklılık hala tanınmaktadır ve bazı botanikçiler bu bölümleri ayrı cinsler olarak ele almışlardır (Akulova-Barlow, 2009).

Kalanchoe blossfeldiana evlerde yetiştirilebilen, çok dayanıklı, succulent özellikli, kışın çiçeklenen bir süs bitkisidir. Katmerli çiçek açan kültürlerine calandiva denir. *Kalanchoe calandiva*'nın Türkçe adı Ateşli Katy'dir ve kompakt görünümüdür. Aşırı boylu varyetelerinde çiçekler akşam kapanır. Boylu varyetelerinde gece gündüz çiçekler açıktır. Kısa gün bitkisidir. Çiçek açması için belli gün ve saatlerde karanlıkta bırakılması gerekir.

Kalanchoe blossfeldiana, cinsin en çok kullanılan türüdür ve ticari olarak diğer türlerin birçoğunun ortaya çıkmasını sağlamıştır. *Kalanchoe* kültürleri çok çiçeklenme, her bir çiçeğin uzun ömürlü olması, hasat sonrası performans ve düşük bakım gereksinimleri nedeniyle saksı bitkileri olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Mackenzie et al., 2018). *Kalanchoe*, 2017 yılında 69 milyon Euro ciro ile Avrupa'nın ekonomik açıdan en önemli ikinci saksı bitkisidir (Jashim et al., 2018). *Kalanchoe* ayrıca kesme çiçek olarak giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır (Mackenzie et al., 2018). Yeni kültürlerin yetiştirilmesi, 1930'ların başında çeşitli çiçek renklerine sahip kompakt kültürlerin geliştirilmesini amaçlanarak başlanmıştır (Cui et al., 2019). *Kalanchoe*'nun en fazla çeşidinin bulunduğu yer Madagaskar'dır. Diğer birçok tür, güney ve doğu Afrika ve Güneydoğu Asya'da yer almaktadır.

Sukulent karaktere sahip *Kalanchoe blossfeldiana* yaprakları etli, parlak yeşil renge sahip, kenarları dişli, çiçekleri kırmızı, beyaz, sarı, turuncu, pembe ve mor renkli bir bitkidir. Kış aylarında çiçek açmakta ve bu çiçekler 7-8 hafta canlılığını korumaktadır (Izumikawa et al., 2008). Kısa gün bitkisi olan *Kalanchoe blossfeldiana*'nın kritik gün uzunluğu 12.5 saattir. Tomurcuk oluşması için gereken günlük karanlık periyodun 14 saat olması gereklidir. Çiçeklenme için en az 2 kısa güne gereksinim duyulmaktadır ve kısa gün sayısı arttıkça çiçek sayısı da artış göstermektedir (Gümüş ve Ellialtıoğlu, 2018). Bu nedenle fotoperiyot ve çiçek oluşumu ilişkisinde model olarak kullanılmaktadır (Schwabe, 1985). Bitkinin optimum gelişme sıcaklığı 18-20 °C olup, en iyi çiçeklenme için gerekli sıcaklık 21°C'dir (Gümüş ve Ellialtıoğlu, 2018).

Kalanchoe pek çok kültürde farklı tedavi seçeneği olarak kullanılmaktadır. Bazı türler olağanüstü iyileştirici özellikleri nedeniyle "mucize yaprak" olarak adlandırılmış ve çeşitli bölgelerin geleneksel ilaçlarında bir dizi *Kalanchoe* türü kullanılmıştır. Örneğin; Filipinler'de *K. laciniata*'nın yaprakları kronik ülserlere, yaralara ve iltihaplara uygulanmakta, baş ağ-

rılarını geçirmek için kullanılmakta ve safra taşlarının tedavisi için suyu sıkılarak tüketilmektedir. Uganda'da insanlar boğaz ağrısını tedavi etmek için *K. crenata*'nın yapraklarını çığnerler ve yaprakları yumuşatarak vücudun şişmiş bölgelerine masaj yaparak sürülebilen bir krem haline getirirler. Güney Amerika'da *Kalanchoe* türleri kanser, inflamasyon, ateş, öksürük, baş ağrısı ve diğer birçok hastalığı tedavi etmek için kullanılmaktadır (Akulova-Barlow, 2009). *Kalanchoe* türlerinin tıbbi özellikleri bilimsel olarak doğrulanmıştır. Rus farmakologlar, dört *Kalanchoe* türünün (*K. blossfeldiana*, *K. pinnata*, *K. beharensis* ve *K. waldneimii*) suyun da virüs nötralize edici aktivite keşfetmişlerdir (Shirobokov et al., 1981). Japonya'daki bilim adamları ise *Kalanchoe* türlerinde antitümör aktivite keşfederek potansiyel kanser kemoterapi ajanları olarak kullanılmalarını önermişlerdir (Supratman et al., 2001).

CAMPANULA BİTKİSİ



Şekil 2. *Campanula* (*Deep Blue Ocean*, *Blue Ocean*).

GENEL ÖZELLİKLERİ

Campanula'nın bitkiler âlemindeki yeri

Alem : Plantae

Şube : Magnoliophyta-Kapalı Tohumlular

Sınıf : Magnoliopsida

Takım : Campanulales

Familya : Campanulaceae

Cins: *Campanula* sp.

Türkçe Adı : Çan Çiçeği

Tarihsel süreçte *Campanula* türleri öncelikle dış mekânlarda süs bitkisi olarak kullanılmıştır. Genellikle bahçelerde tercih edilen *Campanula* türleri *C. cochleariifolia*, *C. glomerata* ve *C. medium*'dur. Daha sonra çiçekli saksı bitkileri olarak *C. carpatica*, *C. isophylla*, *C. rotundifolia* ve *C. pyramidalis* kullanılmıştır. Ardından yakın zamanda kesme çiçek olarak *C. glomerata*, *C. medium*, *C. persicifolia* ve *C. pyramidalis* kullanılmaya başlanmıştır (Gülbağ, 2017). *Campanula* uzun ömürlüdür. Türkçe adı Çan Çiçeği'dir ve 0-25 °C arasında hayatta kalabilen *Campanula*'nın en uygun ortamı 15-20 °C arasındır. Sulama işleminin kış aylarında haftada 2 defa, yaz aylarında haftada 3 defa yapılması önerilir.

Yaşam süresi açısından *Campanula*, cüce kutup ve alpin türlerinden büyük ılıman otlak ve ormanlık türlere kadar farklı özellikler gösteren tek yıllık, iki yıllık ve çok yıllık türlerden oluşmaktadır (Khansari et al., 2012). *Campanula* L., Campanulaceae familyasının en geniş cinsidir ve yaklaşık 420'tür Güney ve doğu Afrika, güney Asya ve kuzey Meksika'ya yayılmıştır (Lammers, 2007). Daha güncel bir çalışmada *Campanula* L.'nin yaklaşık 580-600 tür olduğu belirtilmektedir (Mansion et al., 2012). *Campanulaceae*'nin en kapsamlı cinsi *Campanula* L.'dir. Dağılımı Kuzey Yarımküre'de olup çayırlar, otlaklar, ormanlık alanlar ve genellikle kayalık alanlar gibi çeşitli habitatlarda yetişen yıllık ve çok yıllık taksonlarla temsil edilmektedir (Roquet et al., 2008). *Campanula* türünün ana tür çeşitliliği merkezleri, özellikle Doğu Akdeniz dağ sıraları ve Kafkasya bölgesidir ve bu bölgede yayılım gösteren yaklaşık 150 tür bulunmaktadır (Fedorov ve Kovanda, 1976; Contandriopoulos, 1984).

Campanula, Türkiye'de 126 tür (toplam 138 takson) ile temsil edilmekte olup, 66 takson endemiktir (Damboldt, 1978; Güner, 2000; İkinci, 2012; Yıldırım, 2013; Mutlu ve Karakuş, 2015). Damboldt (1978) Türkiye'deki *Campanula* türlerini *Campanula Megalocalyx* Damboldt, *Rapunculus* (Fourr.) Charadze, *Roucela* (Dumort.) Damboldt, *Brachycodonia* (Fed.) Damboldt, *Sicyodon* (Feer) Damboldt ve *Campanula* olmak üzere 6 alt cins şeklinde değerlendirmiştir. *Campanula* türleri, geleneksel halk hekimliğinde kulak ağrıları için kullanılmakta ve dünyada "harebell" olarak adlandırılmaktadır. Öte yandan Türkiye'de yaraların iyileştirilmesi için kullanılan türler çançiçeği olarak da bilinmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırma sera koşullarında saksı denemesi olarak yürütülmüştür.



Şekil 3. Kalanchoe Calandiva Lena.



Şekil 4. Campanula Deep Blue Ocean.

Harç materyali

Araştırmada, yetiştirme ortamı olarak kullanılan torf + perlit karışımına ait kimi fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yetiştirme ortamı analiz sonuçları

Yapılan Analizler	Torf	Torf+Perlit
pH	6,35	6,35
EC mS/cm	0,82	0,34
Organik Madde (%)	57,18	41,25
Toplam N (%)	0,840	0,252
Toplam P (%)	0,070	0,049
Toplam K (%)	0,098	0,049
Toplam Ca (%)	1,58	1,58
Toplam Mg (%)	0,55	0,42
Toplam Na (ppm)	288,9	358,2
Toplam Fe (ppm)	162,0	103,0
Toplam Zn (ppm)	31,1	25,7
Toplam Cu (ppm)	17,4	6,1
Toplam Mn (ppm)	70,1	55,8

Bitki materyali

Araştırma materyalini Queen Flowers firmasından temin edilen torfu perlit ve cocopeat içeren karışimli saksılara dikilmiş olan Kalanchoe Calandiva bitkisinin Lindsay, Danielle ve Lena olmak üzere 3 çeşidi ile ve Campanula bitkisinin White Ocean, Blue Ocean ve Deep Blue Ocean oluşturmaktadır.

Azot (N)

Tüm bitkilerin temel ana besin maddeleri, Azot, Fosfor, Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum ve diğer mikro elementlerdir. Bu besin elementlerine bitkiler gelişme, olgunluk, çiçek ve dinlenme evrelerinde farklı miktarlarda ihtiyaç duyarlar. Örneğin; vejetatif gelişimin başlangıcında (genellikle İlkbaharda) veya genç bitkilerde azot (N)'ça zengin bir gübreleme programı uygundur. Böylece bitkinin yaprak ve sürgün oluşumu hızlandırılmış olur. Tomurcuklanma ve çiçek açma döneminde ise, çiçeklenmeyi özendirmek ve çiçek kalitesini artırmak için fosfor (P) ve potasyum (K) ağırlıklı gübreler kullanılması uygundur.

İyi bir çiçekli bitki için gübre karışımı çok fazla azot içermemelidir. Eğer bu bitkilerin beslenmesinde azotlu gübre fazlaca kullanılırsa yaprak gelişimi hızlanır ve gübrenin çok yararlı olduğu izlenimini verir. Ancak, daha sonraki dönemlerde çiçek oluşumunun yetersiz kaldığı görülür.

Yani bu bitkilere daha az N, buna karşılık daha fazla P ve K verilmelidir. Çiçekli bitkilerde diğer yeşil yapraklı bitkilere göre bu elementlere ihtiyaç daha fazladır.

Gübre materyali

Araştırma saksı denemesi şeklinde yürütölmüş ve tüm saksılara sabit dozda uygulanan P ve K uygulaması için 1,10gr KH_2PO_4 + 0.50 gr K_2SO_4 /5lt; 50-100-200 ppm N dozları için sırası ile 0,90 gr., 1,80 gr., ve 2,70 gr. NH_4NO_3 (Amonyum nitrat) tartılıp 5 litre suda eritilmiştir.



Şekil 5. Campanula gübrenilmesi.

Yöntem

Aynı substrat ortamında 2 farklı bitkide 4 doz ve 3 tekrarlı olarak kurulan 72 adet saksı ile yürütölen çalışmada azot dozlarının Kalanchoe Calandiva (Lena, Danielle ve Lindsay) ve Campanula çeşitlerinin (Blue Ocean, White Ocean ve Deep Blue Ocean) bitkilerinde bitki gelişimi ve kaliteyi etkileyen faktörler üzerine etkisini belirlemek amacıyla bitkilerde gelişme periyodu içerisinde bitkideki çiçek sayısı, çelik sayısı ve bitki gelişimi gibi fenolojik gözlemler yapılmıştır.

Yetiştirme Ortamı Analiz Yöntemleri

Yetiştirme ortamını oluşturan karışım (torf: perlit karışımı) hazırlandıktan sonra saksılama işlemi yapılmadan alınan örneklerde yapılan analizler:

pH ve Elektriksel Geçirgenlik

Örneklerin pH 'ları 1:10 oranında hazırlanarak saturasyon ekstraktında pH metre ile elektriksel geçirgenliği ise yine 1:10 oranındaki saturasyon ekstraktında EC cihazıyla ölçülmek suretiyle belirlenmiştir (Richards, 1949; Jackson, 1958; Whitney ve Means, 1987)

Organik Madde

Örneklerin toplam organik madde miktarı potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ile yaş yakılarak organik karbon değeri bulunmuş (Reudberg un Kremkus, 1951) ve bu değer Van Benmelen Faktörü olan 1,724 ile çarpılarak hesaplanmıştır (Black, 1965).

Bitki Besin Elementi Kapsamı

Örneklerin toplam azot miktarı Kjeldahl, alınabilir Fosfor (P) Olsen (1942) metoduna göre kolorimetrik olarak tayin edilmiştir, alınabilir Potasyum (K), Kalsiyum(Ca), Magnezyum(Mg) ve Soydu (Na) pH'sı 7.0 ye ayarlı 1N NH_4OAc çalkalamak suretiyle (Kacar, 1962) alınabilir Demir, Bakır, Çinko, Mangan miktarları ise modifiye edilmiş DTPA yöntemine göre belirlenmiştir. (Lindsay ve Novell, 1978)

Bitki Örneklerinde Gözlem Ve Ölçümler

Morfolojik Gözlem

Bitki Boyu: Bitkinin kök boğazından tepe noktasına kadar olan kısmı cm cinsinden ölçülmüştür.

Bitkinin Yaprak Sayısı: Bitki üzerindeki bütün yapraklar adet cinsinden sayılmıştır.

Bitkinin Çelik Sayısı (Kalanchoe): *Kalanchoe* bitkisi üzerindeki çelikler adet cinsinden sayılmıştır.

Bitkinin Çiçek Sayısı (Campanula) : *Campanula* bitkisinde açan çiçekler adet cinsinden sayılmıştır.

Saksı Denemelerinin Kurulması

Deneme, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi Bitki Besleme Bölümü serasında, saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Denemede, azot uygulamasının yapılmadığı bir kontrol uygulaması ile azotlu gübrenin 50-100-200 ppm dozunun uygulandığı 3 tekerrürlü toplam 4 doz uygulaması yapılmıştır. Tüm saksılara sabit dozda 50 ppm P (KH_2PO_4 =Monopotosyum fosfat) ve 100 ppm K (K_2SO_4 =potasyum sülfat) uygulanmıştır. Deneme 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre Queenflowers firmasından temin edilen torf-perlit karışımı saksılara dikilmiş olan araştırma materyalini *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Lindsay, Danielle, Lena ve *Campanula* bitkisinin White Ocean, Blue Ocean ve Deep Blue Ocean bitkisinin 3 çeşidi ile her bitki için 36 saksı olmak üzere toplam 72 saksıda yürütülmüştür. Sabit dozda uygulanan P ve K uygulaması için 1,10gr KH_2PO_4 + 0.50 gr K_2SO_4 /5lt; 50-100-200 ppm N dozları için sırası ile 0,90 gr., 1,80 gr., ve 2,70 gr. NH_4NO_3 (Amonyum nitrat) tartılıp 5 litre suda eritilmiştir. Bitkiler haftada 1 kez sulanmıştır. Yetiştirme süresi boyunca düzenli aralıklarla bitki gelişimleri (bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı, çelik sayısı) izlenmiş ve bu süre içerisinde ölçümler yapılmıştır. Yetiştirme süresinin sonunda saksılardan örnek alınarak bitki besin maddesi analizleri yapılmıştır

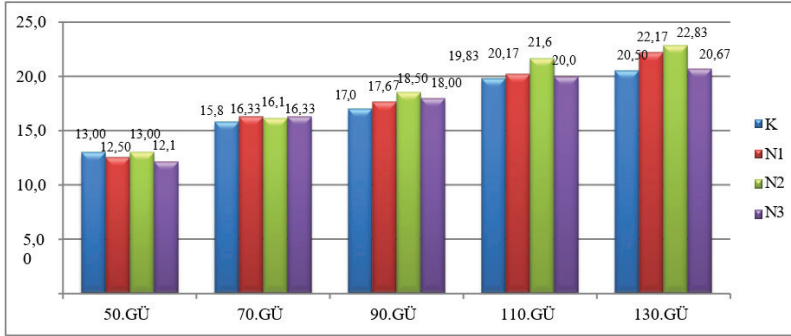
BULGULAR VE TARTIŞMA

BİTKİ BOYU(cm): KALANCHO

Kalanchoe Calandiva Lena Bitki Boyu (cm)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lena* çeşidinde bitki boyu her doz için zamanla arttarken en yüksek bitki boyunun ise 100 ppm'lik 2. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 6).

Bitki Boyu (cm)



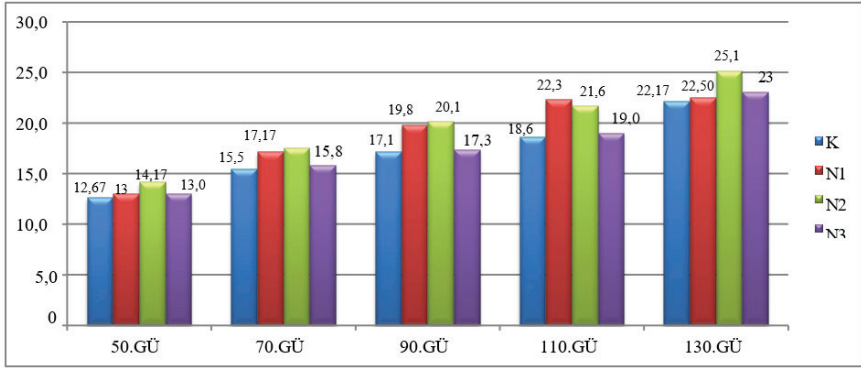
Şekil 6. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Lena çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi.



Şekil 7. *Kalanchoe Calandiva* Lena.

Kalanchoe Calandiva Danielle Bitki Boyu (cm)

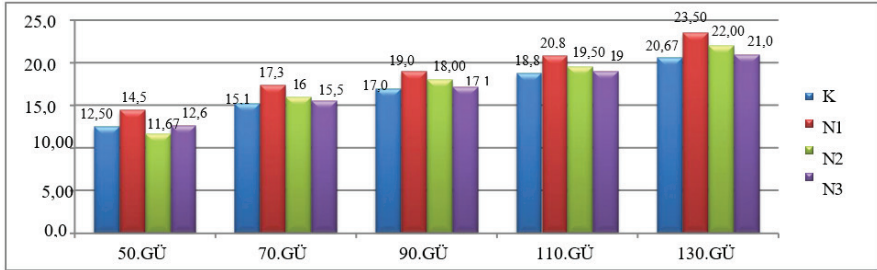
Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Danielle* çeşidinde bitki boyu zamanla her doz için arttarken en yüksek bitki boyunun ise 100 ppm'lik 2. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 8)

Bitki Boyu (cm)

Şekil 8. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Danielle çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi.

Kalanchoe Calandiva Lindsay Bitki Boyu (cm)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Lindsay çeşidinde bitki boyu her doz için zamanla arttarken en yüksek bitki boyunun ise 50 ppm'lik 1. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 9)

Bitki Boyu (cm)

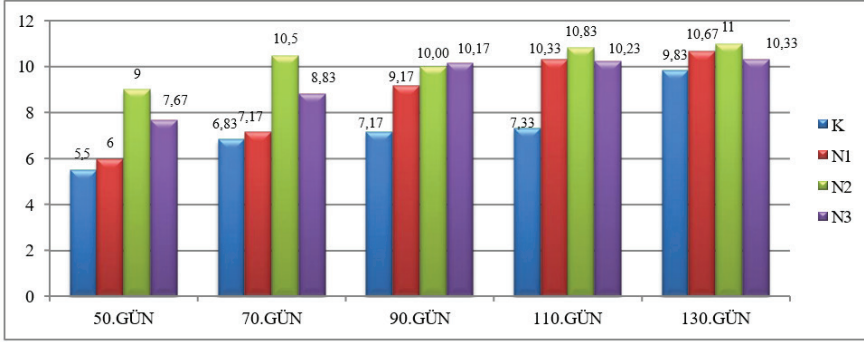
Şekil 9. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Lindsay çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi.

BİTKİ BOYU(cm): CAMPANULA**Campanula Blue Ocean Bitki Boyu (cm)**

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin Blue Ocean çeşidinde bitki boyu her doz için zamanla arttarken en yüksek bitki boyunun ise 100 ppm'lik 2. dozda ve 130. günde olduğu be-

lirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 10)

Bitki Boyu (cm)



Şekil 10. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi.

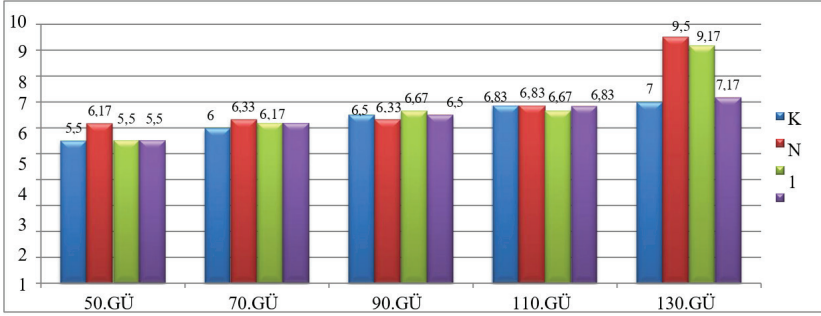


Şekil 11. *Campanula Blue Ocean*.

Campanula White Ocean Bitki Boyu (cm)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde bitki boyu her doz için zamanla arttarken en yüksek bitki boyunun ise 50 ppm'lik 1. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 12).

Bitki Boyu (cm)

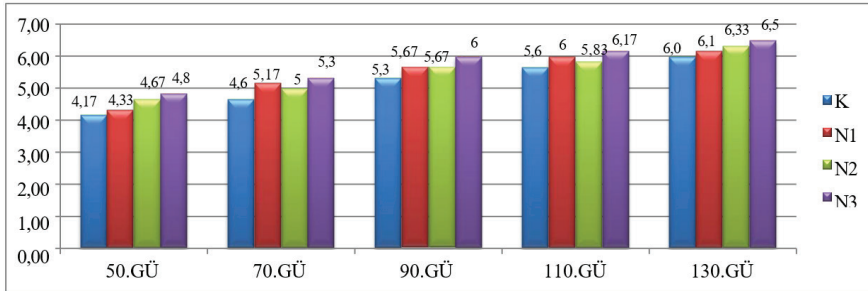


Şekil 12. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi

Campanula Deep Blue Ocean Bitki Boyu (cm)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *Deep Blue Ocean* çeşidinde bitki boyu her doz için zamanla arttarken en yüksek bitki boyunun ise 200 ppm'lik 3. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en kısa bitki boyunun ise kontrol dozunda olduğu saptanmıştır (Şekil 13).

Bitki Boyu (cm)



Şekil 13. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *Deep Blue Ocean* çeşidinde bitki boyuna(cm) etkisi.

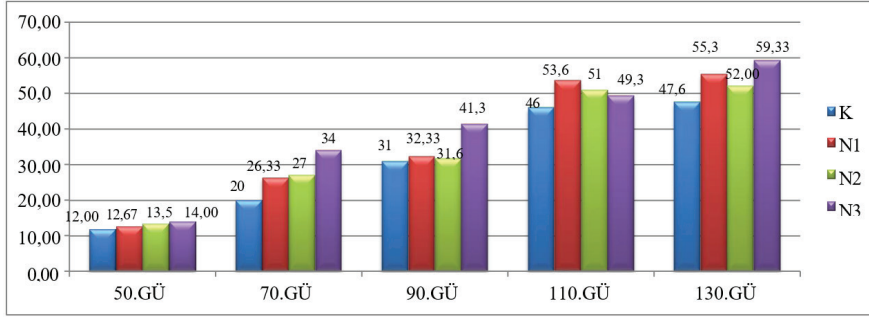
YAPRAK SAYISI (ADET): KALANCHO

Kalanchoe Calandiva Lena Yaprak Sayısı (Adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe* bitkisinin *Lena* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 200 ppm'lik 3. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu

boyunca en az yaprak sayısı ise 50. günde ve kontrol dozunda olmuştur (Şekil 14).

Yaprak Sayısı (Adet)

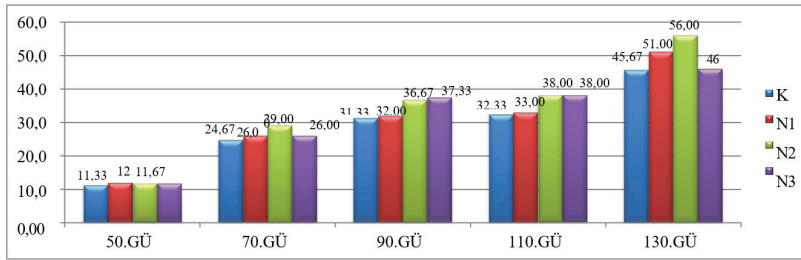


Şekil 14. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Lena çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi.

Kalanchoe Calandiva Danielle Yaprak Sayısı (Adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe* bitkisinin *Danielle* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 100 ppm'lik 2. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu boyunca en az yaprak sayısı ise 50. günde ve kontrol dozunda olmuştur (Şekil 15).

Yaprak Sayısı (Adet)



Şekil 15. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin Danielle çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi

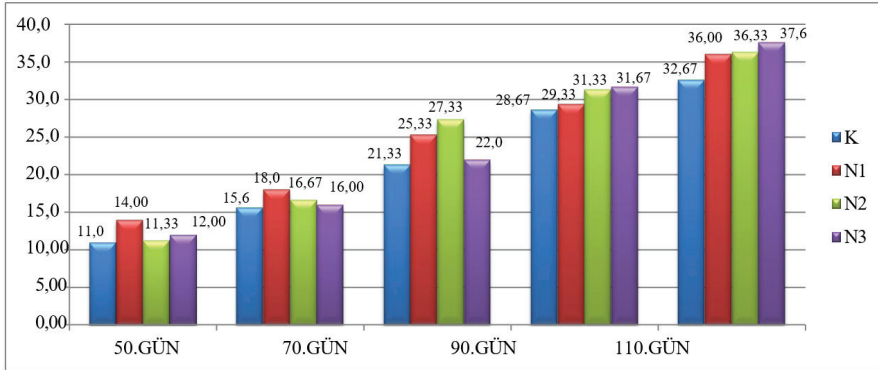


Şekil 16. *Kalanchoe Calandiva Danielle*

Kalanchoe Calandiva Lindsay Yaprak Sayısı (Adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe* bitkisinin *Lindsay* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 200 ppm'lik 3. dozda ve 130. günde olduğu belirlenmiştir. 130. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu boyunca en az yaprak sayısı ise 50. günde ve kontrol dozunda olmuştur (Şekil 17).

Yaprak Sayısı (Adet)



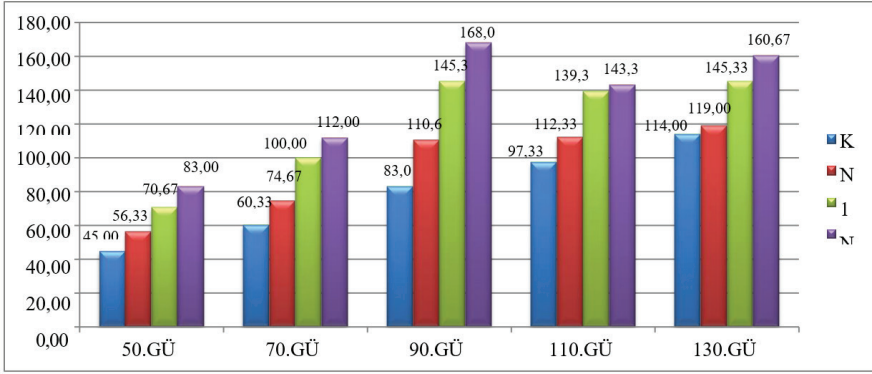
Şekil 17. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lindsay* çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi

YAPRAK SAYISI (adet): CAMPANULA

Campanula Blue Ocean Yaprak Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 200 ppm'lik 3. dozda ve 90. günde olduğu belirlenmiştir. 90. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu boyunca en az yaprak sayısı ise 50. günde ve kontrol dozunda olmuştur (Şekil 18).

Yaprak Sayısı (adet)

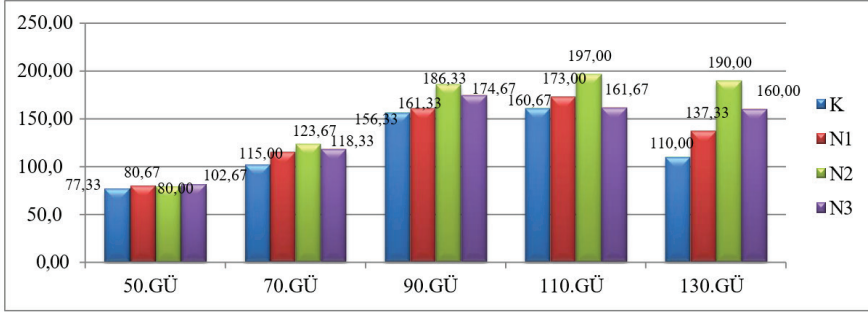


Şekil 18. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi.

Campanula White Ocean Yaprak Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 100 ppm'lik 2. dozda ve 110. günde olduğu belirlenmiştir. 110. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu boyunca en az yaprak sayısı ise 50. günde ve kontrol dozunda olmuştur (Şekil 19).

Yaprak Sayısı (adet)



Şekil 19. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi

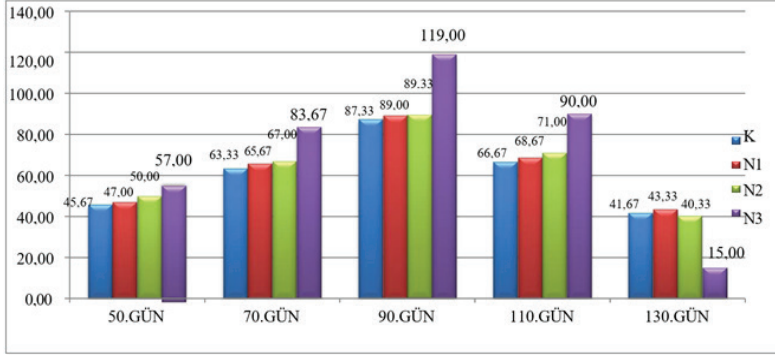


Şekil 20. *Campanula White Ocean*.

Campanula Deep Blue Ocean Yaprak Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *Deep Blue Ocean* çeşidinde yaprak sayısı en fazla olan doz 200 ppm'lik 3. dozda ve 90. günde olduğu belirlenmiştir. 90. gün sonundan en az yaprak sayısının ise kontrol dozunda olduğu görülmüştür. Bitkinin gelişme periyodu boyunca en yaz yaprak sayısı 130. günde ve 200 ppm'lik 3. dozda olmuştur (Şekil 21).

Yaprak Sayısı (adet)



Şekil 21. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin Deep Blue Ocean çeşidinde bitki yaprak sayısına (adet) etkisi.

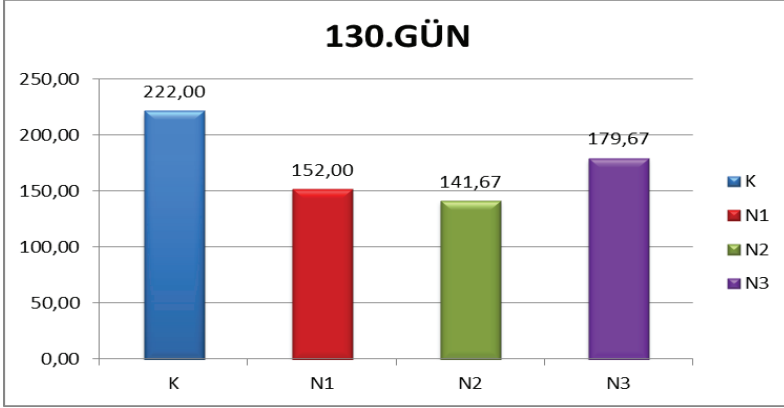


Şekil 22. *Campanula* Deep Blue Ocean.

ÇİÇEK SAYISI (ADET): CAMPANULA

Campanula Blue Ocean Çiçek Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin Blue Ocean çeşidinde çiçek sayısı en fazla olan doz kontrol dozu olup en az çiçek sayısının 100 ppm'lik 1. dozda olduğu görülmüştür (Şekil 23).

Çiçek Sayısı (adet)

Şekil 23 Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde bitki çiçek sayısına (adet) etkisi.

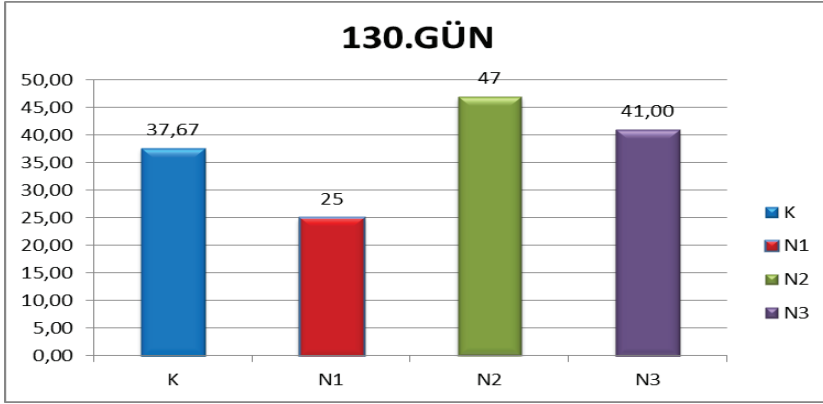


Şekil 24. *Campanula Blue Ocean* (Çiçekli).

Campanula White Ocean Çiçek Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde çiçek sayısı en fazla olan doz 100 ppm'lik 2. doz olup en az çiçek sayısının 50 ppm'lik 1. dozda olduğu görülmüştür (Şekil 25).

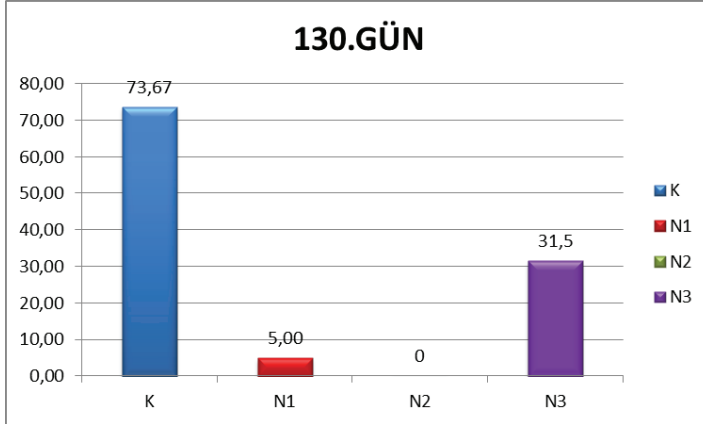
Çiçek Sayısı (adet)



Şekil 25. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *White Ocean* çeşidinde bitki çiçek sayısına (adet) etkisi.

Campanula Deep Blue Ocean Çiçek Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Campanula* bitkisinin *Deep Blue Ocean* çeşidinde çiçek sayısı en fazla olan doz kontrol dozu olup 100 ppm'lik 2. dozda ise hiç çiçek açmadığı görülmüştür (Şekil 26).



Şekil 26. Farklı dozlarda N uygulamasının *Campanula* bitkisinin *Deep Blue Ocean* çeşidinde bitki çiçek sayısına (adet) etkisi.

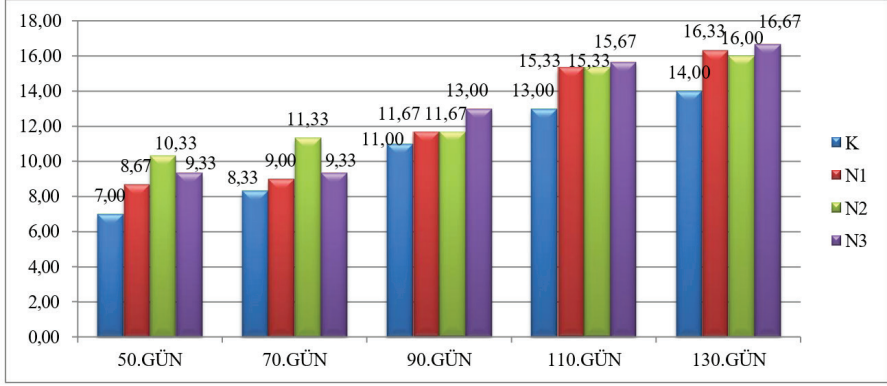
ÇELİK SAYISI (adet): KALANCHOE

Kalanchoe Calandiva Lena Çelik Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lena* çeşidinde çelik sayısı en fazla olan dozun

130. günde 200 ppm'lik 3. dozda olduğu görülmüştür. 130. günde en az çelik sayısı ise kontrol dozunda saptanmıştır (Şekil 27).

Çelik Sayısı (adet)

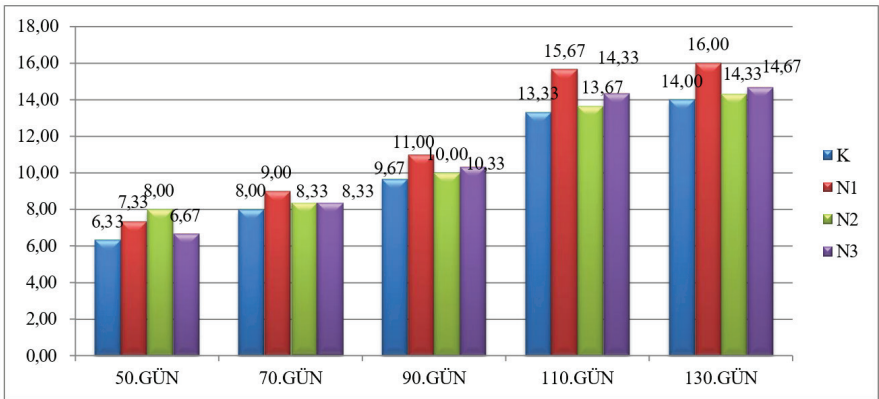


Şekil 27. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lena* çeşidinde bitki çelik sayısına (adet) etkisi.

Kalanchoe Calandiva Danielle Çelik Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Danielle* çeşidinde çelik sayısı en fazla olan dozun 130. günde 50 ppm'lik 1. dozda olduğu görülmüştür. 130. günde en az çelik sayısı ise kontrol dozunda saptanmıştır (Şekil 28).

Çelik Sayısı (adet)

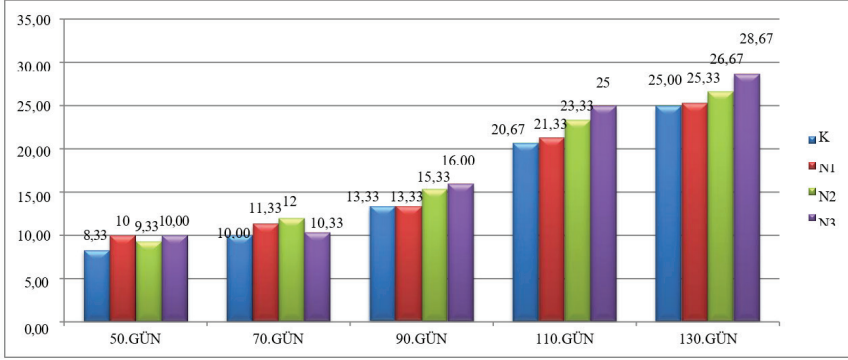


Şekil 28. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Danielle* çeşidinde bitki çelik sayısına (adet) etkisi.

Kalanchoe Calandiva Lindsay Çelik Sayısı (adet)

Farklı dozlarda yapılan N uygulaması sonucunda *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lindsay* çeşidinde çelik sayısı en fazla olan dozun 130. günde 200 ppm'lik 3. dozda olduğu görülmüştür. 130. günde en az çelik sayısı ise kontrol dozunda saptanmıştır (Şekil 29).

Çelik Sayısı (adet)



Şekil 29. Farklı dozlarda N uygulamasının *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lindsay* çeşidinde bitki çelik sayısına (adet) etkisi.



Şekil 30. *Kalanchoe Calandiva Lindsay*

Artan dozlarda azot uygulamalarının *Kalanchoe Calandiva* (Lena, Danielle ve Lindsay) ve *Campanula* (Blue Ocean, White Ocean ve Deep Blue Ocean) çeşitlerinin gelişimine ve kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan araştırma sonucunda elde edilen bulgular pek çok

araştırmacının (Asrar ve ark., 2014; Mibus et al., 2014; Ihlebekk et al., 1995; Levitskaya, 2015) ulgularıyla uyum içinde olduğu belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada artan dozlardaki azot uygulamalarının gelişim parametresi olarak *Kalanchoe Calandiva* ve *Campanula* bitkilerinin; bitki boyu, yaprak sayısı, çelik sayısı (*Kalanchoe*), çiçek sayısı (*Campanula*) gibi vegetatif gelişimi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lena* ve *Danielle* çeşidinde en yüksek bitki boyunun 130. günde 100 ppm dozunda olduğu fakat diğer dozlar ile arasında önemli bir fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lindsay* çeşidinde ise en yüksek bitki boyunun 130. günde ve N1 dozunda olduğu saptanmıştır. 100 ppm ve 200 ppm dozlarının arasında bitki boyu açısından önemli bir fark yaratmadığı saptanmıştır.
2. *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde yüksek boyun 130. günde 200 ppm dozunda olduğu görülür iken bitkinin daha önceki boy ölçüm tarihlerinden çok da farklı olmadığı anlaşılmıştır. *White Ocean* çeşidinde ise ilk 110 günlük bütün doz verilerinde boyları birbirine yakın ancak 130. günde 50 ppm dozunda en yüksek boya ulaştığı görülmüştür. *Deep Blue Ocean* çeşidinde boy ölçümü yapılan tarihlerde bitki oyunun orantılı olarak arttığı saptanmıştır. En yüksek boy ise 200 ppm dozunda olmuş fakat diğer dozlarla arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür.
3. *Kalanchoe Calandiva* bitkisinin *Lena* çeşidinde 110. günde en fazla yaprak sayısı 50 ppm dozundan iken 130. günde en fazla yaprak sayısının 200 ppm dozunda olduğu görülmüştür. *Danielle* çeşidinde ilk 110 gün dozlar arasında yaprak sayıları birbirine yakın iken 130. günde en fazla yaprak sayısı 100 ppm dozunda elde edilmiştir. *Lindsay* çeşidinde en fazla yaprak sayısının 200 ppm dozunda olduğu saptanmış fakat diğer dozlar ile arasında büyük bir fark olmadığı görülmüştür.
4. *Campanula* bitkisinin *Blue Ocean* çeşidinde en fazla yaprağın 90. günde ve 200 ppm dozunda olduğu belirlenmiştir. 110. ve 130. günlerde 100 ppm dozunda yaprak sayısı değişmez iken 200 ppm dozunda yaprak sayısında düşüş saptanmıştır. *White Ocean* çeşidinde en fazla yaprak sayısı 110. günde 100 ppm dozunda görülmüştür. 130. günde kontrol ve 50 ppm dozunda yaprak sayısı bakımından büyük ölçüde bir düşüş yaşanmıştır. 130. gün sonun-

da en fazla yaprak sayısı 100 ppm dozunda görülmüştür. Deep Blue Ocean çeşidinde en fazla yaprak sayısı 90. günde ve 200 ppm dozunda görülmüştür. 200 ppm dozundaki yaprak sayısı zamanla düşmüş ve 130. günde en düşük seviyeye inmiştir.

5. Campanula bitkisinin açan çiçeklerinin büyük bir bölümü 130. günde gözlemlenmiştir. Blue Ocean çeşidinde en fazla çiçek K dozunda görülmüştür. White Ocean çeşidinde ise en fazla çiçek sayısı 100 ppm dozunda saptanmıştır. En az çiçek sayısı ise 50 ppm dozunda gözlemlenmiştir. Deep Blue Ocean çeşidinde en fazla çiçek kontrol dozunda görülmüştür. 100 ppm dozunda ise bitkinin hiç çiçek açmadığı görülmüştür. Kalanchoe bitkisi kısa gün bitkisi olduğu için hiç bir çeşidi çiçek açmamıştır.
6. Kalanchoe bitkisinin Lena çeşidinde en fazla çelik sayısı 130. günde ve 200 ppm dozunda olmasına rağmen diğer dozlarla arasında çelik sayısı bakımından büyük bir fark olmadığı görülmüştür. Danielle çeşidinde en fazla çelik sayısı 50 ppm dozunda ve 110. ve 130. günlerde bu sayıların birbirine yakın olduğu görülmüştür. 110.ve 130. günlerde kontrol, 100 ppm ve 200 ppm dozlarındaki çelik sayısının 50 ppm dozundaki çelik sayısından düşük olduğu saptanmıştır. Danielle çeşidinde en fazla çelik sayısının 130. günde ve 200 ppm dozunda olduğu görülmüştür. Ancak diğer dozların çelik sayısı bakımından kendi aralarında büyük bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLARDİZİNİ

- Akulova-Barlow, Z.,** (2009). Kalanchoe a. Cactus nd Succulent Journal, 81(6): 268-276pp.
- Asrar, A-W.A., Abdel-Fattah, G.M., Elhindi, K.M., Abdel-Salam, E.M.,** (2014). The impact of arbuscular mychorrhizal fungi in improving growth, flower yield and tolerance of kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana* Poelin) plants grown in NaCl-stress conditions, Journal of Food, Agriculture & Environment, 12(1): 105-112pp.
- Black, C.A.,** (1965). Methods of soil analysis. Part I. Amer. Soe. Of Agro., Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA
- Coelho, L.L., Mackenzie, K.K., Lütken, H. and Müller, R.,** (2018). Effect of cold night temperature on flowering of Kalanchoë species. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus, 17(3): 121-125pp.
- Contandriopoulos, J.,** (1984). Differentiation and evolution of the genus Campanula in the Mediterranean region. In: William, F.G. (Ed.) Plant biosystematics. Academic Press, 140-175pp.
- Cui, J., Mackenzie, K.K., Eeckhaut, T., Müller, R. and Lütken, H.,** (2019). Protoplast isolation and culture from Kalanchoë species: optimization of plant growth regulator concentration for efficient callus production. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 138: 287-297.
- Damboldt, J.,** (1978). Campanula L. In: Davis, P.H. (Ed.) Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 6. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 2- 64pp.
- Descoings, B.,** (2003). Kalanchoe. In: Eggli U (ed) *Illustrated Handbook of Succulent Plants: Crassulaceae* (143-181pp). Springer, Berlin.
- Fedorov, A.A. and Kovanda, M.,** (1976). Campanula L. In: Tutin, T.G. (Ed.) Flora Europaea, Vol. 4. London, UK: Cambridge University Press, 74-93pp.
- Gilbert, R.,** (1994). Flaming Katy and her relatives. The Garden 119(1): 42–44pp.
- Gümüş, C. ve Ellialtıoğlu, Ş.Ş.,** (2018). Kalanchoe blossfeldiana Poelln. türünde yapılan doku kültürü araştırmaları üzerinde bir inceleme, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 11(1): 18-26pp.
- Güner, A.,** (2000). Campanula L. In: Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. & Başer, K.H.C. (Eds.) Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Suppl. 2.), Vol. 11. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 171-175pp.
- Ihlebekk, H., Eilertsen, S., Junttila, S., Grindal, G. and Moe, R.,** (1995). Control of plant height in Campanula Isophylla by temperature alternations; involvement of gas, Acta Hortic., 394: 347-355pp.
- Izumikawa, Y., Takei, S., Nakamura, I., Mii, M.,** (2008). Production and characterization of inter-sectional hybrids between Kalanchoe spathulata and K. laxiflora (=Bryophyllum crenatum). Euphytica, 163(1): 123-130pp.
- İkinci, N.,** (2012). Campanula L. In: Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. and Babaç, M.T. (Eds.) Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). İstanbul,

Turkey: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 303-311pp.

- Jackson, M.,** (196). Soil Chemical Analysis, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 498p.
- Jashim, U.A., Israt, J.L., Mohammad, A.M., (2018). Royal FloraHolland: Strategic Supply Chain of Cut Flowers Business. SAGE Publishing, 1-12. <http://dx.doi.org/10.4135/9781526461919>
Online ISBN: 9781526461919
- Kacar, B.,** (1962). Plant and Soil Analysis. pp. 1-72. University of Nebraska, College of Agriculture. Department of Agronomy-Lincoln, Nebraska U.S.A
- Khansari, E., Zarre, S., Alizadeh, K., Attar, F., Aghabeigi, F. and Salmaki, Y.,** (2012), Pollen morphology of *Campanula* (Campanulaceae) and allied genera in Iran with special focus on its systematic implication, *Flora*, 207: 203-211pp.
- Kızıl, Ö. ve Çiftçi, Ü.,** (2018). Kedi ve köpeklerde bitkisel zehirlenmeler, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi, 32(1): 69-73pp.
- Kroon, G.H., De Jong, J. and Van Raamsdonk, L.W.D.,** (1989). Evaluation of the genus *Kalanchoe* for breeding of new cutflowers and potplants. *Acta Hort.*, 252: 111-116pp.
- Lammers, T.G.,** (2007). Campanulaceae Jussieu. In: Kadereit, J.W. & Jeffrey, C. (Eds.) *The Families and Genera of Cascular Plants VIII. Asterales*. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer, 26-57pp.
- Levitskaya, G.E.,** (2015). The influence of the storage temperature on the seeds of wild species. 2. Seeds with physiological dormancy in the case of *Campanula* (Campanulaceae) species, *Rastitel'nye Resursy*, 51(1): 38-51.
- Lindsay, W.L. and Norwell, W.A.,** (1978). Department of D.T.P.A Soil Test For Zink, İron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Of Amer. Jour.*, 42, 421-428
- Mackenzie, K.K., Lütken, H., Coelho, L.L., Kaaber, M.D., Hegelund, J.N. and Müller, R.,** (2018). *Kalanchoe*. In: Van Huylbroeck J (ed) *Ornamental crops. Handbook of Plant Breeding* (453-479pp), vol 11. Springer, Cham.
- Mansion, G., Parolly, G., Crawl, A.A., Mavrodiev, E., Cellinese, N., Oganessian, M., Fraunhofer, K., Kamari, G., Phitos, D., Haberle, R., Akaydin, G., İkinci, N., Raus, T. and Borsch, T.,** (2012). How to handle speciose clades? Mass taxon-sampling as a strategy towards illuminating the natural history of *Campanula* (Campanuloideae), *PLoS ONE*, 7: 1-23pp.
- Mibus, H., Hoff, K. and Serek, M.,** (2014). Ethanol treatment induces compact growth in *Kalanchoe*, *Scientia Horticulturae*, 168: 234-239.
- Mutlu, K. and Karakuş, Ş.,** (2015). A new species of *Campanula* (Campanulaceae) from Turkey, *Phytotaxa*, 234: 287-293pp.
- Olsen, S.R, Cole C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A.,** (1982). Estimation of Available phosphorus in soils by extaction with sodium bicarbonate USDA Cir.939 USDA, Washington DC

- Richards L.A.** 1949, Filter funnels for soil extracts. Argon. J.
- Roquet, C., Sanchez L., Aldasoro, J. J., Susanna, A., Alarcon, M. L. and Garcia-Jacas, N.,** (2008). Natural delineation, molecular phylogeny and floral evolution in *Campanula*, *Systematic Botany*, 33: 203-217.pp
- Royal Flora Holland,** (2018). Annual report 2017. <https://www.royalflora holland. com/en>.
- Schwabe, W.W.,** 1985, *Kalanchoe blossfeldiana*. In: Halevy AH (ed) CRC Handbook of flowering, vol III. CRC Press, Boca Raton, Florida, 217-235pp.
- Sharma, G.K.,** (1973). Flower formation in *Kalanchoë velutina* induced by low night temperature. *Southwest. Nat.*, 18: 331-334pp.
- Shirobokov, V.P., Evtushenko, A. I., Lapchik, V. F., Shirobokova, D. N. and Suptel, E. A.,** (1981). Antiviral activity of representatives of the family Crassulaceae. *Antibiotiki*, 24(12): 897-900pp.
- Son, M.S., Oh, H.J., Song, J.Y. and Lim, M.Y.,** (2012). Effect of Silicon Source and Application Method on Growth of *Kalanchoe 'Peperu'*, *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(3): 250-255pp.
- Supratman, U., Fujita, T., Akiyama, K., Hayashi, H., Murakami, A., Sakai, H., Koshimizu, K. and Ohigashi, H.,** (2001). Anti-tumor promoting activity of bufadienolides from *Kalanchoe pinnata* and *K. daigremontiana* × *tubiflora*. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 65(4): 947-949pp.
- Yıldırım, H.,** (2013). *Campanula mugeana* sp. nov. (Campanulaceae) from western Anatolia, Turkey. *Nordic Journal of Botany*, 31: 419-425pp.
- Yıldırım, H.,** (2018). *Campanula leblebicii* (Campanulaceae), a new chasmophyte species from western Turkey, *Phytotaxa*, 376(2): 114-122pp.
- Whitney M. and Means T.H.** (1987). An electrical method of determining the soluble salt content of soils. U.S. Dept. Agr., Div. Of Soils Bull. 8

Bölüm 3

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA BAZI ENERJİ BİTKİLERİNİN KULLANIM ALANLARI VE ÖNEMİ

Mehtap ANDIRMAN¹

¹ Öğr. Gör. Dr., Batman Üniversitesi, Sason Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim/Organik Tarım Programı, mehtap.andirman@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8566-3388.

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, gıda üretiminin ötesinde ekonomik kalkınma, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve kırsal refahın sağlanması açısından stratejik bir öneme sahiptir (FAO, 2021). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarım, istihdamın önemli bir bölümünü oluşturmakta ve kırsal nüfusun geçim kaynağını belirlemektedir. Bu nedenle tarımsal üretimde yaşanan yapısal değişimler, yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel sonuçlar da doğurmaktadır.

Günümüzde nüfusun her geçen gün artmasına paralel olarak, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri, su ve toprak gibi doğal kaynakların giderek azalması ve küresel ticaret dinamiklerindeki değişimler, tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini zorunlu hâle getirmiştir. Geleneksel tarım uygulamaları kısa vadede üretim artışı sağlasa da uzun vadede toprak bozulması, su kaynaklarının tükenmesi ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi çevresel sorunlara yol açabilmektedir (Kaya ve ark., 2019).

Bu bağlamda sürdürülebilir tarım; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları bütünü ile ele alan doğal kaynakların korunmasını sağlayarak tarımsal üretkenliğin devamlılığını ve çiftçi refahının artırılmasını hedefleyen bir üretim modeli olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir tarım uygulamaları, iklim değişikliğine uyum ve sera gazı emisyonlarının azaltılması, gıda güvenliğinin sağlanması ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi açısından da önemlidir.

Son yıllarda uluslararası kuruluşlar ve politika yapımcılar tarafından sürdürülebilir tarım yaklaşımlarının yaygınlaştırılmasına yönelik çeşitli stratejiler geliştirilmekte olup bu alandaki bilimsel çalışmalar giderek artmaktadır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir tarımın uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, karşılaşılan sorunların belirlenmesi ve çözüm önerilerinin ortaya konulması büyük önem taşımaktadır.

Tarımsal üretim yalnızca gıda ihtiyacının karşılanmasına yönelik olmayıp, aynı zamanda enerji üretimi amacıyla da gerçekleştirilmektedir. Özellikle enerji bitkileri tarımı, artan enerji talebi ve fosil yakıtların çevresel etkileri nedeniyle dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda biyoyakıtlar; güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olup, biyokütle temelli enerji kaynakları içerisinde öne çıkmaktadır. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar günümüzde birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arasında biyoyakıtlar; üretim süreçlerinin kolay olması, hammaddelerinin bilinirliği ve teknolojik altyapılarının büyük ölçüde gelişmiş olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır (Gross ve ark.,

2003). Ayrıca biyoyakıtların fosil yakıtlara kıyasla daha düşük sera gazı emisyonuna sahip olması, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Biyoyakıtların hammaddesi büyük ölçüde tarımsal ürünler ve tarımsal atıklardan oluşmaktadır. Bu atıkların çeşitli biyokimyasal ve termokimyasal yöntemlerle enerjiye dönüştürülmesi sonucu biyoyakıtlar elde edilmektedir. Biyokütle; evsel ve sanayi atıklarının yanı sıra özellikle bitkisel kökenli tarımsal kalıntılardan oluşmakta ve biyodizel, biyogaz ile biyoetanol gibi katı, sıvı ve gaz formundaki biyoyakıtların üretiminde kullanılmaktadır (Özdoğan ve Geren, 2019).

Biyoyakıt üretiminin ekonomik açıdan sürdürülebilir olabilmesi için enerji bitkilerinin tarımsal üretiminin planlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, biyoyakıt üretiminde yüksek verim ve ekonomik getiri sağlayan bitki türleri tercih edilmektedir. Enerji bitkileri; şeker ve nişasta bazlı bitkiler, yağlı tohumlu bitkiler, orman ürünleri ve selülozik yapıya sahip bitkiler olmak üzere farklı gruplar altında sınıflandırılmaktadır.

Biyoyakıt hammaddesi olarak kullanılabilen bitkiler, özellikle gıda amaçlı bitkilerin yetiştirilemediği tarımsal alanlarda da üretilebilmekte; bu sayede atıl durumdaki araziler tarımsal üretime kazandırılabilir. Bu durum hem arazi kullanım verimliliğini artırmakta hem de gıda-enerji rekabetinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Gelişmiş ülkeler, enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla enerji çeşitliliğini artırmaya, enerji kaynaklarını yaygınlaştırmaya ve belirli enerji türlerine olan bağımlılığı azaltmaya yönelik alternatif enerji arayışlarını sürdürmektedir. Bu bağlamda biyoyakıtlar, en yeni ve hızla yaygınlaşan alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir konuma sahiptir. Biyoyakıtların depolanması ve taşınması, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha kolay ve pratiktir. Ayrıca biyoyakıtların kullanımı, mevcut petrol temelli altyapıya büyük ölçüde entegre edilebilmektedir. Bu durum, biyoyakıtlar için gerekli altyapı yatırımlarının maliyetini önemli ölçüde azaltmakta ve biyoyakıtları diğer alternatif enerji kaynaklarına kıyasla daha cazip hale getirmektedir (Fronzel ve Peters, 2007; Ong ve Bhatia, 2010). Biyoyakıt kullanımının artırılması, özellikle petrole dayalı ulaşım sektörünün biyoyakıt temelli sistemlere dönüşmesine katkı sağlayarak sektörün rekabet edebilirliğini artırabilir (Malça ve Freire, 2006).

Biyoyakıtlar tarımsal açıdan değerlendirildiğinde, tarımsal üretim ve kırsal kalkınma üzerinde çok yönlü katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar; tarımsal üretimde çeşitliliğin artırılarak tarımsal ekolojiye olumlu etkiler sağlanması, biyoyakıt üretimi yoluyla organik tarım uygulamalarının desteklenmesi ve ürün deseninin çeşitlendirilmesiyle sürdürülebilir bir tarımsal yapının oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yağlı

tohumlu bitkilerin tarımının yaygınlaştırılması, aynı zamanda lkele-
rin yemeklik yağ açığının kapatılmasına olanak tanımaktadır (Horuz ve
ark., 2015). Biyoyakıt retimi, çiftçilerin tarımsal girdilere bağlı giderle-
rini azaltmalarına ve alternatif ürün olarak özellikle yağlı tohumlu bitki-
leri yetiştirerek gelirlerini artırmalarına katkı sağlamaktadır. Bunun yanı
sıra, tarımda ekim nöbeti uygulamalarının yaygınlaşması sayesinde top-
rak verimliliği artırılmakta ve polikültür tarım sistemlerinin uygulan-
masına imkân tanınmaktadır. Biyoyakıt retimi sonrasında ortaya çıkan
organik karakterli yan ürünlerin hayvan yemi olarak değerlendirilmesi
ise tarım-hayvancılık entegrasyonunu güçlendirmektedir. Ayrıca ihracat
potansiyeli yüksek ve ülke içinde katma değer oluşturabilecek yeni bit-
ki türlerinin ekonomiye kazandırılması da biyoyakıt tarımının önemli
avantajları arasında yer almaktadır (Eser ve ark., 2007).

Tarım sektörü, bir ülkenin ekonomik ve stratejik açıdan vazgeçilmez
unsurları arasında yer almaktadır. Tarımsal retimi yeterli olmayan ve
kendi nüfusunun gıda ihtiyaını karşılayamayan bir ülkenin tam bağım-
sızlığından söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle tarım, devlet olma
ve bağımsızlık kavramlarıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir. Son yıl-
larda tarım sektörü yalnızca gıda üretiminin değil, aynı zamanda enerji
güvenliğinin de temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir
(Akınerdem, 2007).

Günümüzde ekonomik ve stratejik açıdan giderek önem kazanan ye-
nilenebilir enerji kaynakları, birçok ülkede enerji tarımı kapsamında de-
ęerlendirilmektedir. lkeler, kendi ekolojik koşulları ve tarımsal potan-
siyelerine bağlı olarak farklı enerji bitkilerinin üretimine yönelmektedir.
Örneğin biyodizel retiminde Amerika Birleşik Devletleri soya fasulyesi-
ni, Avrupa lkeleri ise kolzayı (kanola) hammadde olarak kullanmakta-
dır. Günümüzde petrol zengini ülkeler dışındaki birçok ülke, yerli ve ye-
nilenebilir kaynaklarını biyodizel ve biyoetanol üretimine yönlendirerek
enerji arz güvenliğini artırmayı hedeflemektedir.

Biyodizel, hammaddesini yağlı tohumlu bitkilerin oluşturduğu, mo-
torin türevi bir enerji yakıtı olup tek başına ya da motorine belirli oran-
larda karıştırılarak kullanılabilir. Kolza (kanola), ayçiçeği, soya ve
aspir gibi yağ bitkilerinden elde edilen yağların, bir katalizör eşliğinde
kısa zincirli bir alkol (metanol veya etanol) ile reaksiyona girmesi sonu-
cu üretilmektedir. Literatürde biyodizel; biyomotorin, dizel-bi veya yeşil
dizel olarak da adlandırılmaktadır (Akınerdem, 2007). Biyodizel yakıtı,
bitkisel ve hayvansal yağlardan esterleşme süreci ile elde edilen ve EN
14214 standardına uygun bir metil ester olarak tanımlanmaktadır. Üre-
tim sürecinde, bitkisel yağların metanol ile transesterifikasyon (alko-
liz) reaksiyonuna girmesi sonucunda biyodizel elde edilirken, yan ürün

olarak gliserin açığa çıkmaktadır. Biyodizel doğrudan bir CO₂ azaltımı sağlamamakla birlikte, hammadde olarak kullanılan yağ bitkilerinin yetiştirilmesi sırasında atmosferden CO₂ tüketilmesi sayesinde karbon döngüsüne olumlu katkı sunmaktadır. Günümüzde biyodizel, %5 oranında motorine karıştırılarak ve EN 590 standardına uygun olmak kaydıyla tüm dizel motorlu araçlarda kullanılabilir. Özel tasarlanmış yakıt sistemleri kullanılması durumunda bu oran %100'e kadar çıkarılabilmektedir. Türkiye'de biyodizelin üretimi, pazarlanması ve kullanımı 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu kapsamında düzenlenmektedir.

Biyodizel üretiminde en yaygın olarak kullanılan yağ bitkileri kolza (kanola) ve aspir olarak öne çıkmaktadır. Kolza, tohumlarında %38-45 oranında yağ içermesi, elde edilen yağın katı, sıvı ve ham yağ formunda kullanılabilmesi, yüksek düzeyde doymamış yağ asitleri içermesi ve E vitamini bakımından zengin olması nedeniyle biyodizel üretimi için en uygun yağ bitkilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde kolza, dünya genelinde 20'den fazla ülkede yetiştirilmekte olup, küresel biyodizel üretiminin yaklaşık %86'sı kolzadan elde edilmektedir. Kolza bitkisi, Türkiye'nin hemen her bölgesinde yetiştirilebilme potansiyeline sahiptir. Buğdaydan yaklaşık bir ay önce hasat edilmesi, bölgesel koşullara bağlı olarak ikinci ürün ekimine olanak tanımakta; böylece üreticinin daha erken gelir elde etmesini ve tarımsal üretimden maksimum fayda sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Kolza küspesi, yem sanayinde önemli bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca çiçeklenme döneminin, nektar kaynaklarının sınırlı olduğu şubat ve mart aylarına denk gelmesi nedeniyle arıcılık açısından da değerli bir mera oluşturmaktadır. Aspir ise tohumlarında %45'e kadar ulaşabilen kaliteli yağ içeriği, besleyici küspesi ve renkli çiçek yapısı ile dikkat çekmektedir. Kuraklığa yüksek düzeyde dayanıklı olması, aspir bitkisini özellikle nadas alanlarında yetiştirilebilir kılmaktadır. Bu kapsamda aspir; Orta Anadolu ve Geçit Bölgeleri başta olmak üzere Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ile Çukurova Bölgesi'nin susuz veya sınırlı sulama imkânına sahip, nispeten düşük verimli ve buğday tarımının yapıldığı meyilli arazilerde başarıyla yetiştirilebilmektedir.

Dünya genelinde farklı kaynaklardan elde edilebilen biyokütleyle olan talep, tarımsal açıdan belirli bir enerji bitkileri üretim alanının oluşmasına neden olmuş ve bu durum "enerji tarımı" kavramını ortaya çıkarmıştır (Karp ve Halford, 2011). Enerji bitkileri; farklı ekolojik koşullarda yetişebilen, çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır (Kökten ve Özdemir, 2022).

Enerji bitkilerinin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Koçar ve Civaş, 2013): hektar başına yüksek kuru madde verimine sahip olma-

rı, üretim süreçlerinde düşük enerji girdisi gerektirmeleri, düşük üretim maliyetine sahip olmaları, minimum kirletici içermeleri, düşük besin elementi (nütrient) gereksinimi göstermeleri ve etanol ile biyodizel üretimi için uygun hammadde oluşturmaları bu özellikler arasında yer almaktadır. Ayrıca enerji bitkileri, ülkelerin enerji bağımsızlığını artırmakta ve çevresel açıdan zarar görmüş ya da marjinal arazilerin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Uygulanabilir bir enerji bitkisinin, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olabilmesi için bazı temel gereksinimleri karşılaması gerekmektedir (Matsuoka ve ark., 2014). Buna göre enerji bitkilerinin; yararlı enerji formlarına kolay ve güvenilir bir şekilde dönüştürülebilecek hammaddelere sahip olması, yüksek enerji yoğunluğu sunması, yıl boyunca temin edilebilir olması, iyi tanımlanmış ve gelişmiş tarımsal üretim uygulamalarına uygun, üretim ve taşıma maliyetlerine sahip olması beklenmektedir. Bunun yanı sıra çok yıllık (yenilenebilir) yapıda olmaları, stres koşullarında üretime elverişli olmaları, gıda üretimi için kullanılan tarım arazileriyle rekabet etmemeleri ve enerji verimliliği ile sera gazı emisyonları açısından yüksek yaşam döngüsü dengesine sahip olmaları da önemli kriterler arasında yer almaktadır.

Türkiye’de yetiştirilen yağ bitkileri arasında en büyük pay yaklaşık %70 oranıyla ayçiçeğine aittir. Bununla birlikte çığıt, kolza (kanola), aspir, soya ve susam gibi alternatif yağ bitkilerinin üretimi yıllara göre artış ve azalışlar göstermektedir. Artan enerji talebi, enerjide sürdürülebilirliğin sağlanması, enerji arz güvenliği ve çevrenin korunması gibi faktörler, bu alternatif yağ bitkilerine olan ilgiyi artırmış ve enerji bitkileri tarımını stratejik bir üretim alanı hâline getirmiştir.

Bu kapsamda enerji tarımında kullanılan bitkilerin belirlenmesi ve yaygınlaştırılması hem tarımsal üretim çeşitliliğinin artırılması hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

2. SOYA

Baklagiller (*Fabaceae*) familyasına ait, tek yıllık ve sıcak mevsim koşullarında yetişen bir bitkidir. İnsan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan soya tohumları; %36–40 protein, %18–24 yağ, %18 mineral madde ve %26 karbonhidrat içeriğiyle dikkat çekmekte ve bu özellikleri nedeniyle “asrın mucizevi bitkisi” olarak tanımlanmaktadır (Arioğlu, 2007). Soya (*Glycine max* (L.) Merrill), aynı zamanda gıda baklagili özelliği taşıyan ve dünya genelinde en önemli yağ bitkileri arasında yer alan bir tarım ürünüdür.

Soya yağı, çeşitli gıda preparatlarında ve hayvan yemlerinde kullanılması yanı sıra evsel ve endüstriyel amaçlarla da yaygın olarak değerlendirilmektedir (Pratap ve ark., 2012). Soyanın sahip olduğu botanik özellikler, ekolojik faydalar, farklı genetik çeşitlilik ve yüksek ekonomik değer, bu bitkinin modern tarım ve sanayi alanlarında çok yönlü bir kullanım potansiyeline sahip olmasını sağlamaktadır.

Soya bitkisinin ekolojik önemi, köklerinde bulunan *Rhizobium japonicum* bakterileri ile simbiyotik ilişki kurarak biyolojik azot fiksasyonu gerçekleştirebilmesinden kaynaklanmaktadır (Sprent, 2007). Bu süreçte atmosferik azot, bitki tarafından doğrudan kullanılabilir amonyak formuna dönüştürülmekte ve toprağın azot dengesi olumlu yönde etkilenmektedir. Böylece kimyasal azotlu gübre kullanımına olan ihtiyaç azalmakta, üretim maliyetleri düşmekte ve çevresel kirlilik sınırlandırılmaktadır (Salvagiotti ve ark., 2008). Azot fiksasyonunun sürdürülebilir tarım açısından önemi büyüktür. Bu mekanizma, toprak verimliliğinin artırılmasına katkı sağlarken biyolojik çeşitliliği desteklemekte ve uzun vadede toprak sağlığının korunmasına yardımcı olmaktadır (Peoples ve ark., 2009).

Ekolojik açıdan da soya karbon döngüsünde olumlu katkıda bulunur. Fotosentez yoluyla atmosferdeki karbondioksiti organik maddeye dönüştürerek toprakta karbon depolamasını artırır ve böylece sera gazı etkisinin azalmasına yardımcı olur (Vitousek ve ark., 2002). Ayrıca, kök yapısının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmesi, erozyonu azaltması ve su tutma kapasitesini artırması gibi ekosistem hizmetleri sunar (Tilman ve ark., 2002). Fakat bunların yanı sıra özellikle Güney Amerika'da geniş alanlarda soya ekiminin ormansızlaşmaya, habitat kaybına ve biyoçeşitliliğin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Foley ve ark., 2011).

Soya, içerdiği yüksek kaliteli protein ve esansiyel amino asitler sayesinde bitkisel protein kaynakları arasında en değerli türlerden biri olarak kabul edilmektedir (Messina, 2010). Yaklaşık %35–40 oranındaki protein içeriği, et, süt ve yumurta dışındaki protein alternatifleri arasında önemli bir yere sahiptir (NRC, 2016). Ayrıca, soyanın düşük doymuş yağ içeriği ve zengin bileşenleri, kalp-damar sağlığı üzerinde olumlu etkiler sağlamakta ve bazı kanser türleri riskinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Setchell, 1998). Özellikle vegan ve vejetaryen beslenme modellerinde soya ürünleri, hayvansal protein kaynaklarının yerine geçerek beslenme çeşitliliğini artırmaktadır (Wang ve ark., 2016). Bunun yanı sıra, dünya nüfusunun hızla artması ve protein talebindeki yükseliş, soyanın beslenmedeki rolünü giderek daha önemli hâle getirmektedir (FAO, 2019).

Soya, yağ içeriği ve protein yapısı sayesinde endüstriyel alanlarda da geniş kullanım olanaklarına sahiptir. Soya yağı, gıda sanayinde yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra biyoyakıt üretiminde de önemli bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Knothe, 2005). Biyodizel üretiminde kullanılan soya yağı, fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla tercih edilen yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir enerji kaynağıdır (Demirbas, 2009).

Soya yağı, dünya genelinde biyodizel üretiminde en çok tercih edilen hammaddelerden biridir. Biyodizel, soya yağı gibi yenilebilir yağların metanol veya etanol ile katalitik transesterifikasyon reaksiyonu sonucu üretilen, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yakıttır (Knothe, 2005). Fosil yakıtlara alternatif olarak biyodizel kullanımı, sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji güvenliğinin güçlendirilmesi ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır (Demirbas, 2009).

ABD, Brezilya ve Arjantin gibi büyük soya üreticisi ülkelerde biyodizel sektörü hızla gelişmekte olup hem üretim hem de tüketim rakamları her yıl artmaktadır (IEA, 2022). Ancak soya bazlı biyodizel üretiminin tarımsal arazilerin kullanımını değiştirmesi ve gıda ile yakıt amaçlı üretim arasındaki dengeyi zorlaması gibi çevresel ve ekonomik etkileri de gündeme gelmektedir (Fargione ve ark., 2008). Bu nedenle, sürdürülebilir üretim stratejileri ve tarım politikalarının belirlenmesi, biyoyakıt sektörünün uzun vadeli başarısı ve çevresel etkilerinin yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Soya bitkisi, dünya tarımında giderek artan önemiyle hem besin kaynağı hem de endüstriyel hammadde olarak çok yönlü bir değere sahiptir. Bu bitkinin sağladığı yüksek kaliteli protein ve yağ içeriği, küresel nüfus artışı ve beslenme ihtiyaçları göz önüne alındığında, sürdürülebilir gıda üretiminin temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir (Hartman ve ark., 2011; Messina, 2010).

Biyoteknolojik gelişmelerle desteklenen çeşitlilik ve dayanıklılık profili, soyanın günümüz tarımında iklim değişikliği ve çevresel baskılara karşı önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çerçevede soyanın kullanım alanları oldukça geniştir; gıda sanayinden biyoyakıtlara, yem bitkisi üretiminden yeşil kimya uygulamalarına kadar çok boyutlu bir ürün yelpazesi bulunmaktadır (Wilson, 2004; Knothe, 2005). Endüstriyel uygulamalardaki bu çeşitlilik, soyanın yalnızca tarımsal bir ürün olmanın ötesine geçtiğini ve sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağladığını göstermektedir.

3. ASPİR

Aspir bitkisi (*Carthamus tinctorius* L.), Asteraceae familyasına ait, tek yıllık ve uzun gün koşullarında gelişim gösteren önemli bir yağ bitkisidir. Bitki, dikenli ve dikensiz olmak üzere farklı morfolojik formlara sahip olup çiçekleri kırmızı, sarı, beyaz ve turuncu gibi çeşitli renkleri bulunmaktadır. Aspirin bitki boyu yetiştirme koşulları, çeşit ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 80–100 cm arasında olmaktadır (Öğüt ve ark., 2007). Kuraklığa ve düşük verimli toprak koşullarına dayanıklı olması nedeniyle, özellikle yarı kurak bölgelerde alternatif bir yağ bitkisi olarak önem kazanmaktadır.

Aspir tohumları %30–45 arasında değişen yüksek yağ içeriğine sahiptir ve bu yağ, doymamış yağ asitleri bakımından zengin olması nedeniyle hem gıda hem de sanayi alanında kullanılmaktadır. Bitki yazlık ve kışlık olarak ekilebilmekte; kışlık ekimler genellikle daha yüksek verim potansiyeline sahip olmakla birlikte soğuk stresine dayanıklı çeşitlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Ekimden hasada kadar geçen süre ortalama 130–150 gün olup, bu süre iklim koşulları, ekim zamanı ve yetiştirilen çeşide bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Aspir, düşük girdi gereksinimi, geniş adaptasyon yeteneği ve çok yönlü kullanım alanları sayesinde yağ bitkileri tarımı içerisinde önemli bir potansiyel sunmaktadır (Öğüt ve ark., 2007).

Yazlık olarak ekilen diğer yağ bitkilerine kıyasla aspir hem kuru hem de soğuğa karşı toleranslı olması nedeniyle özellikle kuru tarım alanlarında münavebeye uygun bir bitki olarak öne çıkmaktadır. Bu özelliği, bitkisel yağ açığını kapatma açısından aspirin stratejik bir öneme sahip olmasını sağlamaktadır (Kolsarıcı ve ark., 2007; Pourghasemin ve Zahedi, 2009; Beyyavas ve ark., 2011). Aspir yağının en belirgin özelliği, doymuş yağ asitleri oranının düşük, doymamış yağ asitleri oranının ise yüksek olmasıdır. Yağ asitleri kompozisyonunda çok az veya hiç linoleik asit bulunmadığı için yağın rengi koyulaşmaz; bu nedenle batı ülkelerde margarin, mayonez ve salata yağı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yarı kuruyan yağlar grubunda yer alan aspir yağı, aynı zamanda boya, vernik, cila ve sabun yapımında da değerlendirilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006; Dajue ve Mündel, 1996).

Tohumlarından elde edilen yağ, çok yönlü kullanım potansiyeline sahiptir ve hem yemeklik hem de endüstriyel amaçlarla değerlendirilmektedir. Bitkinin sap kısımları ise yakacak olarak kullanılabilir. Aspirin farklı ve canlı renk tonlarına sahip çiçeklerinde bulunan etken madde carthamin, boya ve gıda sanayisinde renklendirici olarak kullanılmakta-

dır (Öztürk ve ark., 1999). Aspir yağı, vernik, cila ve sabun üretiminde de önemli bir hammadde olarak kullanılmaktadır (Mensink ve ark., 1994).

Aspir bitkisi, yalnızca tarımsal üretim açısından değil, aynı zamanda sahip olduğu yağ ve pigment bileşenleri sayesinde sanayi ve endüstriyel uygulamalar bakımından da önemli bir potansiyele sahiptir. Aspir tohumlarından elde edilen yağ; uygun yağ asidi kompozisyonu, yüksek oksidatif stabilitesi ve biyolojik olarak parçalanabilir olması nedeniyle biyodizel üretiminde tercih edilen hammaddeler arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra aspir yağı, çevreye daha az zarar veren organik çözücülerin üretiminde, mürekkep ve boya sanayisinde bağlayıcı madde olarak, plastik ve polimer sanayisinde ise katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca böcek ilaçları üretimi ve çeşitli yüzey kaplama uygulamalarında da aspir yağından yararlanılmaktadır (Kırıcı ve İnan, 2001).

Son yıllarda çevre dostu üretim yaklaşımlarının yaygınlaşması ve doğal ürünlere olan talebin artması, aspir bitkisine olan ilgiyi daha da artırmıştır. Özellikle sentetik boyar maddelerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin gündeme gelmesiyle birlikte, doğal pigment kaynaklarına yönelim hız kazanmıştır. Bu bağlamda aspir çiçeklerinden elde edilen doğal kırmızı pigmentler, gıda endüstrisinde renklendirici olarak kullanılabilmesinin yanı sıra tekstil sektöründe ekolojik ve sürdürülebilir boyama süreçlerinde önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Kızıl ve Gül, 1999).

Aspirden elde edilen doğal boyar maddeler, organik tarım prensiplerine uygun olarak yetiştirilen bitkilerden sağlanabildiği için, özellikle organik gıda üretimi ve çevreye duyarlı tekstil ürünleri açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca aspir pigmentleri, biyolojik olarak parçalanabilir olmaları ve toksik etki göstermemeleri nedeniyle ekolojik üretim sistemleriyle uyumlu bir hammadde olarak değerlendirilmektedir. Bu özellikleri sayesinde aspir, hem gıda sanayisinde hem de ekolojik tekstil ve doğal boya üretiminde sürdürülebilir ve katma değeri yüksek bir bitki olarak ön plana çıkmaktadır (Kırıcı ve İnan, 2001).

Aspir yağı hızlı kuruyan bir özelliğe sahiptir ve nem kaynaklı zararlara karşı dayanıklıdır (Baydar ve Turgut, 1993). Aspir bitkisi, yağ üretimini yanı sıra hayvan beslenmesinde de önemli bir yere sahiptir. Bitkinin yeşil aksamı, silaj ve kuru ot üretimi için kullanılabilmekte; bu sayede özellikle kaba yem açığının bulunduğu bölgelerde alternatif bir yem bitkisi olarak öne çıkmaktadır. Aspirin yem sanayisinde kullanımı, lif içeriği ve sindirilebilirliği sayesinde ruminant hayvan beslenmesinde katkı sağlamaktadır. Tohumlarından yağ çıkarıldıktan sonra elde edilen küspe, yaklaşık %25 civarında ham protein içeriğine sahip olup, bu özelliği

sayesinde hayvan rasyonlarında değerli bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle büyükbaş ve küçükbaş hayvan beslenmesinde soya küspesine alternatif olarak kullanılabilmekte ve yem maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra aspir, kuş yemi olarak doğrudan kullanılabilmekte ve arıcılık faaliyetlerinde nektar ve polen kaynağı olarak bal üretimini desteklemektedir (Babaoğlu, 2005). Ayrıca aspir tohumlarından elde edilen yağ, biyodizel üretiminde değerlendirilebilmesi sayesinde enerji tarımı açısından da önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Biyodizelin bazı özellikleri, üretimde kullanılan hammaddenin türüne bağlı olarak değişmektedir. Biyodizel üretiminde kullanılan yağ asitleri, doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yapıya sahip olabilir. Bu nedenle, biyodizel üretiminde kullanılacak yağın tekli doymamış yağ asitleri oranının yüksek olması tercih edilmektedir, çünkü bu durum yakıtın performans ve depolama özelliklerini olumlu yönde etkiler (Öğüt ve Oğuz, 2006; Darnoko ve Cheryan, 2000).

Yemelik Yağ Olarak Kullanımı: Aspir bitkisinin tohumlarından elde edilen yağ, doymamış yağ asitleri bakımından oldukça zengin olup toplam yağ asitlerinin yaklaşık %90'ını bu grup oluşturmaktadır. Bu durum, aspir yağının beslenme açısından değerli bir bitkisel yağ hâline getirmektedir. Aspir tohumlarının kimyasal bileşimi incelendiğinde; %32–34 oranında karbonhidrat, %14–15 protein, %5–8 nem ve %2–7 kül içerdiği görülmektedir (Kobuk ve ark., 2019). Yüksek oranda içerdiği linoleik asit sayesinde aspir yağı, margarin ve mayonez üretiminde, salata soslarında ve bazı hazır gıdaların imalatında kullanılabilir (Kırıcı ve İnan, 2001). Oleik tip aspir yağları, zeytin yağı ile benzer yağ asit profiline sahip olup, tat özellikleri açısından ayçiçek yağına yakın özellik göstermektedir (Öztürk ve ark., 2009).

Boya Bitkisi Olarak Kullanımı: Aspir çiçeklerinden kırmızı ve sarı olmak üzere iki temel renk elde edilmektedir. Suda çözünmeyen kırmızı pigment *carthamin*, suda çözünebilen sarı pigment ise *carthamidin* olarak adlandırılmaktadır. Bu doğal pigmentler gıda ve tekstil sanayinde kullanılmakta olup özellikle kırmızı pigmentler tekstil alanında tercih edilmektedir (Kıratlı, 2019). Nadir bulunan sarı pigmentler ise gıda sektöründe doğal renklendirici olarak değerlendirilmektedir. Aspir çiçeklerinden elde edilen bu pigmentlerin gıdalarda güvenle kullanılabileceği bildirilmektedir (Patanèa ve ark., 2020).

Tıp Alanında Kullanımı: Aspir bitkisi hem farklı toplumların geleneksel tıbbında hem de modern tıpta kullanılan bir bitkidir. Hint, Mısır, İran ve Çin gibi geleneksel tıbbi köklü ülkelerde aspir aktif olarak değer-

lendirilmektedir. Hint geleneksel tıbbında aspir, özellikle deri hastalıklarının tedavisinde; Çin geleneksel tıbbında ise kadın hastalıkları, yaralar ve mide tümörlerinin tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Imami ve ark., 2010). İran geleneksel tıbbında da da aspir, depresyon, diyabet, ateş ve balgam gibi farklı rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Asgary ve ark., 2012).

Modern tıpta da aspir yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle jinekolojik hastalıklar, hipertansiyon ve koroner kalp hastalıkları tedavisinde popülerlik kazanmıştır (Tu ve ark., 2015). Aspir, doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir kompozisyona sahip olduğundan kalp-damar sağlığını desteklemekte ve yüksek kolesterolün düşürülmesine yardımcı olmaktadır (Kobuk ve ark., 2019). Bunun yanı sıra aspir bitkisi flavonoid glikozitleri içermektedir. Flavonoidler, polifenolik yapıya sahip olup antioksidan etkileri sayesinde insan sağlığına olumlu katkıda bulunmaktadır (Çoban, 2010). Aspirin içerdiği renk pigmentleri ise diyabet, yüksek tansiyon ve davranışsal bozukluklar üzerinde otoprotektif etkiler göstermesi nedeniyle tıbbi açıdan değer taşımaktadır (Patanèa ve ark., 2020).

Biyodizel Üretiminde Kullanımı: Bitkisel, hayvansal veya atık yağlardan üretilen biyodizel, dizel yakıtlara alternatif olarak günümüzde önemli bir enerji kaynağıdır (Karabaş, 2013). Biyodizel yakıtların özellikleri, üretildikleri yağ verimi, yağ asit kompozisyonu, genetik yapısı ve ekolojik faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Katmer ve ark., 2005). Farklı özelliklere sahip yağ bitkilerinin çeşitli coğrafyalarda yetiştirilebilmesi, yağlarının kolayca elde edilmesi ve atıklarının yan ürün olarak farklı alanlarda değerlendirilebilmesi, yağ bitkilerinden biyodizel üretiminin önemli avantajlarındanıdır (Dizdar, 2003). Aspir yağının kısa zincirli bir alkol ile reaksiyona sokulması sonucu biyodizel yakıt elde edilmektedir. Aspiden üretilen biyodizel, araçlarda, havacılıkta ve ısınmada kullanılabilir (Solak, 2015). Yapılan bilimsel çalışmalarda, soya ve aspir bitkilerinden üretilen biyodizeller karşılaştırılmış ve aspir bitkisinden elde edilen biyodizelin daha iyi performans sonuçları verdiği bildirilmiştir (Taşlıgil ve Şahin, 2016).

4. Kolza (*Brassica napus*)

Rhœdales takımına ve *Cruciferae* familyasına ait bir bitkidir. Lahana ve yağ şalgamının doğal melezlenmesi sonucunda elde edilmiş bir türdür. Kolza tohumlarının yağ içeriği %30–42 arasında değişmekte olup, genel olarak kolza yağı %20–55 gibi yüksek oranda erüsik asit içermesiyle bilinmektedir. Ancak tohum ıslah çalışmaları sayesinde erüsik asit içeriği %0,1 değerine kadar düşürülebilmektedir. Sıfıra yakın erüsik asit içeriğine ve %41 yağ oranına sahip kolza tohumları, ayçiçeğine yakın bir özellik

göstermektedir (Gümüşkesen, 1999). Kolza yağının toplam doymuş yağ asidi içeriği %5,4–9,5, toplam doymamış yağ asidi içeriği ise %90,5–94,2 arasında değişmektedir. Düşük erüsik asitli kolza yağlarının en önemli yağ asitleri oleik ve linoleik asitlerdir.

Son yıllarda petrol fiyatlarındaki aşırı dalgalanmalar ve ekonomik krizlere çözüm arayışları, bitkisel yağların motor yakıtı ve yağına alternatif bir kaynak olarak öne çıkarmıştır. Bitkisel yağlarla dizel yakıtların karışımından oluşan yakıtlara biyodizel veya biyomotorin denilmektedir. Tüm bitkisel yağlar biyodizel üretiminde kullanılabilir; ancak özellikle hintyağı, jojoba, kolza, yağ şalgamı, aspir ve yer fıstığı üzerinde yoğun olarak durulmaktadır (Karaosmanoğlu, 2001).

Kolza tohumlarından soğuk presleme ile elde edilen ham yağ, metanol ile katalizör eşliğinde normal basınç ve sıcaklık koşullarında estere dönüştürülmektedir. 1 kg kolza tohumundan yaklaşık 450 g yağ elde edilmekte ve metanol ile reaksiyondan sonra bu miktar biyodizel yakıt hâline gelmektedir (Yaşar, 2009). Erüsik asit oranı yüksek çeşitlerden elde edilen yağlar ise sanayide, elektrik trafolarında ve biyoyakıt (biyodizel) üretiminde Fransa ve Almanya gibi Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Enerji korunumuyla ekonomik kazanım sağlamak ve enerji kullanımını optimize etmek amacıyla, enerji etkinliği modelleme yöntemleri önem kazanmaktadır. Biyoyakıt üretiminde kolza yetiştirmenin enerji etkinliği, tüketilen enerji miktarı ile üretim sonunda elde edilen ürünün enerji içeriğinin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmektedir (Unakıtan ve ark., 2010).

5. Sonuç

Günümüzde insanların karşılaştığı en önemli iki sorun, enerjiye olan talebin giderek artması ve başta CO₂ olmak üzere çeşitli sera gazlarının atmosferdeki aşırı birikimi sonucu ortaya çıkan küresel iklim değişikliğidir. Biyoetanol ve diğer biyokütle tabanlı enerji kaynaklarının kullanımı, bu iki soruna çözüm sunmakta ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek yerli potansiyele sahip olmasına rağmen, Türkiye enerji ihtiyacını büyük ölçüde dışa bağımlı olarak karşılamaktadır; bu durum, sosyo-ekonomik ve çevresel açıdan dezavantajlar yaratmaktadır. Fosile dayalı enerji kaynaklarının gelecekte tükenebileceği göz önüne alındığında, kirletici etkisi olmayan, temiz, güvenilir, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu enerji türlerinin üretimi, kullanımı ve bilinçli şekilde yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde artan enerji talebinin karşılanabilmesi için; doğal kaynakların akılcı biçimde değerlendirilmesi, yeni teknolojilere önem verilmesi, enerji üretiminin çeşitlendirilmesi ve mevcut teknolojilerin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, enerji politika ve stratejilerinin uygulanması, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve toplumda enerji verimliliği bilincinin geliştirilmesi, öncelikli konular arasında yer almaktadır.

Gelecekte dünya genelinde enerji ihtiyacının karşılanmasında enerji bitkileri önemli bir potansiyele sahiptir. Tarıma elverişli olmayan alanlarda alternatif enerji bitkilerinin yetiştirilmesi, farklı çözümler sunmaktadır. Yüksek verimlilik, düşük enerji ve gübre gereksinimi ile toprak iyileştirici özellikleri sayesinde, bu bitkilerin tarıma entegrasyonu, Türkiye'nin biyoyakıt üretimi için önemli bir hammadde kaynağı oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akınerdem F, 2007. Türkiyede biyoyakıtlar ve hammadde temini. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı. TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası.12-13 Aralık, 2007, s. 63-70, Ankara
- Arıoğlu H., 2007. Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: A-70, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Adana, 204 s
- Asgary, S., Rahimi, P., Mahzouni, P., Madani, & H., (2012) Antidiabetic effect of hydroalcoholic extract of *Carthamus tinctorius* L. in alloxan-induced diabetic rats. J Res Med Sci.;17(4):386–92
- Babaoğlu, M. (2005). Aspir Tarımı (*Carthamus tinctorius* L.), Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, s. 7, Edirne.
- Baydar H, & Turgut, İ. (1993). Aspirin (*Carthamus tinctorius* L.)'in Antalya Koşullarında Kışlık Olarak Yetiştirme Olanakları Üzerine Araştırmalar. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5-6 (1-2): 75-92.
- Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O. and Yılmaz, A. 2011. determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars, Lines and Populations under the Semi-Arid Conditions. African Journal of Biotechnology Vol. 10 (4), pp. 527-534.
- Çoban, A. (2010). Yalancı Safran Bitkisinden Doğal Pigment Eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı)
- Dajue, L., And Mündel, H. H., 1996. Safflower, promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy (ISBN92-9043-297-7). 85 pp.
- Darnoko D, Cheryan M. Kinetics Of Palm Oil Transesterification İn A Batch Reactor Journal Of The American Oil Chemists Society 77 (12): 1263–1267, 2000.
- Demirbas, A. (2009). Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. Energy Conversion and Management, 50(6), 1500-1504.
- Dizdar, M. Y. (2003). Türkiye'nin toprak kaynakları. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Teknik Yayınlar Dizisi, 2.
- Eser V, Sarsu F, Altunkay, M. 2007. Biyoyakıt üretiminde kullanılan bitkilerin mevcut durumu ve geleceği. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı. TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası.12-13 Aralık, 2007, s. 51-62, Ankara
- FAO. (2019). The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2021). The state of food and agriculture: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb4476en/cb4476en.pdf>

- Fargione, J., et al. (2008). Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*, 319(5867), 1235-1238.
- Foley, J. A., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337- 342.
- Fronedel, M., Peters, J., 2007. Biodiesel: A new Oildorado Energy Policy. 35: 1675-1684.
- Gross, R., Leach, M., Bauen, A., 2003. Progress in renewable energy. *Environment International*. 29: 105-122
- Gümüşkesen, A. S. 1999. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Asya Tıp Yayıncılık Ltd.Şti. ISBN 975-941208-0-5, s. 1-15, İzmir.
- Hartman, G. L., West, E. D., & Herman, T. K. (2011). Crops that feed the world 2. Soybean-worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3(1), 5-17.
- Horuz, A., Korkmaz, A., & Akınoğlu, G. (2015). Biyoyakıt bitkileri ve teknolojisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3(2), 69-81.
- IEA (International Energy Agency). (2022). Bioenergy report. IEA Publications.
- Imami A, Taleb A, Khalili H. (2010). PDR for Herbal Medicines. 1 ed. Tehran: Andisheh-Avar.
- Karabaş, H. (2013). Ülkemiz Islahçı Çeşitlerinden Remzibey-05 Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tohumlarından Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 9-17.
- Karaosmanoğlu, F., 2001. Biomotorin ve Türkiye. *Enerji*, 1, 35-38
- Karp, A., Halford, N., 2011. Chapter 1: Energy Crops: Introduction, RSC Energy and Environment Series No. 3, Published by the Royal Society of Chemistry, 1-12.
- Katmer, E., Derici, O., Çelikoğlu, F., Erbahadır, M.,A., & Balcı, A. (2005). Ülkemizde Üretilen Aspir Bitkisinden Elde Edilen Yemeklik Yağın Kalite Özelliklerinin ve Depolama Şartlarının Belirlenmesi. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Gıda Kontrol ve Merkez Araştırma Enstitüsü. Proje Kod No: TAGEM/GY/02/11/08/069. Genel Yayın No:127, Bursa
- Kaya, S., Aydın, G., Karakurt, İ., 2019. Fosil enerji kaynaklarının çevresel etkileri. Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 16-19 Nisan 2019, Antalya, Türkiye, 1523-1529.
- Kıratlı, N. (2019). Farklı Formülasyonların Zerde Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kırıcı, S. & İnan, M. (2001). Farklı çiçek hasat tarihlerinin çiçek ve tohum verimleri ile toplam boyar madde ve yağ oranlarına etkileri. Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, s.67-71, Tekirdağ.
- Kızıl, S. & Gül, Ö. (1999). Diyarbakır koşullarında farklı ekim zamanlarının aspir (*Carthamus tinctorius* L.) de boyar madde oranı, taç yaprağı verimi

- ve bazı tarımsal karakterler üzerine etkisi. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, Cilt II, Endüstri Bitkileri, s.241-246, Adana.
- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1059-1070.
- Kobuk, M., Ekinci, K., & Erbaş, S. (2019). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) genotiplerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(1), 89-96.
- Koçar, G., & Cıvaş, N. (2013). Enerji bitkilerinden elde edilen biyoyakıtların genel görünümü: Mevcut durum ve gelecek beklentileri. *Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji incelemeleri*, 28, 900-916.
- Kökten, K., Ozdemir, S., 2022. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.), In: Grasses, Y.Karadag, S.Seydosoglu (eds.), 261-283 pp., İksad Yayınevi, Ankara, June.
- Kolsarıcı, Ö., Gür, A., Başalma, D., Kaya, M.D. İslar, N., 2005. “Yağlı tohumlu bitkiler üretimi”.
- Malça, J. And Freire, F., 2006. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. *Energ.* 31: 3363-3380.
- Matsuoka, S., Kennedy, A. J., Santos, E. G. D. D., Tomazela, A. L., & Rubio, L. C. S. (2014). Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. *Advances in Botany*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>
- Mensink, R.P., Temme, E.H.M. & Hornstra, G. (1994). Dietary saturated and trans acids and lipoprotein metabolism, *Annals of Medicine*, 26 (6), 461-464.
- Messina, M. (2010). Insights gained from 20 years of soy research. *The Journal of Nutrition*, 140(12), 2289S-2295S.
- NRC (National Research Council). (2016). *Nutrient Requirements of Swine* (11th Ed.). National Academies Press.
- Ong, Y.K., Bhatia, S., 2010. The current status and perspectives of biofuel production via catalytic cracking of edible and non-edible oils. *Energy*. 35:111-119.
- Öğüt, H., and Oguz, H. 2006. The third millennium's fuel: Biodiesel. No. 745, Ankara Nobel Publishing. ISBN: 975-591-730-6 190 p.
- Öğüt, H., Eryılmaz, T. ve Oğuz, H. (2007). Bazı aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. 1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, 28-31 Mayıs, Samsun, Türkiye
- Özdoğan, T., Geren, H., 2019. Enerji bitkisi olarak kullanılan filotu (*Miscanthus x giganteus*)'nda farklı azot seviyelerinin biyokütle verimi ve bazı verim özelliklerine etkisi üzerine bir ön araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(2):257-262.

- Öztürk, Ö., Akınerdem, F., & Gönülal, E. (1999). Konya ekolojik şartlarında farklı ekim zamanı ve sıra aralıklarının tohum ve yağ verimine etkisi., Türkiye III. Tarla Bitkileri Kongresi, Adana.
- Öztürk, Ö., Rahim, A. D. A., Akınerdem, F. (2009). Bazi aspir çeşitlerinin sulu ve kuru koşullarda verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 23(50), 16-27.
- Patanèa, C., Salvatore, L., Cosentino, B., Calcagnoli, S., Pulvirenti, L., & Siracusano, L. (2020). How do sowing time and plant density affect the pigments safflorins and carthamin in florets of safflower, *Elsevier, Industrial Crops and Products* 148 (2020) 112313.
- Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Dacko, F.D., Bhattarai, S., Maskey, S.L., Sampt, C., Rerkasem, B., Khanh, T.D., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48(1-3), 1-17.
- Pourghasemin, N. and Zahedi, M., 2009. Effects of Planting Pattern and Level of Soil Moisture on Yield and Yield Components of Two Safflower Cultivars in Isfahan. <http://www.doaj.org>.
- Pratap, A., Gupta, S. K., Kumar, J., & Solanki, R. K. (2012). Soybean. *Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1: Breeding*, 293-321.
- Salvagiotti, F., Cassman, K. G., Specht, J. E., Walters, D. T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>.
- Setchell, K. D. R. (1998). Phytoestrogens: the biochemistry, physiology, and implications for human health of soy isoflavones. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(6), 1333S-1346S.
- Solak, S. (2015). Aspir ve Çay Tohumu Yağlarının Endüstriyel Amaçlı Kullanımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye.
- Sprent, J. I. (2007). Evolving ideas of legume evolution and diversity. *Taxon*, 56(4), 963-969.
- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2016). Stratejik önemi artan bir endüstri bitkisi: Aspir (*Carthamus tinctorius* L.). *Türk Coğrafya Dergisi*, (66), 51-62.
- Tilman, D., et al. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Tu, Y., Xue, Y., Guo, D., Sun, L., & Guo, M. (2015). Carthami flos: a review of its ethnopharmacology, pharmacology and clinical applications. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25, 553-566.
- Unakıtan, G., Hurma, H., Yılmaz, F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy* (2010): 15.
- Vitousek, P. M., et al. (2002). Agricultural intensification and ecosystem properties.

Science, 277(5325), 504-509.

Wang, Y., et al. (2016). Soy protein and cardiovascular health: A review of human clinical trials. The Journal of Nutrition, 146(12), 2334S-2341S.

Wilson, R. F. (2004). Seed composition. In Soybeans: Improvement, Production, and Uses (pp. 621-677). Agronomy Monograph.

Yaşar, B. 2009. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.

Bölüm 4

BİYOÇEŞİTLİLİK-EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM¹

Muhsin YILDIZ², Murat KARA³

1 *Sorumlu Yazar : muhsinyildiz@yyu.edu.tr

2 Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, VAN,

muhsinyildiz@yyu.edu.tr Orcid No: 0000-0002-0766-5174

3 Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, VAN,

muratkara@yyu.edu.tr Orcid No: 0000-0003-1011-918X

GİRİŞ

Küresel tarım sistemleri, 21. yüzyılın başından itibaren eşi benzeri görülmemiş çoklu krizlerin eş zamanlı etkisi altında bulunmaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, kişi başına düşen doğal kaynakların azalması, iklim değişikliğinin giderek şiddetlenmesi ve ekosistem bozulmalarının hızlanması, tarımsal üretimin yalnızca miktarını değil, üretim biçimlerini de temel bir sorgulama konusu hâline getirmiştir (Foley vd., 2005; Ramankutty vd., 2018). Yirminci yüzyıl boyunca küresel gıda üretimindeki artış, büyük ölçüde yoğun tarım paradigmalarına dayanmış; yüksek verimli çeşitlerin kullanımı, sentetik gübreler, pestisitler ve mekanizasyon, özellikle Yeşil Devrim sonrasında tarımsal verimlilikte önemli artışlar sağlamıştır (Pingali, 2012). Ancak bu üretim modeli, doğal habitatların kaybı, toprak bozunumu, su kaynaklarının kirlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin küresel ölçekte azalması gibi giderek daha görünür hâle gelen çevresel maliyetler pahasına gerçekleştirilmiştir (Foley vd., 2005; Sutton, 2011).

Biyçeşitlilik kaybı, tarımsal sistemler açısından yalnızca bir doğa koruma sorunu olarak değerlendirilmemektedir. Artan sayıda çalışma, biyolojik çeşitliliğin azalmasının tarımsal üretkenlik, verim istikrarı ve ekosistem hizmetleri üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Cardinale vd., 2012; Isbell vd., 2015). Bu bağlamda tarım, bir yandan biyçeşitlilik kaybının başlıca sürücülerinden biri olarak öne çıkarken, diğer yandan bu kayıptan doğrudan etkilenen bir sektör konumundadır. Geleneksel yaklaşımlar, tarımsal üretim ile biyçeşitlilik arasında kaçınılmaz bir ödünleşim (trade-off) bulunduğunu varsaymış olsa da, son yıllarda yapılan çalışmalar bu varsayımın her koşulda geçerli olmadığını göstermektedir (Tamburini vd., 2020; Kleijn vd., 2019). Özellikle Biyçeşitlilik–Ekosistem Fonksiyonları (BEF) literatürü, biyolojik çeşitliliğin uygun biçimde yönetildiğinde tarımsal sistemlerin performansını destekleyebileceğini ortaya koymaktadır (Tilman vd., 2014; van der Plas, 2019).

BEF yaklaşımı, başlangıçta doğal ekosistemlerde geliştirilmiş olmakla birlikte, son on yılda tarımsal sistemlere uygulanabilirliği giderek daha fazla araştırılan bir çerçeve hâline gelmiştir. Bitki çeşitliliğinin üretkenlik, stabilite ve ekosistem çok işlevliliği üzerindeki etkileri; toprak mikrobiyal topluluklarının yapısı ve işleyişiyle yakından ilişkilidir (Wagg vd., 2014; Prommer vd., 2020). Cappelli ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen kavramsal çerçeve, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin farklı trofik seviyelerde ayrıştırılması gerektiğini vurgulamış ve bu etkilerin büyük ölçüde toprak biyotasının aracılığıyla gerçekleştiğini göstermiştir (Cappelli vd., 2020; Cappelli vd., 2022). Bu kitap bölümü, sürdürülebilir tarım sistemlerini BEF perspektifinden ele

alarak, biyoçeşitlilik, ekosistem fonksiyonları ve tarımsal üretim arasındaki ilişkileri güncel literatür ışığında tartışmayı amaçlamaktadır.

1. TARIMSAL BİYOÇEŞİTLİLİK: KAVRAMSAL ÇERÇEVE, ÖLÇEKLER VE BİLEŞENLER

Tarımsal biyoçeşitlilik, gıda üretim sistemlerinin biyolojik temelini oluşturan tüm canlı bileşenleri kapsayan çok katmanlı bir kavramdır. Bu kavram, yalnızca tarımda kullanılan bitki ve hayvan türlerini değil; aynı zamanda bu türlerin genetik varyasyonlarını, yabani akrabalarını, tarımsal peyzajlarda yaşayan yardımcı organizmaları ve toprak biyotasını da içermektedir (Thiele-Bruhn vd., 2012; Bender vd., 2016). Dolayısıyla tarımsal biyoçeşitlilik, üretim süreçlerinin sürekliliği ve dayanıklılığı açısından merkezi bir öneme sahiptir.

1.1. Tarımsal Biyoçeşitliliğin Tanımı ve Kapsamı

Tarımsal biyoçeşitlilik, genellikle üç ana düzeyde ele alınmaktadır: genetik çeşitlilik, tür çeşitliliği ve ekosistem/pesaj çeşitliliği. Genetik çeşitlilik, aynı tür içerisindeki varyasyonları kapsamakta ve tarımsal sistemlerin çevresel streslere uyum kapasitesini belirlemektedir (Zhu vd., 2000; Weis vd., 2021). Tür çeşitliliği, tarımsal alanlarda bulunan farklı bitki ve hayvan türlerinin sayısı ve bileşimini ifade ederken; peyzaj çeşitliliği, tarım alanlarıyla birlikte doğal ve yarı doğal habitatların mekânsal düzenini kapsamaktadır (Torralba vd., 2016). Bu düzeylerin her biri, ekosistem fonksiyonları üzerinde farklı fakat birbirini tamamlayıcı etkilere sahiptir. Örneğin genetik çeşitlilik, hastalık direnci ve verim istikrarı açısından kritik bir rol oynarken; tür ve peyzaj çeşitliliği, biyolojik düzenleme ve tozlaşma gibi hizmetlerin sürekliliğini sağlamaktadır (Isbell vd., 2017; Albrecht vd., 2020).

1.2. Agrobiyoçeşitliliğin Fonksiyonel Boyutu

Son yıllarda tarımsal biyoçeşitlilik çalışmalarında nicel ölçütlerden ziyade fonksiyonel çeşitlilik kavramı ön plana çıkmıştır. Fonksiyonel çeşitlilik, türlerin ekosistem süreçlerine katkı sağlayan özelliklerinin çeşitliliğini ifade etmektedir (Tilman vd., 2014). Bu yaklaşım, yalnızca tür sayısına odaklanan değerlendirmelerin, ekosistem fonksiyonlarını açıklamada yetersiz kalabileceğini ortaya koymuştur. Fonksiyonel özellikler; kök derinliği, besin alım stratejileri, büyüme hızı ve savunma mekanizmaları gibi bitkisel özelliklerin yanı sıra, mikrobiyal metabolik kapasiteleri de kapsamaktadır (Barry vd., 2019; Nemergut vd., 2014). Tarımsal sistemlerde yüksek fonksiyonel çeşitlilik, kaynak kullanım verimliliğini artırarak BEF mekanizmalarının daha etkin işlemlerini sağlamaktadır.

1.3. Tarımsal Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri

Tarımsal biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetlerinin sürekliliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu hizmetler; üretim hizmetleri (verim), düzenleyici hizmetler (hastalık baskılama, besin döngüsü), destekleyici hizmetler (toprak oluşumu) ve kültürel hizmetleri kapsamaktadır (Balvarena vd., 2006; Cardinale vd., 2012). Bitki çeşitliliği, özellikle biyolojik zararlı kontrolü ve hastalık baskılama üzerinde güçlü etkilere sahiptir. Tür zenginliği arttıkça, patojenlerin yayılımı sınırlandırılmakta ve seyreltme etkisi devreye girmektedir (Keesing vd., 2006; Halliday vd., 2020). Aynı zamanda polinator çeşitliliği ve bolluğu, peyzaj ölçeğinde biyoçeşitlilikle doğrudan ilişkilidir (Albrecht vd., 2020).

1.4. Tarımsal Biyoçeşitlilik Kaybının Sürücüler

Küresel ölçekte tarımsal biyoçeşitlilik, başta tarımsal yoğunlaştırma olmak üzere çok sayıda baskı altındadır. Monokültürlerin yaygınlaşması, geleneksel çeşitlerin terk edilmesi ve habitatların parçalanması, genetik ve tür çeşitliliğinde ciddi azalışlara yol açmıştır (Bruinsma, 2003; Pingali, 2012). Kimyasal girdilerin yoğun kullanımı, yalnızca hedef organizmaları değil, aynı zamanda faydalı organizmaları da olumsuz etkilemektedir (Carvalho, 2017). Bu durum, ekosistem fonksiyonlarının biyolojik temellerini zayıflatarak tarımsal sistemlerin kırılma eğilimini artırmaktadır (de Graaff vd., 2019).

1.5. Tarımsal Biyoçeşitliliğin Sürdürülebilirlik Açısından Önemi

Tarımsal biyoçeşitlilik, sürdürülebilir tarımın yalnızca bir bileşeni değil; aynı zamanda temel belirleyicisidir. Çeşitlilik temelli sistemler, üretkenliği korurken çevresel baskıları azaltabilmekte ve iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırabilmektedir (Isbell vd., 2015; Herrero vd., 2020). Bu bağlamda tarımsal biyoçeşitliliğin korunması, yalnızca doğa koruma politikalarının değil; tarımsal üretim stratejilerinin de ayrılmaz bir parçası olmalıdır. BEF yaklaşımı, bu bütünleşmenin bilimsel temelini oluşturarak sürdürülebilir tarımın ekolojik mantığını güçlendirmektedir.

2. BİYOÇEŞİTLİLİK-EKOSİSTEM FONKSİYONLARI (BEF) TEORİSİ

Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (Biodiversity-Ecosystem Functioning; BEF) teorisi, ekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin ekosistem süreçlerini ve hizmetlerini hangi mekanizmalar aracılığıyla etkilediğini açıklamayı amaçlayan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Bu teori, 1990'lı yıllardan itibaren deneysel ekoloji, biyocoğrafya ve sistem ekolojisi alanlarında yürütülen çalışmalarla gelişmiş; özellikle kontrollü çeşit-

lilik deneyleri sayesinde güçlü ampirik temeller kazanmıştır (Tilman vd., 2014; Cardinale vd., 2011). BEF yaklaşımı, uzun süre tarımsal sistemlere doğrudan uygulanabilir görülmemiştir. Bunun temel nedeni, tarımsal sistemlerin yüksek düzeyde yönetilen ve insan müdahalesine açık yapılar olarak değerlendirilmesidir. Ancak son yirmi yılda artan sayıda çalışma, BEF ilişkilerinin tarımsal ekosistemlerde de güçlü biçimde işlediğini ve sürdürülebilir tarımın ekolojik temelini oluşturduğunu ortaya koymuştur (Letourneau vd., 2011; Duru vd., 2015).

2.1. BEF Teorisinin Tarihsel Gelişimi

BEF araştırmaları, başlangıçta tür zenginliği ile birincil üretkenlik arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına odaklanmıştır. Yachi ve Loreau'nun (1999) ortaya koyduğu sigorta hipotezi, biyoçeşitliliğin çevresel dalgalanmalara karşı ekosistem fonksiyonlarını stabilize ettiğini ileri sürerek BEF literatürüne yön vermiştir. Bunu takiben Loreau ve Hector (2001), çeşitlilik–üretkenlik ilişkisini nicel olarak ayırarak tamamlayıcılık ve seçim etkisi kavramlarını literatüre kazandırmıştır. 2000'li yılların başında yürütülen geniş ölçekli meta-analizler, biyoçeşitliliğin üretkenlik, besin döngüsü ve biyokütle üretimi üzerinde tutarlı ve pozitif etkiler yarattığını göstermiştir (Balvanera vd., 2006; Cardinale vd., 2006). Daha sonraki çalışmalar ise BEF ilişkilerinin yalnızca üretkenlikle sınırlı olmadığını, ekosistem stabilitesi ve çok işlevliliği kapsadığını ortaya koymuştur (Isbell vd., 2018; van der Plas, 2019).

2.2. BEF Mekanizmaları: Tamamlayıcılık, Seçim ve Sigorta Etkileri

BEF teorisinin merkezinde yer alan mekanizmalar, biyoçeşitliliğin ekosistem fonksiyonlarını neden ve nasıl etkilediğini açıklamaktadır.

2.2.1 Tamamlayıcılık Mekanizması

Tamamlayıcılık, farklı türlerin kaynakları farklı biçimlerde kullanması veya ekosistemde farklı işlevsel roller üstlenmesi sayesinde toplam fonksiyonel çıktının artmasını ifade eder. Bu mekanizma, özellikle farklı kök mimarilerine, büyüme hızlarına veya besin alım stratejilerine sahip bitkilerin birlikte bulunduğu sistemlerde belirgin hâle gelmektedir (Fargione vd., 2007; Barry vd., 2019). Tarımsal sistemlerde tamamlayıcılık, birlikte ekim (intercropping) ve polikültür uygulamalarında açıkça gözlemlenmektedir. Örneğin, azot bağlayan baklagiller ile tahılların birlikte yetiştirilmesi, besin kullanım verimliliğini artırarak toplam verimi yükseltebilmektedir (Brooker vd., 2015; Li vd., 2020).

2.2.2. Seçilim Etkisi

Seçilim etkisi, çeşitlilik arttıkça yüksek performanslı türlerin sistemde bulunma olasılığının yükselmesine dayanır. Bu mekanizma, özellikle kısa vadeli üretkenlik artışlarını açıklamada önemlidir (Cardinale vd., 2011). Ancak seçilim etkisine aşırı bağımlı sistemler, belirli türlerin başarısına bağlı hâle gelerek uzun vadede kırılganlaşabilmektedir. Tarımsal sistemlerde seçilim etkisi, yüksek verimli tek çeşitlerin yaygın kullanımında kendini göstermektedir. Bu yaklaşım kısa vadede verim artışı sağlasa da, hastalık salgınları ve çevresel stresler karşısında sistemin dayanıklılığını azaltmaktadır (Pingali, 2012; Bennett vd., 2012).

2.2.3. Sigorta Mekanizması

Sigorta mekanizması, türlerin çevresel değişkenliklere farklı tepkiler vermesi sayesinde ekosistem fonksiyonlarının zaman içinde daha istikrarlı kalmasını açıklar (Yachi & Loreau, 1999). Bu mekanizma, iklim değişikliği bağlamında tarımsal sistemlerin dayanıklılığı açısından özel bir önem taşımaktadır. Uzun dönemli deneyler, bitki çeşitliliğinin aşırı hava olayları sırasında verim kayıplarını azalttığını ve üretkenliğin daha hızlı toparlanmasını sağladığını göstermektedir (Isbell vd., 2015; Isbell vd., 2017). Bu bulgular, tarımsal biyoçeşitliliğin iklim adaptasyonu açısından stratejik bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

2.3. BEF ve Ekosistem Çok İşlevliliği

BEF literatüründeki önemli bir paradigma kayması, ekosistem fonksiyonlarının tek tek değil, ekosistem çok işlevliliği perspektifiyle ele alınmasıdır. Ekosistem çok işlevliliği, bir sistemin aynı anda birden fazla fonksiyonu yüksek düzeyde yerine getirme kapasitesini ifade eder (Mastore vd., 2012). Araştırmalar, yüksek biyoçeşitliliğin ekosistem çok işlevliliğini güçlü biçimde desteklediğini göstermektedir (Wagg vd., 2014; van der Plas vd., 2016). Tarımsal sistemlerde bu durum, yalnızca yüksek verim değil; aynı zamanda düşük besin kaybı, yüksek karbon depolama ve etkili biyolojik düzenleme anlamına gelmektedir.

2.4. Tarımsal Sistemlerde BEF'nin Uygulanabilirliği

Tarımsal sistemler uzun süre BEF ilişkilerinin “bozulduğu” veya “geçersiz” olduğu sistemler olarak değerlendirilmiştir. Ancak son dönemde yapılan sentez çalışmaları, bu varsayımın geçerliliğini yitirdiğini göstermektedir (Letourneau vd., 2011; Iverson vd., 2014). Cappelli ve çalışma arkadaşlarının çalışmaları, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin farklı trofik seviyelerde ayrıştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, bitki çeşitliliğinin doğrudan etkilerinin yanı

sıra, otçullar, patojenler ve toprak mikroorganizmaları aracılığıyla dolaylı etkiler yarattığını göstermektedir (Cappelli vd., 2020; Cappelli vd., 2022).

2.5. BEF Teorisinin Sınırları ve Eleştiriler

BEF teorisi güçlü ampirik desteklere sahip olsa da, bazı sınırlamalara da sahiptir. Deneyisel çalışmaların çoğu kontrollü koşullarda yürütülmüş olup, gerçek tarım sistemlerinin karmaşıklığını tam olarak yansıtmayabilir (Manning vd., 2019). Ayrıca tür zenginliği ile fonksiyonel çeşitlilik arasındaki ilişkinin her zaman doğrusal olmadığı; çevresel streslerin BEF ilişkilerini modüle edebileceği gösterilmiştir (Steudel vd., 2012). Bu bulgular, BEF yaklaşımının bağlama duyarlı bir çerçeve olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3. BİTKİ ÇEŞİTLİLİĞİ – TOPRAK MİKROBİYOMU – EKOSİSTEM FONKSİYONLARI ARASINDAKİ BAĞLANTILAR

Bitki çeşitliliği ile ekosistem fonksiyonları arasındaki ilişkinin anlaşılmasında toprak mikrobiyomu merkezi bir ara yüz olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bitki çeşitliliğinin ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkilerinin büyük ölçüde toprakta yaşayan mikroorganizmalar tarafından aracılık edildiğini göstermektedir (Wagg vd., 2014; Cappelli vd., 2022). Bu bulgular, BEF teorisinin tarımsal sistemlerde neden yalnızca bitkisel üretime indirgenemeyeceğini ve çok trofikli bir perspektif gerektirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Toprak mikrobiyomu; bakteriler, mantarlar, arkeler, protistler ve virüslerden oluşan son derece karmaşık bir topluluk olup, toprak ekosistemlerinin biyokimyasal işleyişinin temel belirleyicisidir (Philippot vd., 2013; Nemergut vd., 2014). Karbon ve azot döngüsü, organik madde oluşumu, toprak agregasyonu ve bitki sağlığı gibi kritik süreçler, büyük ölçüde bu mikrobiyal toplulukların bileşimi ve fonksiyonel kapasitesi tarafından yönlendirilmektedir (Schimel & Schaeffer, 2012; Lehmann vd., 2017).

3.1. Bitki Çeşitliliğinin Toprak Mikrobiyal Topluluk Yapısına Etkileri

Bitkiler, kökleri aracılığıyla toprağa önemli miktarda karbon aktarır. Bu karbon, kök salgıları (root exudates), ince kök döküntüleri ve rizodepozisyon yoluyla toprak mikrobiyal topluluklarının ana enerji kaynağını oluşturur (Philippot vd., 2013). Farklı bitki türleri, kimyasal bileşim açısından farklı kök salgıları üreterek toprakta farklı mikrobiyal nişlerin oluşmasına neden olmaktadır (Hu vd., 2018; Fitzpatrick vd., 2018). Bitki çeşitliliğinin artması, bu kimyasal girdilerin çeşitlenmesine ve sonuç olarak mikrobiyal tür zenginliği ile fonksiyonel çeşitliliğin artmasına yol

açmaktadır (Zak vd., 2003; McDaniel vd., 2014). Uzun dönemli deneysel çalışmalar, yüksek bitki çeşitliliğine sahip sistemlerde bakteri ve mantar topluluklarının daha dengeli ve fonksiyonel olarak tamamlayıcı yapılar sergilediğini göstermektedir (Bååth & Anderson, 2003; Wagg vd., 2019). Buna karşılık monokültür sistemlerde, sınırlı ve homojen karbon girdileri mikrobiyal toplulukları dar bir fonksiyonel spektruma hapseder. Bu durum, toprak ekosistem fonksiyonlarının birkaç baskın mikrobiyal gruba bağımlı hâle gelmesine ve sistemin çevresel streslere karşı kırılma eğilimine yol açmaktadır (Kozdrój & van Elsas, 2001; de Graaff vd., 2019).

3.2. Rizosfer Dinamikleri ve Bitki-Mikroorganizma Etkileşimleri

Rizosfer, bitki kökleri ile toprak mikroorganizmaları arasındaki yoğun etkileşimlerin gerçekleştiği, son derece dinamik bir mikrohabitat olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede bitkiler ve mikroorganizmalar arasında karşılıklı faydaya dayalı simbiyotik ilişkiler gelişir (Philippot vd., 2013; Finkel vd., 2017). Bitki çeşitliliği arttıkça, rizosferdeki mikrobiyal topluluklar daha karmaşık hâle gelmekte ve bitki-toprak geri besleme (plant-soil feedback) süreçleri çeşitlenmektedir (Mariotte vd., 2018; Thakur vd., 2021). Çeşitlilik temelli sistemlerde pozitif geri beslemeler baskın hâle gelirken, düşük çeşitlilikli sistemlerde patojen birikimi ve negatif geri beslemeler daha yaygın görülmektedir (Bennett vd., 2012; Hannula vd., 2020). Mikorizal mantarlar, bu etkileşimlerin en iyi bilinen örneklerinden biridir. Mikorizal çeşitlilik, bitkilerin besin alımını, stres toleransını ve üretkenliğini artırarak ekosistem fonksiyonlarını güçlendirmektedir (van der Heijden vd., 1998; Bender & van der Heijden, 2015).

3.3. Mikrobiyal Ağ Yapısı ve Fonksiyonel Dayanıklılık

Toprak mikrobiyomu, yalnızca türlerin bir araya gelmesinden oluşan rastgele bir topluluk değil; karmaşık etkileşim ağlarıyla organize olmuş bir sistemdir. Son yıllarda ağ analizi yöntemleri, mikrobiyal toplulukların yapısal özelliklerini ve bu yapıların ekosistem fonksiyonlarıyla ilişkisini ortaya koymada önemli araçlar sunmuştur (Banerjee vd., 2019). Araştırmalar, bitki çeşitliliğinin mikrobiyal ağ karmaşıklığını ve bağlantılılığını artırdığını göstermektedir (Wagg vd., 2019; Banerjee vd., 2019). Daha karmaşık ağlar, fonksiyonel yedeklilik sağlayarak belirli türlerin kaybı durumunda ekosistem fonksiyonlarının korunmasına katkıda bulunmaktadır (Nemergut vd., 2014). Yoğun tarım uygulamaları ise mikrobiyal ağların sadeleşmesine ve kilit türlerin kaybına yol açarak sistemin dayanıklılığını zayıflatmaktadır (Banerjee vd., 2019; de Graaff vd., 2019). Bu durum, BEF ilişkilerinin toprak biyotasının yapısal özelliklerine ne derece bağımlı olduğunu göstermektedir.

3.4. Karbon Döngüsü, Toprak Organik Maddesi ve Mikrobiyal Nekromas

Toprak karbonunun önemli bir bölümü, bitkilerden doğrudan gelen kalıntılardan ziyade mikrobiyal kökenli organik maddeden oluşmaktadır. Mikrobiyal nekromas, yani ölü mikrobiyal hücrelerin kalıntıları, toprak organik maddesinin kalıcı fraksiyonlarının oluşumunda kilit bir rol oynamaktadır (Kallenbach vd., 2016; Liang vd., 2019). Bitki çeşitliliği, mikrobiyal biyokütle üretimini ve karbon kullanım verimliliğini artırarak daha fazla mikrobiyal nekromas oluşumunu teşvik etmektedir (Prommer vd., 2020; Domeignoz-Horta vd., 2021). Bu süreç, toprakta karbonun uzun süreli depolanmasını destekleyerek tarımsal sistemlerin iklim değişikliğiyle mücadele potansiyelini güçlendirmektedir (Lal, 2004; Lehmann vd., 2020).

3.5. Azot Döngüsü ve Sera Gazı Dinamikleri

Toprak mikrobiyomu, azot döngüsünün tüm aşamalarında görev alan fonksiyonel grupları içermektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri, mikrobiyal topluluk bileşimi tarafından doğrudan kontrol edilmektedir (Philippot vd., 2011; Daims vd., 2015). Bitki çeşitliliği, bu süreçlerin dengesini etkileyerek N_2O gibi güçlü sera gazlarının salımını düzenleyebilmektedir. Çeşitlilik temelli tarım sistemlerinde, N_2O 'yu N_2 'ye dönüştüren mikrobiyal grupların bolluğu artmakta ve sera gazı emisyonları azalabilmektedir (Domeignoz-Horta vd., 2016; Domeignoz-Horta vd., 2018).

3.6. Hastalık Baskılama ve Toprak Baskılayıcı Özellikleri

Toprak mikrobiyal çeşitliliği, bitki hastalıklarının doğal yollarla baskılanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Çeşitli mikrobiyal topluluklar, patojenlerle rekabet ederek, antibiyotik bileşikler üreterek veya bitki savunma mekanizmalarını aktive ederek hastalık baskısını azaltmaktadır (Qiu vd., 2019; Hannula vd., 2020). Bitki çeşitliliğinin artması, bu biyolojik baskılama mekanizmalarını güçlendirerek pestisit kullanımına olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir tarım sistemlerinde biyoçeşitliliğin hem ekolojik hem de ekonomik değerini ortaya koymaktadır (Letourneau vd., 2011; Tamburini vd., 2020).

4. TROFİK SEVİYELER ARASI ETKİLEŞİMLER, HASTALIK DİNAMİKLERİ VE BEF

Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (BEF) ilişkileri, yalnızca birincil üreticilerle sınırlı değildir; aksine trofik seviyeler arası etkileşimler yoluyla şekillenen çok katmanlı süreçlerin sonucudur. Tarımsal ekosis-

temlerde bitkiler, otçullar, patojenler, doğal düşmanlar ve toprak biyotası arasındaki etkileşimler, hem üretkenliği hem de ekosistem stabilitesini belirlemektedir (Cardinale vd., 2012; Manning vd., 2019). Bu bağlamda biyoçeşitlilik, yalnızca tür sayısının artışı değil, aynı zamanda trofik ağların karmaşıklığının ve işlevsel bütünlüğünün korunması anlamına gelmektedir.

4.1. Bitki Çeşitliliği ve Otçul–Doğal Düşman Etkileşimleri

Bitki çeşitliliği, otçul böcek topluluklarının yapısını ve yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Tek tip bitki örtüsü, uzmanlaşmış zararlı türler için elverişli koşullar yaratırken; çeşitlilik temelli sistemler, zararlıların konukçu bulmasını zorlaştırmakta ve popülasyon artışını sınırlandırmaktadır (Letourneau vd., 2011; Albrecht vd., 2020). Çeşitli bitki toplulukları, doğal düşmanlar için daha fazla barınak, besin ve yaşam alanı sağlayarak biyolojik kontrolü güçlendirmektedir. Meta-analizler, polikültür sistemlerde zararlı baskısının azaldığını ve doğal düşman etkinliğinin arttığını ortaya koymuştur (Iverson vd., 2014; Tamburini vd., 2020). Bu durum, BEF çerçevesinde üstten-aşağı (top-down) kontrol mekanizmalarının önemini vurgulamaktadır.

4.2. Bitki Çeşitliliği ve Hastalık Dinamikleri: Seyreltme Etkisi

Biyoçeşitliliğin hastalık dinamikleri üzerindeki etkileri, seyreltme etkisi (dilution effect) kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu hipoteze göre, yüksek konukçu çeşitliliği patojenlerin yayılmasını sınırlandırarak hastalık riskini azaltmaktadır (Keesing vd., 2006). Tarımsal sistemlerde yapılan çalışmalar, bitki tür ve çeşitliliğinin fungal ve bakteriyel hastalıkların şiddetini azalttığını göstermektedir (Zhu vd., 2000; Kristoffersen vd., 2020). Özellikle genetik olarak çeşitli ekin karışımları, patojenlerin hızlı adaptasyonunu engelleyerek hastalık dayanıklılığını artırmaktadır (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021). Ancak seyreltme etkisinin her koşulda geçerli olmadığı da vurgulanmaktadır. Halliday vd. (2020), biyoçeşitlilik kaybının seyreltme etkisini zayıflattığını ve hastalık riskini artırdığını göstermiştir. Bu bulgular, hastalık–çeşitlilik ilişkilerinin bağlama duyarlı olduğunu ve yönetim pratiklerinin belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4.3. Patojen–Bitki–Toprak Etkileşimleri

Bitki hastalıklarının dinamikleri, yalnızca konukçu ve patojen etkileşimleriyle değil, aynı zamanda toprak mikrobiyomu tarafından da şekillendirilmektedir. Toprak biyotasının çeşitliliği, patojen baskısını azaltarak hastalık baskılayıcı toprakların oluşumuna katkı sağlamaktadır (Qiu

vd., 2019). Cappelli vd. (2020), bitki çeşitliliğinin patojen bolluğunu ve etkisini sınırladığını; bunun da büyüme-savunma dengesi üzerinden gerçekleştiğini göstermiştir. Çeşitlilik temelli sistemlerde bitkiler, savunma yatırımlarını daha dengeli biçimde gerçekleştirebilmekte ve patojenlere karşı daha dayanıklı hâle gelmektedir.

4.4. Trofik Karmaşıklık ve Ekosistem Stabilitesi

Trofik seviyeler arası etkileşimlerin çeşitliliği, ekosistem stabilitesinin temel belirleyicilerinden biridir. Çok katmanlı trofik ağlar, fonksiyonel yedeklilik ve geri besleme mekanizmaları sağlayarak çevresel şoklara karşı dayanıklılığı artırmaktadır (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2018). Tarımsal ekosistemlerde bu durum, üretkenliğin yalnızca yüksek ortalama değerler göstermesi değil; aynı zamanda yıllar arası dalgalanmaların azalması anlamına gelmektedir. Uzun dönemli deneyler, çeşitlilik temelli sistemlerde verim istikrarının belirgin biçimde arttığını ortaya koymuştur (Isbell vd., 2015; German vd., 2017).

4.5. BEF Perspektifinden Zararlı ve Hastalık Yönetimi

BEF çerçevesi, zararlı ve hastalık yönetimine kimyasal girdilere dayalı yaklaşımların ötesinde, ekosistem temelli çözümler sunmaktadır. Bitki çeşitliliğinin artırılması, doğal düşmanların desteklenmesi ve toprak biyotasının korunması, entegre zararlı yönetiminin (IPM) ekolojik temelini oluşturmaktadır (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019). Örneğin, “push-pull” stratejisi gibi çeşitlilik temelli uygulamalar, zararlı baskısını azaltırken verimi koruyabilmektedir (Khan vd., 2010). Bu tür uygulamalar, BEF ilişkilerinin pratik tarım uygulamalarına nasıl dönüştürülebileceğini göstermektedir.

5. BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ARTIRMAYA YÖNELİK TARIMSAL ÇEŞİTLENDİRME STRATEJİLERİ VE UYGULAMALARI

Tarımsal çeşitlendirme, üretim sistemlerinde tür, genotip, işlevsel grup ve peyzaj düzeylerinde çeşitliliğin artırılmasını amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (BEF) perspektifinden bakıldığında, çeşitlendirme stratejileri yalnızca üretkenliği artırmaya yönelik teknikler değil; aynı zamanda ekosistem stabilitesini, çok işlevliliği ve uzun vadeli sürdürülebilirliği destekleyen ekolojik müdahaleler olarak değerlendirilmektedir (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019). Endüstriyel tarımın hâkim olduğu sistemlerde çeşitliliğin azalması, verim artışına kısa vadede katkı sağlamış olsa da; toprak bozulması, biyolojik düzenleme kaybı ve çevresel dışsallıklar gibi ciddi sorunlara yol açmış-

tır (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Bu bağlamda tarımsal çeşitlendirme, sürdürülebilir tarımın temel stratejilerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

5.1. Bitki Tür Çeşitliliğine Dayalı Stratejiler

5.1.1. Birlikte Ekim (Intercropping) Sistemleri

Birlikte ekim, iki veya daha fazla bitki türünün aynı alanda eş zamanlı olarak yetiştirilmesini ifade etmektedir. Bu sistemler, tamamlayıcılık mekanizmaları sayesinde kaynak kullanım verimliliğini artırmakta ve toplam üretkenliği yükseltmektedir (Brooker vd., 2015; Li vd., 2020). Meta-analizler, birlikte ekim uygulamalarının hem verim artışı sağladığını hem de besin kayıplarını azalttığını göstermektedir (Iverson vd., 2014; Li vd., 2020). Ayrıca birlikte ekim, rizosfer çeşitliliğini artırarak toprak mikrobiyal toplulukların fonksiyonel kapasitesini güçlendirmektedir (Stefan vd., 2021).

5.1.2. Polikültür ve Karışık Ekili Sistemler

Polikültür sistemler, çok sayıda bitki türünün veya işlevsel grubun birlikte yetiştirildiği tarımsal üretim biçimleridir. Bu sistemlerde zararlı ve hastalık baskısının azaldığı, doğal düşmanların etkinliğinin arttığı ve üretkenliğin daha istikrarlı hâle geldiği gösterilmiştir (Letourneau vd., 2011; Tamburini vd., 2020). Antik “üç kız kardeş” (mısır-fasulye-kabak) sistemi gibi geleneksel polikültür örnekleri, tamamlayıcılık ve niş ayrışmasının tarımsal üretimde uzun süredir başarıyla kullanıldığını göstermektedir (Zhang vd., 2014).

5.2. Genetik Çeşitliliğe Dayalı Stratejiler

5.2.1. Çeşit Karışımları (Cultivar Mixtures)

Aynı tür içinde genetik olarak farklı çeşitlerin birlikte ekilmesi, tarımsal biyoçeşitliliğin önemli bir bileşenidir. Çeşit karışımları, hastalık yayılımını sınırlandırarak verim istikrarını artırmaktadır (Zhu vd., 2000; Kristoffersen vd., 2020). Meta-analitik çalışmalar, çeşit karışımlarının ortalama verimi düşürmeden hatta bazı durumlarda artırarak hastalık riskini azalttığını göstermektedir (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021). Bu durum, BEF çerçevesinde genetik çeşitliliğin sigorta mekanizmasıyla doğrudan ilişkilidir.

5.3. Zamansal Çeşitlilik: Ekim Nöbeti ve Örtü Bitkileri

5.3.1. Ekim Nöbeti (Crop Rotation)

Ekim nöbeti, farklı bitki türlerinin aynı arazide zamansal olarak ardışık biçimde yetiştirilmesini ifade eder. Bu uygulama, patojen ve zararlı döngülerini kırarak hastalık baskısını azaltmakta ve toprak besin dengesini iyileştirmektedir (Bennett vd., 2012). Uzun dönemli çalışmalar, çeşitlendirilmiş ekim nöbetlerinin toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve fonksiyonel yedekliliği artırdığını göstermektedir (McDaniel vd., 2014; Garland vd., 2021).

5.3.2. Örtü Bitkileri (Cover Crops)

Örtü bitkileri, ana ürün yetiştirilmediği dönemlerde toprağı örterek erozyonu önleyen ve ekosistem hizmetlerini destekleyen önemli bir çeşitlendirme aracıdır. Örtü bitkilerinin toprak karbonunu artırdığı, azot sızıntısını azalttığı ve mikrobiyal aktiviteyi güçlendirdiği gösterilmiştir (Blanco-Canqui vd., 2015; Valkama vd., 2015).

Fonksiyonel çeşitliliği yüksek örtü bitkisi karışımları, tek tür örtü bitkilerine kıyasla daha fazla ekosistem hizmeti sunmaktadır (Finney & Kaye, 2017; Wagg vd., 2020).

5.4. Mekânsal Çeşitlilik: Agroormancılık ve Peyzaj Düzeyi Uygulamaları

5.4.1. Agroormancılık Sistemleri

Agroormancılık, tarımsal üretimin ağaç ve çalı türleriyle entegre edildiği çok katmanlı sistemlerdir. Bu sistemler, biyolojik çeşitliliği artırarak karbon depolama, mikroiklim düzenleme ve habitat sağlama gibi çoklu ekosistem hizmetleri sunmaktadır (Torralba vd., 2016). Meta-analizler, agroormancılık sistemlerinin hem biyoçeşitlilik hem de bazı durumlarda verim açısından monokültür sistemlere üstünlük sağladığını göstermektedir (Torralba vd., 2016).

5.4.2. Peyzaj Düzeyi Uygulamaları

Tarımsal peyzajlarda çiçek şeritleri ve canlı çitler, polinatörler ve doğal düşmanlar için habitat sağlayarak biyolojik kontrolü ve tozlaşma hizmetlerini desteklemektedir (Albrecht vd., 2020). Bu uygulamalar, BEF ilişkilerinin tarla ölçeğinin ötesinde peyzaj ölçeğinde de geçerli olduğunu göstermektedir.

5.5. Çeşitlendirme Stratejilerinin Sınırları ve Yönetim Zorlukları

Her ne kadar çeşitlendirme stratejileri ekolojik açıdan güçlü faydalar sunsa da, uygulamada bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Artan yönetim karmaşıklığı, bilgi eksikliği ve kısa vadeli ekonomik baskılar, bu uygulamaların benimsenmesini sınırlandırmaktadır (German vd., 2017; Mendez-Giménez vd., 2020). Bu nedenle çeşitlendirme stratejilerinin başarısı, yalnızca ekolojik ilkelerin değil; aynı zamanda sosyo-ekonomik ve kurumsal faktörlerin dikkate alındığı bütüncül yaklaşımlara bağlıdır.

6. BİYOÇEŞİTLİLİK, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMSAL DAYANIKLILIK

İklim değişikliği, günümüz tarımsal ekosistemleri için en büyük çevresel baskılardan birini oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, yağış rejimlerindeki düzensizlikler, aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğu ile birlikte biyotik stres faktörlerinin (zararlılar ve patojenler) yayılımındaki değişimler, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir (Liang vd., 2017; Ramankutty vd., 2018). Bu bağlamda tarımsal sistemlerin dayanıklılığı (resilience), yalnızca üretim miktarını değil, aynı zamanda üretimin sürekliliğini ve çevresel şoklara karşı toparlanma kapasitesini ifade eden kritik bir kavram hâline gelmiştir. Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (BEF) çerçevesi, iklim değişikliği karşısında tarımsal dayanıklılığın ekolojik temellerini anlamak için güçlü bir teorik altyapı sunmaktadır. Çok sayıda deneysel ve gözlemsel çalışma, biyolojik çeşitliliğin iklimsel dalgalanmalara karşı ekosistem fonksiyonlarını stabilize ettiğini ve üretkenliğin zamansal varyasyonunu azalttığını göstermektedir (Yachi & Loreau, 1999; Isbell vd., 2015).

6.1. İklim Değişikliği Bağlamında Tarımsal Dayanıklılık Kavramı

Tarımsal dayanıklılık, bir tarım sisteminin çevresel stresler karşısında fonksiyonlarını sürdürebilme, bozulma sonrasında toparlanabilme ve uzun vadede adaptasyon kapasitesini koruyabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram, yalnızca biyofiziksel süreçleri değil, aynı zamanda sosyal-ekolojik etkileşimleri de kapsamaktadır (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009). Monokültüre dayalı yüksek girdili tarım sistemleri, genellikle kısa vadede yüksek üretkenlik sağlasa da, iklimsel belirsizlikler karşısında düşük dayanıklılık sergilemektedir. Buna karşılık çeşitlilik temelli sistemler, fonksiyonel yedeklilik ve türler arası tamamlayıcılık sayesinde çevresel şokların etkisini sönmüleyebilmektedir (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2018).

6.2. Biyoçeşitlilik ve Üretkenliğin İklimsel Stabilitesi

BEF literatürünün en güçlü bulgularından biri, biyoçeşitliliğin ekosistem üretkenliğinin zamansal stabilitesini artırdığıdır. Uzun dönemli deneyler, bitki çeşitliliğinin arttığı sistemlerde üretkenliğin yıllar arası dalgalanmasının azaldığını ve ekstrem iklim olaylarından sonra toparlanmanın daha hızlı gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Tilman vd., 2014; Isbell vd., 2015). Tarımsal sistemlerde bu durum, kuraklık, aşırı yağış veya sıcaklık stresleri sırasında verim kayıplarının sınırlanması anlamına gelmektedir. Isbell vd. (2015), bitki çeşitliliğinin aşırı iklim koşullarında üretkenliği koruduğunu ve bu etkinin BEF mekanizmalarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.

6.3. Sigorta Hipotezi ve İklimsel Belirsizlik

İklim değişikliği, çevresel koşulların öngörülebilirliğini azaltmakta ve tarımsal sistemlerde belirsizliği artırmaktadır. Bu bağlamda sigorta hipotezi, BEF teorisinin iklim değişikliğiyle ilişkili en önemli kavramsal çerçevelerinden biridir. Hipoteze göre, türlerin çevresel değişkenlere farklı tepkiler vermesi, ekosistem fonksiyonlarının tamamının aynı anda olumsuz etkilenmesini engeller (Yachi & Loreau, 1999). Tarımsal biyoçeşitlilik, özellikle genetik ve tür düzeyindeki çeşitlilik yoluyla bu sigorta etkisini güçlendirmektedir. Çeşit karışımları ve polikültür sistemler, iklimsel stresler karşısında en azından bazı tür veya genotiplerin performans göstermesini sağlayarak üretimin sürekliliğini desteklemektedir (Reiss & Drinkwater, 2018; Weis vd., 2021).

6.4. Toprak Biyoçeşitliliği, Karbon Depolama ve İklim Düzenleme

Toprak, tarımsal sistemlerin iklim değişikliğiyle etkileşiminde merkezi bir rol oynamaktadır. Toprak organik karbonu, hem üretkenlik hem de sera gazı dengesi açısından kritik bir ekosistem bileşenidir. Biyoçeşitlilik, özellikle bitki çeşitliliği ve toprak mikrobiyal çeşitliliği yoluyla karbon döngüsünü düzenlemektedir (Lal, 2004; Lange vd., 2015). Araştırmalar, bitki çeşitliliğinin mikrobiyal biyokütle ve karbon kullanım verimliliğini artırarak toprakta daha kalıcı organik madde birikimini teşvik ettiğini göstermektedir (Prommer vd., 2020; Domeignoz-Horta vd., 2021). Bu süreçler, tarımsal sistemlerin iklim değişikliğini hafifletme (mitigation) potansiyelini güçlendirmektedir.

6.5. İklim Değişikliği, Zararlılar ve Hastalık Riskleri

İklim değişikliği, tarımsal zararlı ve patojenlerin dağılımını ve popülasyon dinamiklerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, birçok zararlı tür için daha elverişli koşullar

yaratmakta ve hastalık baskısını artırmaktadır (Savary vd., 2019). Biyoçeşitlilik temelli tarım sistemleri, bu riskleri azaltmada önemli bir tampon işlevi görmektedir. Çeşitli bitki toplulukları ve genetik olarak heterojen ekinler, patojenlerin yayılımını sınırlandırmakta ve hastalık şiddetini azaltmaktadır (Zhu vd., 2000; Halliday vd., 2020). Bu durum, BEF ilişkilerinin iklim değişikliği bağlamında dolaylı ama kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

6.6. BEF, Adaptasyon ve Uzun Vadeli Tarımsal Sürdürülebilirlik

BEF yaklaşımı, tarımsal adaptasyonu yalnızca teknik çözümlerle sınırlamaz; ekosistemlerin kendi kendini düzenleme kapasitesinin güçlendirilmesini hedefler. Çeşitlilik temelli sistemler, değişen iklim koşullarına uyum sağlama konusunda daha yüksek esneklik sunmaktadır (Isbell vd., 2017; Herrero vd., 2020). Bu bağlamda biyoçeşitlilik, tarımsal sistemler için pasif bir “doğa koruma” unsuru değil; aktif bir adaptasyon stratejisi olarak değerlendirilmelidir.

7. BİYOÇEŞİTLİLİK TEMELLİ TARIMIN SOSYO-EKONOMİK VE POLİTİK BOYUTLARI

Biyoçeşitlilik temelli tarım uygulamalarının ekolojik yararları güçlü biçimde belgelenmiş olmasına rağmen, bu uygulamaların yaygınlaşması büyük ölçüde sosyo-ekonomik ve politik koşullara bağlıdır. Tarımsal üretim sistemleri yalnızca biyofiziksel süreçlerden ibaret değildir; aynı zamanda ekonomik teşvikler, kurumsal yapılar, bilgi sistemleri ve güç ilişkileri tarafından şekillenen karmaşık sosyal-ekolojik sistemlerdir (Ostrom, 2009; Folke vd., 2005). Bu nedenle BEF yaklaşımının pratik tarım politikalarına dönüştürülebilmesi, ekolojik kanıtların sosyal ve ekonomik bağlamda ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

7.1. Sosyal-Ekolojik Sistemler Perspektifinde Tarım ve Biyoçeşitlilik

Tarımsal sistemler, insan toplulukları ile doğal ekosistemler arasındaki etkileşimlerin yoğunlaştığı sosyal-ekolojik sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerde üretim kararları, yalnızca ekolojik uygunlukla değil; piyasa koşulları, arazi mülkiyeti, bilgiye erişim ve politik düzenlemelerle de şekillenmektedir (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009). BEF yaklaşımı, tarımsal sürdürülebilirliği yalnızca biyolojik çeşitliliğin korunmasıyla değil, aynı zamanda bu çeşitliliği mümkün kılan kurumsal yapıların güçlendirilmesiyle ilişkilendirmektedir. Çeşitlilik temelli tarım sistemleri, genellikle yerel bilgiye, uzun vadeli yönetim perspektifine ve kolektif eylem biçimlerine dayanmaktadır (Blesh & Wittman, 2015).

7.2. Küçük Ölçekli Çiftçiler ve Biyoçeşitlilik Temelli Üretim

Küresel tarımsal üretimin önemli bir bölümü küçük ölçekli çiftçiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Düşük girdili ve çeşitlilik temelli üretim sistemleri, özellikle bu çiftçiler için hem ekonomik hem de ekolojik açıdan avantajlar sunabilmektedir (Lowder vd., 2014; Fan & Rue, 2020). Araştırmalar, küçük ölçekli çiftliklerin genellikle daha yüksek ürün çeşitliliğine sahip olduğunu ve bu çeşitliliğin üretim risklerini azalttığını göstermektedir. Biyoçeşitlilik temelli sistemler, iklimsel belirsizlikler karşısında geçim güvenliğini artırarak gıda egemenliği hedefleriyle de örtüşmektedir (Walsh-Dilley vd., 2016; Cook vd., 2012).

7.3. Ekonomik Teşvikler, Maliyetler ve Getiriler

Biyoçeşitlilik temelli tarım uygulamalarının benimsenmesinde ekonomik faktörler belirleyici bir rol oynamaktadır. Çeşitlendirme uygulamaları, kısa vadede artan yönetim maliyetleri ve bilgi gereksinimi nedeniyle çiftçiler açısından riskli algılanabilmektedir (German vd., 2017). Bununla birlikte uzun vadeli analizler, çeşitlilik temelli sistemlerin girdi maliyetlerini azalttığını, verim istikrarını artırdığını ve çevresel dışsallıkları düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Tamburini vd., 2020). Ayrıca biyolojik zararlı kontrolü, besin döngüsü verimliliği ve toprak sağlığı gibi ekosistem hizmetleri, ekonomik değer üretmektedir; ancak bu değerler çoğu zaman piyasa mekanizmalarında yeterince temsil edilmemektedir (Sutton, 2011).

7.4. Tarım Politikaları ve Kurumsal Çerçevesel

Tarımsal biyoçeşitliliğin korunması ve teşvik edilmesi, büyük ölçüde politika araçlarının niteliğine bağlıdır. Mevcut tarım destekleme politikaları, çoğu ülkede yüksek girdili ve tek ürünlü sistemleri teşvik etmekte; bu durum çeşitlilik temelli yaklaşımların yaygınlaşmasını sınırlamaktadır (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Agro-çevresel destek programları, biyoçeşitlilik temelli uygulamaların teşvik edilmesi için önemli araçlar sunmaktadır. Ancak bu programların başarısı, yerel bağlamlara uyarlanmasına ve çiftçilerin karar süreçlerine aktif olarak dahil edilmesine bağlıdır (Mendez-Giménez vd., 2020; Vollen vd., 2011).

7.5. Bilgi Sistemleri, Katılımcı Yaklaşımlar ve Yönetişim

BEF yaklaşımının tarımda uygulanabilmesi, yalnızca bilimsel bilgi üretimiyle değil; bu bilginin çiftçilere, politika yapıcılara ve diğer paydaşlara etkili biçimde aktarılmasıyla mümkündür. Katılımcı araştırma yöntemleri, çiftçi-bilim insanı iş birlikleri ve açık bilgi ağları, çeşitlilik temelli uygulamaların benimsenmesini kolaylaştırmaktadır (Stokstad, 2011).

Adaptif yönetim yaklaşımları, tarımsal sistemlerin dinamik doğasını dikkate alarak öğrenmeye dayalı yönetim modellerini teşvik etmektedir. Bu yaklaşımlar, BEF ilişkilerinin bağlama duyarlı niteliğini tarım politikalarına entegre etme potansiyeli sunmaktadır (Folke vd., 2005; Ostrom, 2009).

7.6. Biyoçeşitlilik, Gıda Sistemleri ve Toplumsal Dönüşüm

Biyoçeşitlilik temelli tarım, yalnızca tarla ölçeğinde değil; gıda sistemlerinin bütününde dönüşüm gerektirmektedir. Küresel gıda rejimleri, üretim, dağıtım ve tüketim ilişkileri üzerinden tarımsal biyoçeşitlilik üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır (McMichael, 2009). Bu bağlamda BEF yaklaşımı, gıda sistemlerini yalnızca verimlilik değil; ekolojik bütünlük, sosyal adalet ve uzun vadeli dayanıklılık temelinde yeniden düşünmeyi gerektirmektedir (Herrero vd., 2020).

8. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇIKARIMLAR

Bu kitap bölümünde, sürdürülebilir tarım sistemlerinin biyoçeşitlilik ile olan çok yönlü ilişkileri, Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (BEF) teorik çerçevesi temel alınarak kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Sunulan kuramsal yaklaşımlar, deneysel bulgular ve sentez çalışmaları, biyoçeşitliliğin tarımsal ekosistemlerde yalnızca bir “doğa koruma” unsuru değil; üretkenlik, stabilite, dayanıklılık ve çok işlevlilik açısından temel bir yapı taşı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Tilman vd., 2014; Cardinale vd., 2012).

8.1. BEF Perspektifinden Temel Bulguların Sentezi

Bu bölüm boyunca ele alınan çalışmalar, biyoçeşitliliğin tarımsal sistemlerde üç ana eksen boyunca kritik rol oynadığını göstermektedir. İlk olarak, bitki ve genetik çeşitlilik, tamamlayıcılık ve sigorta mekanizmaları yoluyla üretkenliği ve verim istikrarını artırmaktadır (Loreau & Hector, 2001; Isbell vd., 2015). İkinci olarak, toprak mikrobiyal çeşitliliği ve trofik etkileşimler, besin döngüsü, karbon depolanması ve hastalık baskılanması gibi temel ekosistem süreçlerini düzenlemektedir (Wagg vd., 2014; Philippot vd., 2013). Üçüncü olarak ise, çeşitlilik temelli sistemler iklim değişikliği gibi küresel çevresel baskılar karşısında tarımsal dayanıklılığı güçlendirmektedir (Isbell vd., 2017; Ramankutty vd., 2018). Bu bulgular, tarımsal sürdürülebilirliğin yalnızca girdi optimizasyonu veya teknolojik yenilikler yoluyla değil; ekosistemlerin içsel düzenleyici mekanizmalarının güçlendirilmesiyle sağlanabileceğini göstermektedir.

8.2. Sürdürülebilir Tarım İçin Kavramsal ve Uygulamalı Çıkarımlar

BEF yaklaşımı, sürdürülebilir tarım kavramını yeniden tanımlamaktadır. Geleneksel yaklaşımlar genellikle kısa vadeli verim artışına odaklanırken, BEF perspektifi uzun vadeli fonksiyonel sürekliliği ve ekosistem sağlığını ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir tarım, yüksek ortalama verimden ziyade istikrarlı, esnek ve çevresel açıdan uyumlu üretim sistemleri anlamına gelmektedir (German vd., 2017; Tamburini vd., 2020). Uygulama düzeyinde, polikültür sistemler, çeşit karışımları, örtü bitkileri, agroormancılık ve peyzaj ölçeğinde çeşitlendirme gibi stratejiler, BEF ilişkilerinin somut tarımsal pratiklere dönüştürülmesinde etkili araçlar sunmaktadır (Duru vd., 2015; Kleijn vd., 2019).

8.3. Politika ve Yönetişim Açısından Sonuçlar

Bu bölümde ele alınan bulgular, mevcut tarım politikalarının önemli ölçüde yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çoğu ülkede tarımsal destek mekanizmaları, hâlen yüksek girdili ve tek ürünlü sistemleri teşvik etmektedir. Oysa BEF temelli kanıtlar, çeşitlilik temelli sistemlerin uzun vadede hem ekonomik hem de ekolojik açıdan daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Pingali, 2012; Foley vd., 2005). Bu nedenle tarım politikalarının, biyoçeşitliliği bir maliyet unsuru olarak değil; üretkenliğin ve dayanıklılığın temel girdisi olarak tanınması gerekmektedir. Agro-çevresel destekler, sonuç odaklı teşvik mekanizmaları ve katılımcı yönetim modelleri, bu dönüşüm için kritik araçlar sunmaktadır (Mendez-Giménez vd., 2020; Ostrom, 2009).

8.4. Araştırma Boşlukları ve Gelecek Çalışmalar İçin Öncelikler

Her ne kadar BEF literatürü güçlü ampirik kanıtlar sunmuş olsa da, tarımsal sistemlerde hâlen önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Özellikle uzun vadeli, çok ölçekli ve sosyo-ekolojik boyutları içeren çalışmaların sayısı sınırlıdır (Manning vd., 2019). Ayrıca biyoçeşitlilik-fonksiyon ilişkilerinin farklı iklim kuşakları, toprak tipleri ve yönetim rejimleri altında nasıl değiştiği daha ayrıntılı biçimde incelenmelidir (van der Plas, 2019). Gelecek araştırmaların, bitki-toprak-mikrop-insan etkileşimlerini bütüncül biçimde ele alan disiplinler arası yaklaşımlara yönelmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, BEF teorisinin tarımsal uygulamalara entegrasyonunu güçlendirecek ve sürdürülebilir gıda sistemlerine geçişi destekleyecektir.

9. SONUÇ

Bu kitap bölümünde sunulan sentez, tarımsal biyoçeşitliliğin ekosistem fonksiyonları üzerindeki belirleyici rolünü Biyoçeşitlilik-Ekosistem Fonksiyonları (BEF) yaklaşımı çerçevesinde açık biçimde ortaya koymaktadır. Bitki tür ve genetik çeşitliliği, tamamlayıcılık ve sigorta mekanizmaları aracılığıyla üretkenliği ve verim istikrarını desteklerken; toprak mikrobiyomu ve trofik etkileşimler besin döngüsü, karbon depolanması ve hastalık baskılanması gibi temel süreçlerin düzenlenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Bu durum, tarımsal sürdürülebilirliğin yalnızca girdilerin yönetimiyle değil, ekosistemlerin biyolojik bütünlüğünün korunmasıyla sağlanabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bölümde ele alınan bulgular, biyoçeşitliliğin tarımsal sistemlerde iklim değişikliği ve çevresel belirsizlikler karşısında dayanıklılığı artıran temel bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. BEF yaklaşımı, tarımı kısa vadeli verim artışına odaklanan bir üretim faaliyeti olmaktan çıkararak, uzun vadeli üretkenlik, stabilite ve ekosistem temelli yönetim hedefleri doğrultusunda yeniden konumlandırmaktadır. Bu çerçevede tarımsal biyoçeşitliliğin korunması ve etkin biçimde yönetilmesi, sürdürülebilir gıda sistemlerinin oluşturulması açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Albrecht, M., et al. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: A quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488–1498.
- Balvanera, P., et al. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9(10), 1146–1156.
- Banerjee, S., et al. (2019). Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *The ISME Journal*, 13(7), 1722–1736.
- Bååth, E., & Anderson, T.-H. (2003). Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(7), 955–963.
- Barry, K. E., et al. (2019). The future of complementarity: Disentangling causes from consequences. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 167–180.
- Bender, S. F., & van der Heijden, M. G. A. (2015). Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. *Journal of Applied Ecology*, 52(1), 228–239.
- Bender, S. F., et al. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452.
- Bennett, A. J., et al. (2012). Meeting the demand for crop production: The challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews*, 87(1), 52–71.
- Blanco-Canqui, H., et al. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6), 2449–2474.
- Blesh, J., & Wittman, H. (2015). ‘Brasilience’: Assessing resilience in land reform settlements in the Brazilian Cerrado. *Human Ecology*, 43(4), 531–546.
- Brooker, R. W., et al. (2015). Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1), 107–117.
- Bruinsma, J. (2003). *World agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective*. London, UK: Earthscan.
- Cappelli, S. L., et al. (2020). Sick plants in grassland communities: A growth-defense trade-off is the main driver of fungal pathogen abundance and impact. *Ecology Letters*, 23(9), 1349–1359.
- Cappelli, S. L., et al. (2022). Partitioning the effects of plant diversity on ecosystem functions at different trophic levels. *Ecological Monographs*, 92(1), e01494.
- Cardinale, B. J., et al. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443(7114), 989–992.
- Cardinale, B. J., et al. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, 98(3), 572–592.

- Cardinale, B. J., et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59–67.
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60.
- Cook, G. A., et al. (2012). Persistence on reducing constraints for smallholder entrepreneurship in Africa: The case of soil fertility in Northern Ghana. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 489–496.
- Daims, H., et al. (2015). Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. *Nature*, 528(7583), 504–509.
- de Graaff, M. A., et al. (2019). Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. *Advances in Agronomy*, 155, 1–44.
- Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2016). Non-denitrifying nitrous oxide-reducing bacteria – an effective N₂O sink in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 376–379.
- Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2018). Peaks of in situ N₂O emissions are influenced by N₂O-producing and reducing microbial communities across arable soils. *Global Change Biology*, 24(8), 360–370.
- Domeignoz-Horta, L. A., et al. (2021). Direct evidence for the role of microbial community composition in the formation of soil organic matter composition and persistence. *ISME Communications*, 1(1), 64.
- Duru, M., et al. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281.
- Fan, S., & Rue, C. (2020). The role of smallholder farms in a changing world. In S. Gómez y Paloma et al. (Eds.), *The role of smallholder farms in food and nutrition security* (pp. 13–28).
- Fargione, J., et al. (2007). From selection to complementarity: Shifts in the causes of biodiversity–productivity relationships in a long-term biodiversity experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(3), 871–875.
- Finkel, O. M., et al. (2017). Understanding and exploiting plant beneficial microbes. *Current Opinion in Plant Biology*, 38, 155–163.
- Finney, D. M., & Kaye, J. P. (2017). Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 509–517.
- Fitzpatrick, C. R., et al. (2018). Assembly and ecological function of the root microbiome across angiosperm plant species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(8), E1157–E1165.
- Foley, J. A., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574.
- Folke, C., et al. (2005). Adaptive governance of social–ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 441–473.

- Garland, G., et al. (2021). Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. *Nature Food*, 2(1), 28–37.
- German, R. N., et al. (2017). Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: A meta-analysis to guide sustainable agriculture. *Biological Reviews*, 92(2), 716–738.
- Halliday, F. W., et al. (2020). Biodiversity loss underlies the dilution effect of biodiversity. *Ecology Letters*, 23(11), 1611–1622.
- Hannula, S. E., et al. (2020). Structure and ecological function of the soil microbiome affecting plant–soil feedbacks in the presence of a soil-borne pathogen. *Environmental Microbiology*, 22(2), 660–676.
- Herrero, M., et al. (2020). Articulating the effect of food systems innovation on the Sustainable Development Goals. *The Lancet Planetary Health*, 5(1), e50–e62.
- Hu, L., et al. (2018). Root exudate metabolites drive plant–soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nature Communications*, 9(1), 2738.
- Isbell, F., et al. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526(7574), 574–577.
- Isbell, F., et al. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, 105(4), 871–879.
- Isbell, F., et al. (2018). Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places. *Ecology Letters*, 21(5), 763–778.
- Iverson, A. L., et al. (2014). Do polycultures promote win-win or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1593–1602.
- Kallenbach, C. M., et al. (2016). Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nature Communications*, 7(1), 13630.
- Keesing, F., et al. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 9(4), 485–498.
- Khan, Z. R., et al. (2010). Exploiting phytochemicals for developing a push–pull crop protection strategy for cereal farmers in Africa. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4185–4196.
- Kleijn, D., et al. (2019). Ecological intensification: Bridging the gap between science and practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166.
- Kozdrój, J., & van Elsas, J. D. (2001). Structural diversity of microorganisms in chemically perturbed soil assessed by molecular and cytochemical approaches. *Journal of Microbiological Methods*, 43(3), 197–212.
- Kristoffersen, R., et al. (2020). Control of *Septoria tritici* blotch by winter wheat cultivar mixtures: Meta-analysis of 19 years of cultivar trials. *Field Crops Research*, 249, 107696.

- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1–2), 1–22.
- Lange, M., et al. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6(1), 6707.
- Lehmann, A., et al. (2017). Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1826–1835.
- Lehmann, J., et al. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*, 13(8), 529–534.
- Letourneau, D. K., et al. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21(1), 9–21.
- Li, C., et al. (2020). Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nature Plants*, 6(6), 653–660.
- Liang, C., et al. (2019). Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Global Change Biology*, 25(11), 3578–3590.
- Liang, X.-Z., et al. (2017). Determining climate effects on US total agricultural productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(12), E2285–E2292.
- Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412(6842), 72–76.
- Lowder, S. K., et al. (2014). What do we really know about the number and distribution of farms and family farms worldwide? *FAO ESA Working Paper No. 14-02*.
- Maestre, F. T., et al. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335(6065), 214–218.
- Manning, P., et al. (2019). Transferring biodiversity–ecosystem function research to the management of real-world ecosystems. In N. Eisenhauer et al. (Eds.), *Mechanisms underlying the relationship between biodiversity and ecosystem function* (pp. 323–356). Academic Press.
- Mariotte, P., et al. (2018). Plant–soil feedback: Bridging natural and agricultural sciences. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(9), 128–142.
- McDaniel, M. D., et al. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24(4), 560–570.
- McMichael, P. (2009). A food regime genealogy. *Journal of Peasant Studies*, 36(1), 139–169.
- Mendez-Giménez, P., et al. (2020). Using environmental knowledge brokers to promote deep green agri-environment measures. *Ecological Economics*, 176, 106722.
- Nemergut, D. R., et al. (2014). When, where and how does microbial community composition matter? *Frontiers in Microbiology*, 5, 497.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social–ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422.

- Philippot, L., et al. (2011). Importance of denitrifiers lacking the genes encoding the nitrous oxide reductase for N₂O emissions from soil. *Global Change Biology*, 17(3), 1497–1504.
- Philippot, L., et al. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789–799.
- Pingali, P. L. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12902–12908.
- Prommer, J., et al. (2020). Increased microbial growth, biomass, and turnover drive soil organic carbon accumulation at higher plant diversity. *Global Change Biology*, 26(2), 669–681.
- Qiu, Y., et al. (2019). Deciphering underlying drivers of disease suppressiveness against pathogenic *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2535.
- Ramankutty, N., et al. (2018). Trends in global agricultural land use: Implications for environmental health and food security. *Annual Review of Plant Biology*, 69(1), 789–815.
- Reiss, E. R., & Drinkwater, L. E. (2018). Cultivar mixtures: A meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. *Ecological Applications*, 28(1), 62–77.
- Savary, S., et al. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430–439.
- Schimel, J. P., & Schaeffer, S. M. (2012). Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in Microbiology*, 3, 348.
- Stefan, L., et al. (2021). Positive effects of crop diversity on productivity driven by changes in soil microbial composition. *Frontiers in Microbiology*, 12, 680749.
- Steudel, B., et al. (2012). Biodiversity effects on ecosystem functioning change along environmental stress gradients. *Ecology Letters*, 15(12), 1397–1405.
- Stokstad, E. (2011). Open-source ecology takes root across the world. *Science*, 334(6054), 308–309.
- Sutton, M. A. (Ed.). (2011). *The European nitrogen assessment: Sources, effects, and policy perspectives*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tamburini, G., et al. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6(45), eaba1715.
- Thakur, M. P., et al. (2021). Plant–soil feedbacks and temporal dynamics of plant diversity–productivity relationships. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(7), 651–661.
- Thiele-Bruhn, S., et al. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 523–528.
- Tilman, D., et al. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45(1), 471–493.

- Torrallba, M., et al. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150–161.
- Valkama, E., et al. (2015). Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 203, 93–101.
- van der Heijden, M. G. A., et al. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69–72.
- van der Plas, F., et al. (2016). Jack-of-all-trades effects drive biodiversity–ecosystem multifunctionality relationships in European forests. *Nature Communications*, 7(1), 11109.
- van der Plas, F. (2019). Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities. *Biological Reviews*, 94(4), 1220–1245.
- Vollan, B., et al. (2011). How to ensure a credible and efficient IPBES? *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1188–1194.
- Wagg, C., et al. (2014). Soil biodiversity and community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5265–5270.
- Wagg, C., et al. (2019). Fungal–bacterial diversity and microbiome complexity predict ecosystem functioning. *Nature Communications*, 10(1), 4841.
- Wagg, C., et al. (2020). Full-season cover crops and the traits that promote agroecosystem services. *Agriculture*, 11(9), 830.
- Walsh-Dilley, M., et al. (2016). Rights for resilience: Food sovereignty, power, and resilience in development practice. *Ecology and Society*, 21(1), 11.
- Weis, S. E., et al. (2021). Ecological and evolutionary approaches to improving crop variety mixtures. *Nature Ecology & Evolution*, 5(8), 1068–1077.
- Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1463–1468.
- Zak, D. R., et al. (2003). Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: Are there any links? *Ecology*, 84(8), 2042–2050.
- Zhang, C., et al. (2014). Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient “three sisters” (maize/bean/squash) polyculture. *Annals of Botany*, 114(8), 1719–1733.
- Zhu, Y., et al. (2000). Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406(6797), 718–722.

Bölüm 5

TARIMSAL SULAMADA UYGULANABİLECEK AKILLI SULAMA SİSTEMLERİ

Murat YILDIRIM¹

¹ Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar
ve Sulama Bölümü

ÖZET

Günümüzde su ve gübre kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir biçimde kullanılması, tarımsal üretimde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle iklim değişikliği, artan nüfus ve mevcut su kaynaklarının azalması, tarımsal sulamada daha etkin ve rasyonel yönetim yaklaşımlarını zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, otomasyona uygun yapıları ve yüksek uygulama verimleriyle öne çıkan basınçlı sulama sistemleri, sulama mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir.

Basınçlı sulama yöntemleri içerisinde yer alan damla sulama sistemi; su ve gübrenin bitkinin kök bölgesine doğrudan, kontrollü ve bitkinin ihtiyacına uygun şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Damla sulama yönteminin temel prensibi olan düşük debili fakat sık aralıklarla yapılan sulama ve gübreleme uygulamaları, bitkinin su stresine girmesini önlerken aynı zamanda yüzey akışı, derine sızma ve buharlaşma kaynaklı su kayıplarını en aza indirmektedir. Bununla birlikte, gübrenin sulama suyu ile birlikte uygulanabilmesi, besin maddelerinin bitki tarafından daha etkin kullanılmasını sağlamakta ve çevresel kirlilik riskini azaltmaktadır. Bu özellikleri sayesinde damla sulama sistemleri, otomasyon teknolojileriyle entegrasyon açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu alanda gerek ülkemizde gerekse dünya genelinde çok sayıda araştırma ve uygulama çalışması yürütülmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalar, suyun giderek daha kritik bir doğal kaynak haline geldiğini ve yanlış ya da aşırı gübre kullanımının toprak ve su kaynakları üzerinde ciddi çevresel sorunlara yol açabileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, hem sera koşullarında hem de açık alan tarımında su ve gübre kaynaklarının optimum düzeyde kullanılması, sürdürülebilir tarımsal üretim açısından büyük önem taşımaktadır.

Söz konusu kaynakların etkin ve verimli kullanımını sağlamak amacıyla, sensör verilerine dayalı, mikroişlemci kontrollü otomatik sulama ve gübreleme sistemleri geliştirilmekte ya da mevcut sistemlerin performansını artırmaya yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu sistemlerde; toprak nemi, hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve benzeri iklimsel parametreler dikkate alınarak bitkinin su tüketimi tahmin edilmekte ve sulama programları dinamik olarak oluşturulmaktadır. Böylece sulama kararları, sabit zaman veya hacim esaslı uygulamalar yerine bitkinin gerçek su tüketimi ihtiyacına göre belirlenebilmektedir.

Son yıllarda, otomasyon tabanlı sulama sistemlerinde karmaşık yazılım yapıları ve yüksek maliyetli altyapılar yerine, daha basit donanımsal çözümlerle ve sınırlı sayıda çevresel parametreye dayalı olarak bitki su

tüketimini tahmin edebilen sistemlerin geliştirilmesine yönelik bir eğilim olduğu görülmektedir. Bu yaklaşım, sistem maliyetlerinin düşürülmesine, uygulama ve bakım kolaylığının artırılmasına ve özellikle küçük ve orta ölçekli tarımsal işletmelerde teknolojinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, bu doğrultuda geliştirilen ve uygulanan otomatik sulama ve gübreleme sistemlerine ilişkin literatürde yer alan çalışmalar ele alınmış, karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sulama kontrolü, otomatik sulama, damla sulama, toprak nem sensörü, sulama otomasyonu

1. GİRİŞ

Sulama, yağışlardaki zamansal ve mekânsal düzensizlikleri telafi ederek tarımsal üretimde verim artışı sağlamaktadır. Özellikle kurak geçen dönemlerde, yoğun tarım uygulamalarının ve ticari çiftçiliğin sürdürülebilirliğini destekleyen temel bir üretim girdisi olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde otomasyon ve elektronik tarım uygulamaları, tarım sektöründe giderek artan bir ivmeyle yaygınlaşmakta; bu gelişmeler sulama sistemlerinde kontrol, izleme ve yönetim süreçlerinin daha etkin biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır. Sulama sistemlerinde otomasyon, sulama işlemlerinin planlanan zaman ve miktarlarda gerçekleştirilmesini sağlayarak sistemlerin güvenilir ve verimli biçimde kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu tür sistemler, donanımsal kablolu altyapılar ya da kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla birbirleriyle entegre edilebilmektedir.

Son otuz yılda önemli bir gelişim gösteren sulama teknolojileri, günümüzde yüksek sulama randımanına sahip basınçlı sulama sistemleri ile otomasyon ve kontrol teknolojilerinin entegrasyonu yönünde dönüşüm göstermektedir. Bu tür sistemler; verim artışı sağlaması, su ve enerji tasarrufu sunması ve manuel sulama yöntemlerine kıyasla işçilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltması nedeniyle özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Mulas, 1986). Tarımda sulama otomasyonu, sınırlı su kaynaklarının verimli kullanılmasını hedefleyen modern bir yaklaşım olup, suyun bitki ihtiyacına uygun zaman ve miktarlarda uygulanmasını sağlayarak hem sulama maliyetlerini düşürmekte hem de giderek azalan su kaynaklarının daha rasyonel kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

Sulama otomasyonunda kullanılan teknolojiler arasında toprak ve iklim sensörleri, otomatik sulama kontrol birimleri, mobil ve web tabanlı uygulamalar ile uzaktan izleme ve kontrol sistemleri yer almakta; bu sistemler açık döngü veya kapalı döngü kontrol prensiplerine göre çalışabil-

mektedir. Sulama otomasyonunun başarısı; bitki su ihtiyacının doğru bir şekilde belirlenmesine, sulama zamanının ve uygulanacak su miktarının hassas biçimde planlanmasına ve sistemin uygun mühendislik esaslarına göre tasarlanmasına bağlıdır. Bu koşulların sağlanması durumunda, üreticilerin sulama maliyetleri azalmakta, ürün verimi ve kalitesindeki artış ise ekonomik kazancın yükselmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenlerle, son yıllarda tarım sektöründe sulama otomasyonu alanında hızlı ve sürekli bir teknolojik gelişim yaşandığı görülmektedir.

2. SULAMA OTOMASYONU VE SİSTEM TÜRLERİ

Sulama otomasyonunda kullanılan teknolojiler arasında sensörler, otomatik sulama kontrol sistemleri, mobil uygulamalar ile uzaktan izleme ve kontrol sistemleri yer almakta olup, bu sistemler genel olarak açık döngü veya kapalı döngü kontrol prensiplerine göre çalışmaktadır.

2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) teknolojisi, sulama otomasyon sistemlerinde kullanılan sensörlerden elde edilen verilerin toplanması, iletilmesi ve analiz edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde sıcaklık, bağıl nem, toprak nemi ve yağış gibi çevresel parametreler anlık olarak izlenebilmekte; sulama sistemlerinin doğru, zamanında ve ihtiyaca uygun şekilde çalışması sağlanabilmektedir. Ayrıca IoT tabanlı sistemler, sulama altyapısının uzaktan izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanıyarak işletme esnekliği ve yönetim kolaylığı sunmaktadır.

Caya vd. (2018), bir tarım alanında IoT tabanlı bir sulama sistemi geliştirerek çevreye yerleştirilen DHT22 sensörü ile sıcaklık ve bağıl nem değerlerini, yağmur ölçer ile yağış miktarını ölçmüşlerdir. Çalışmada, Hargraves-Samani yöntemi kullanılarak referans bitki su tüketimi (ET_0) hesaplanmış ve elde edilen veriler mikroişlemciye tanımlanan yazılım aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, Brassicarapa (Çin lahanası) bitkisinin sulaması otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Mikroişlemci, sensörlerden gelen veriler ve yazılım algoritmaları yardımıyla uygulanacak su miktarını ve sulama zamanını belirlemiştir. Araştırmacılar, otomatik sulama sistemi ile geleneksel yöntemle sulanan bitkileri verim, kalite, yaprak sayısı ve bitki boyu açısından karşılaştırmış; her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edildiğini raporlamışlardır. Çalışma sonucunda, bazı çevresel parametrelerin sensörler aracılığıyla izlenmesiyle otomatik sulama sistemlerinin başarıyla uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

2.2. Yapay Zeka (AI)

Yapay zeka (Artificial Intelligence, AI) tabanlı sistemler, sulama otomasyonunda bitkilerin su ihtiyacının daha hassas bir şekilde tahmin edilmesini ve sulama zamanının optimum olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerde; geçmiş ve anlık sensör verileri, iklim bilgileri ve bitki özellikleri birlikte değerlendirilerek sulama kararları alınmaktadır. Yapay zeka teknikleri sayesinde büyük veri setleri analiz edilebilmekte, sulama sistemlerinin performansı iyileştirilmekte ve su kullanım verimliliği artırılmaktadır. Özellikle bulanık mantık, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, sulama otomasyonunda giderek daha fazla kullanılmaktadır.

2.3. Açık Döngü ve Kapalı Döngü Sistemler

Sulama otomasyon sistemleri, kontrol yapısına göre açık döngü ve kapalı döngü sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Açık döngü sistemlerde sulama işlemi, sensörlerden veya iklim verilerinden elde edilen bilgilere dayanarak önceden tanımlanmış algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmekte olup, sistemin çıktısı doğrudan geri besleme ile izlenmemektedir. Örneğin, toprak nem sensöründen alınan anlık nem değerine göre işlemcinin hafızasında yer alan hesaplamalar sonucunda sulamanın ne zaman ve ne miktarda yapılacağına karar verilmektedir. Bu tür sistemlerde sensör olarak toprak nemi sensörlerinin yanı sıra sıcaklık, nem ve radyasyon gibi iklimsel veriler de kullanılabilir.

Kapalı döngü sistemlerde ise sulama, geri besleme prensibine göre gerçekleştirilmekte; sistem çıktıları sürekli olarak izlenerek sulama işlemi otomatik olarak başlatılmakta veya durdurulmaktadır. Bu sayede bitkinin gerçek su ihtiyacına daha hızlı ve doğru şekilde yanıt verilebilmekte, aşırı ya da yetersiz sulamanın önüne geçilmektedir. Kapalı döngü sistemler, açık döngü sistemlere kıyasla daha yüksek hassasiyet ve kontrol doğruluğu sunmaları nedeniyle modern sulama otomasyon uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir.

3. SENSÖRE DAYALI SULAMA OTOMASYONU

Sensöre dayalı mikro sulama sistemleri, toprağın ve bitkinin durumunu izleyen sensörler aracılığıyla sulama işlemlerini otomatik olarak kontrol etmektedir. Bu sistemlerin temel amacı, bitkinin su ihtiyacını doğru zamanda ve gerekli miktarda karşılayarak hem su kullanım verimliliğini artırmak hem de bitki gelişimini optimum düzeyde sağlamaktır. Sensör destekli sulama otomasyonu, geleneksel sabit zamanlı sulama uygulamalarına kıyasla daha hassas ve esnek bir sulama yönetimi sunmaktadır.

3.1. İklim Verilerine Dayalı Sistemler

İklim verilerine dayalı sulama otomasyon sistemleri, hava durumu gözlemleri ve ampirik yöntemler kullanılarak bitkinin su ihtiyacının tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır. Evapotranspirasyon; bitki dokularından atmosfere gerçekleşen terleme (transpirasyon) ile toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın (evaporasyon) toplamı olarak tanımlanmakta olup (Rosenberg, 1983; Allen vd., 1998), hidrolojik döngü içerisinde son derece önemli bir yere sahiptir. Bitkinin su tüketimini doğru şekilde tahmin edebilmek amacıyla, ölçülebilir iklimsel parametreleri kullanan çeşitli ampirik eşitlikler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında Penman–Monteith, Blaney–Criddle, Jensen–Haise, Makkink, Turc, Priestley–Taylor ve Hargraves–Samani yöntemleri yer almaktadır.

Su kaynaklarının planlanması ve etkin yönetimi açısından referans evapotranspirasyon (ET_0) değerinin doğru tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır (Jensen vd., 1990). Penman–Monteith yöntemi, farklı iklim koşullarında güvenilir sonuçlar verdiği için standart yöntem olarak kabul edilmektedir (Allen vd., 1998). Bununla birlikte, Hargraves–Samani (HS) yöntemi yalnızca maksimum ve minimum sıcaklık verilerini kullanarak ET_0 tahmini yapabilmesi nedeniyle, özellikle veri kısıtının bulunduğu bölgelerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Allen vd. (1998) ve Allen (2006), HS yönteminin Penman–Monteith yöntemine en yakın sonuçları veren alternatif yöntemlerden biri olduğunu belirtmiştir. Kurak ve yarı kurak iklim koşullarında uygulanabilirliği yüksek olan bu yöntem, sulama otomasyonu açısından pratik ve güvenilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Kaya vd. (2010), Iğdır koşullarında yaptıkları çalışmada Hargraves–Samani yönteminin sulama planlamasında başarıyla kullanılabileceğini ve iklim değişimlerine bağlı evapotranspirasyon değişimlerinin belirlenmesinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte Samani (2000), maksimum ve minimum sıcaklık farklarının yalnızca güneşlenme, rüzgâr ve nem değil; enlem, yükselti, topoğrafya, güneş ışınlarının geliş açısı ve büyük su kütlelerine yakınlık gibi faktörlerden de etkilendiğini ve bu durumun HS yönteminin doğruluğunu etkileyebileceğini vurgulamıştır. Özellikle düşük enlemli bölgelerde günlük sıcaklık farkının küçük olması, HS yönteminin güneş ışıınımı ve ET_0 değerlerini düşük tahmin etmesine neden olabilmektedir.

Şarlak ve Bağcı (2020), Konya Kapalı Havzası'nda Blaney–Criddle, Jensen–Haise, Makkink, Turc, Priestley–Taylor ve Hargraves–Samani yöntemlerini Penman–Monteith yöntemi ile karşılaştırmış; Makkink yönteminin daha düşük, Blaney–Criddle yönteminin daha yüksek tahminler verdiğini, Jensen–Haise yönteminin ise Mayıs–Eylül ayların-

da yüksek, diğer aylarda düşük tahmin yaptığını belirtmişlerdir. Turc, Priestley–Taylor ve Hargraves–Samani yöntemlerinin ise Penman–Monteith yöntemine alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Jat vd. (2019), sensörler ile mikroiklim kontrollü otomatik bir sulama sistemi geliştirmiş ve çalışmayı açık alan ile polikarbon sera koşullarında yürütmüşlerdir. Bitki su tüketiminin %100 ve %80'i düzeylerinde sulama uygulamaları gerçekleştirilmiş; programlanabilir mikroiklim kontrollü sistemin başarılı şekilde çalıştığı, verimde polikarbon sera koşullarında açık alana kıyasla sırasıyla %93 ve %53 oranında artış sağlandığı rapor edilmiştir.

3.2. Toprak Nem Sensörlerine Dayalı Sistemler

Toprak nem sensörlerine dayalı sulama otomasyon sistemleri, bitki kök bölgesindeki nem seviyesini sürekli izleyerek sulama zamanını ve uygulanacak su miktarını belirlemektedir. Sathya vd. (2016), çeltik tarımında toprak nem seviyesine bağlı çalışan otomatik bir sulama sistemi önermiş ve bu sistemin suyu farklı parseller arasında etkin şekilde yönlendirdiğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda, suyun daha etkin kullanıldığı ve aşırı sulamanın bitki üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırıldığı ifade edilmiştir.

Ganjeer (2019), buğday üretiminde manuel sulama ile toprak nem sensörü kontrollü otomatik sulama sistemlerini karşılaştırmış; sensör kontrollü sistemde su kullanım etkinliğinin maksimum düzeye ulaştığını ve %15,85 oranında su tasarrufu sağlandığını bildirmiştir. Dursun ve Özden (2011), Tokat–Zile koşullarında bodur kiraz ağaçlarında kapalı döngü prensibine göre çalışan, güneş enerjili otomatik damla sulama sistemi geliştirmişlerdir. Toprak nem sensörlerinden radyo dalgalarıyla iletilen veriler mikroişlemci tarafından değerlendirilmiş ve sistem otomatik olarak kontrol edilmiştir.

Munoz vd. (2003), domates yetiştiriciliğinde damla sulama sistemiyle az fakat sık sulama uygulamalarını incelemiş ve tansiyometre değerinin 15 cbar'a ulaştığında sulamanın başlatılmasının en yüksek başarıyı sağladığını belirtmişlerdir. Yıldırım ve Demirel (2011) ise toprağın elektriksel iletkenliğine dayalı kapalı döngü bir otomatik sulama sistemi geliştirerek, sulama kararlarının sensör verilerine göre otomatik olarak alındığını ortaya koymuşlardır.

3.3. Güneş Enerjili Otomatik Sulama Sistemleri

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının sulama otomasyonuna entegrasyonu giderek önem kazanmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri, enerji maliyetlerini düşürmekte, karbon salımını azaltmakta ve özellikle kırsal alanlarda şebekeden bağımsız çalışma imkânı sunmaktadır. Bu sistemlerin başlıca avantajları; enerji maliyetlerinde önemli ölçüde azalma, çevresel sürdürülebilirlik ve taşınabilirlik olarak sıralanabilir.

Anjaly (2016), güneş enerjisiyle çalışan otomatik sulama ve gübreleme sistemini manuel uygulamalarla karşılaştırmış ve sera koşullarında salatalık bitkisinde maksimum verimin otomatik sistemle elde edildiğini belirtmiştir. Yıldırım vd. (2025) tarafından geliştirilen güneş enerjili otomatik damla sulama sisteminde, pyranometre ile ölçülen günlük güneş radyasyonu bitki evapotranspirasyonuna dönüştürülmüş ve hesaplanan ET kadar sulama suyu bitki kök bölgesine otomatik olarak uygulanmıştır. Bu yaklaşım, bitkinin gerçek su ihtiyacını dikkate alması nedeniyle sulama planlamasında yüksek doğruluk sağlamaktadır.

Günümüzde sulama sistemleri, manuel kontrol anlayışından uzaklaşarak sensörler ve mikrodenetleyiciler (Arduino, ESP vb.) ile yönetilen daha basit, güvenilir ve enerji açısından bağımsız sistemlere doğru evrilmektedir. Bu yönelimin başlıca nedenleri; yüksek yatırım ve bakım maliyetlerinden kaçınılması, kullanıcı dostu sistem ihtiyacı, düşük enerji tüketimi gereksinimi ve sensör teknolojilerinin giderek daha erişilebilir hale gelmesidir. Bu nedenle, tek veya çift sensörlü, toprak nemine dayalı, röle ve vana kontrollü sistemler günümüzde daha fazla tercih edilmektedir.

3.4. Zamana ve Hacme Dayalı Sulama Otomasyonu

Zamana ve hacme dayalı sulama otomasyonu, sulama işlemlerinin önceden belirlenmiş zaman aralıklarına (zaman temelli) veya tanımlı su hacimlerinin uygulanmasına (hacim temelli) göre otomatik olarak gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Zaman temelli sistemler basit ve yaygın olmakla birlikte, toprağın gerçek nem durumunu dikkate almadıkları için su israfına yol açabilmektedir. Hacim temelli sistemler ise hedeflenen su miktarını daha hassas şekilde uygulayarak tutarlı bir sulama sağlamaktadır. Bununla birlikte, her iki yöntemin de verimliliği sensör destekli kapalı döngü ve bitki/iklim temelli (ETc-Kc) yaklaşımlarla entegre edildiğinde önemli ölçüde artmaktadır.

Merry (2003), İsviçre’de şekerpancarı üretiminde kullanılan hareketli yağmurlama, karık ve yüzey damla sulama sistemlerini 1998 yılından

itibaren otomatik kontrollü sistemlere dönüştürmüştür. Çalışma kapsamında 2003 yılına kadar yaklaşık 4000 ha alan yağmurlama sisteminden damla sulama sistemine dönüştürülmüş, alanlar 100 ha'lık ünitelere ayrılarak her birine kontrol evleri kurulmuştur. Pompa, vana ve sulama programlarının otomatik çalışması radyo dalgaları ile sağlanmış; bir ünitedeki sulama tamamlandığında diğer üniteye otomatik olarak geçilmiştir. Bu sistem sayesinde sulama yönetimi daha etkin ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, sensöre dayalı sulama otomasyonu konusunda çok sayıda araştırmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Tarımsal sulama uygulamalarında etkili su yönetimi, sürdürülebilir üretimin temel unsurlarından biridir. Özellikle artan su kıtlığı ve iklim değişikliğinin etkileri, tarımsal uygulamaların modernizasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, bitki kök bölgesindeki toprak nem miktarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve ihtiyaç duyulan sulama suyunun otomatik sistemler aracılığıyla uygulanması, önemli ölçüde su tasarrufu sağlamaktadır. Ohja vd. (2015), toprak nemine dayalı otomatik sulama sistemlerinin bitkinin gerçek su ihtiyacına göre sulama yapılmasına olanak tanıdığını ve bu sayede su kullanım etkinliğinin artırıldığını belirtmişlerdir.

Sensöre dayalı sulama otomasyonu, modern tarımda hem su hem de enerji verimliliğini artıran temel bir araç haline gelmiştir. Özellikle güneş enerjisiyle çalışan otomatik damla sulama sistemleri, basit ancak etkili otomasyon yaklaşımlarıyla teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Bu sistemler, enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra şebekeden bağımsız çalışabilme avantajı sayesinde kırsal alanlarda yaygın kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin yaygınlaştırılması sürdürülebilir tarım uygulamalarının geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak sensör, mikrodenetleyici ve nesnelerin interneti (IoT) tabanlı otomasyonlu sulama sistemleri, tarımsal sulamada etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar; toprak nemi, sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel parametrelerin anlık olarak izlenmesi ve bu verilere dayalı olarak sulama kararlarının otomatik biçimde alınmasının, su tüketimini azalttığını, iş gücü ihtiyacını düşürdüğünü ve bitkisel üretimde verim ile kaliteyi artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenen bu sistemlerin, enerjiye erişimin sınırlı olduğu bölgelerde dahi uy-

gulanabilirliği artırarak sürdürülebilir tarımsal üretime önemli katkılar sağladığı vurgulanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Anjaly, C.S., (2016). Development and evaluation of a solar powered automated fertigation system, Ph.D Thesis. Department of Land and Water Resources Conservation Engineering, Kelappaji College of Agricultural Engineering and Technology.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998), Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, Italy, 300.
- Allen, R. G. (2006). Evaporation modeling: potential. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences (M. G. Anderson & J.M. McDonnell, eds). Wiley-Blackwell, Chichester.
- Caya, M.V.C., Balloda, A.H., Arrogante, K.C., Biagtan, R.A.J., Cueto, P.G.S., Sarmiento, B.G.R., 2018. Automated Irrigation System with the Integration of Internet of Things for Agricultural Applications, AIP Conference Proceedings 2045, 020049 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5080862> Published Online: 06 December 2018.
- Dursun, M., Ozden, S., 2011. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. Scientific Research and Essay Vol.6(7), p.1573-1582.
- Ganjeer, P. (2019). Performance Evaluation of Developed Soil Moisture based Automated Drip Irrigation System for Cabbage, Ph.D Thesis, Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya, Raipur.
- Rosenberg, N. J. (1983). Microclimate: The biological environment (2nd ed.). Nova Iorque: John Wiley & Sons.
- Kaya, S., Meral, R., Daşçı, E., Evren, S., Adıgüzel, M.C., Yılmaz, H., 2010. Referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında Hargraves-Samani metodu ile pan evapotranspirasyonunun karşılaştırılması, I.Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş 27-29 Mayıs 2010, p.139-145.
- Merry, R.E. 2003. Dripping with Success: The Challenges of an Irrigation Redevelopment Project. Irrigation and Drainage, Irrig. And Drain. 52: 71-83.
- Mulas, P., 1986. Developments in the automation of irrigation. Colture Protelle 15(6), 17-19.
- Munoz, C. R., Bryan, H., Klassen, W. and Dukes, M. D. (2003). Automatic soil moisture based drip irrigation for improving tomato production. In: Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 116: 80-85.
- Ohja, T., Mishra, S. and Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. Comput. Electron. Agric., 118: 66-84.
- Sathya, A., Arthi, B., Giridharan, S., Karvendan, M. and Kishore, J. (2016). Automatic control of irrigation system in paddy using WSN. IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR). Pp. 115-118.

- Samani, Z. (2000). [Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data](#). J. Irrig. Drain. Eng. 12, 265–267.
- Şarлак,N., Bağçacı,S.Ç.,2020. Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası, Teknik Dergi,2020,9755-9772,Yazı 565.
- Jat, D., Rajwade, Y. A., Chandel, N. S., Dubey, K and Rao, K. V. R. (2019). Embedded system for regulating abiotic parameters for Capsicum cultivation in a polyhouse with comparison to open-field cultivation. International Journal of Vegetable Science, 1-11.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. & Allen, R. G. (1990), Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.ASCE, New York, USA.
- Yıldırım, M., Demirel,M., 2011. An automated drip irrigation system based on soil electrical conductivity. Philipp.Agric.Scientist Vol.94,No.4,44-50.
- Yildirim M, Yücel M, Mucan U (2025). Solar-Powered Automated Drip Irrigation System Scheduling. Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi), 31(4):1012-1023.
- DOI: 10.15832/ankutbd.1598746

Bölüm 6

ÇEVRESEL KİRLETİCİLER VE RUMİNANTLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

*Sevil ÇALIŞKAN ELEREN¹,
Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ²*

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Nilüfer-BURSA, <https://orcid.org/0000-0002-8489-9214>

2 Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 16059, Görükle, Nilüfer-BURSA, <https://orcid.org/0000-0001-9044-8092>

1. GİRİŞ

Çevre; atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosferde yer alan doğal bileşenlerin yanı sıra insan faaliyetleri sonucu oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimleri kapsayan; kirlilik kontrolü, kaynak yönetimi ve sürdürülebilirlik ilkeleri bağlamında incelenen kompleks bir sistemdir. Hava, su ve toprak gibi abiyotik bileşenler, canlı organizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için zorunlu kaynakları sağlar. Canlı organizmalar ile bu fiziksel bileşenler arasındaki etkileşimlerin dengeli bir biçimde sürmesi, ekosistemlerin işleyişi ve yaşamın devamlılığı açısından önem taşır. Son yıllarda, antropojenik faaliyetlerdeki (artan popülasyon, sürekli gelişen sanayi ve teknoloji, yoğun tarımsal uygulamalar) sürekli yükseliş ve kaynaklara yönelik artan talep, canlı organizmalar ile çevresel bileşenler arasındaki dengeyi bozarak, ekosistem bütünlüğünün kaybına ve su, toprak ve atmosferde kalıcı ve tehlikeli maddelerin birikmesine neden olmuştur (Pal, Yirgalem, Anberber, Giro ve Dasgupta, 2015). Çevre sorunlarına yol açan bu maddeler, genel olarak kalıcı organik kirleticiler (pestisitler, dioksinler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller), ağır metaller ve mikroplastikler gibi sınıflara ayrılır. Çoğunlukla endüstriyel, tarımsal ve kentsel faaliyetlerden kaynaklanan bu kirleticiler hava, su ve toprakta bulunmakta, çevre, hayvan ve insan sağlığı üzerinde potansiyel olarak zararlı etkilere neden olmaktadır (Sun vd., 2020). Bu durum, sadece ekosistemlerin sağlığını değil, aynı zamanda tarımsal üretim sistemlerinin ve gıda güvenliğinin de sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu bağlamda, küresel protein kaynağında merkezi rol üstlenen ruminant yetiştiriciliği (özellikle sığır, koyun ve keçi) de bu tehditten büyük ölçüde etkilenmektedir.

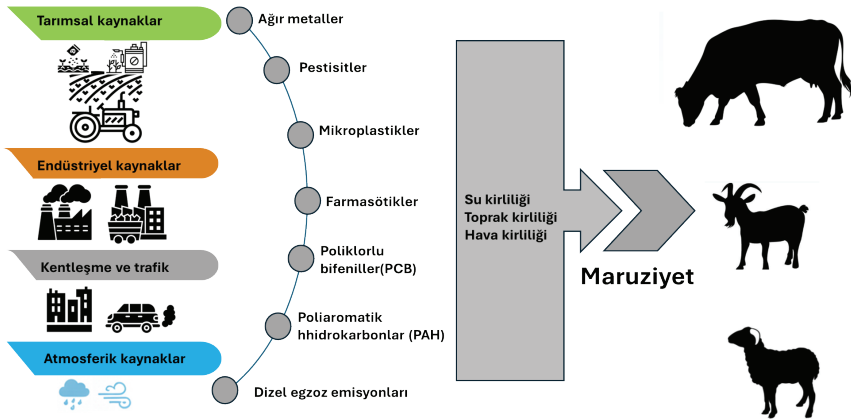
Ruminantlar bir yandan gübre ve metan emisyonları gibi çıktıları nedeniyle kirlilik kaynağı olarak görülürken, diğer yandan da kontamine olmuş su, yem ve otlaklar aracılığıyla çevresel kirleticilere birincil derecede maruz kalan canlılardır. Bu iki yönlü etkileşim, yalnızca ekosistem sağlığını değil, aynı zamanda hayvansal ürünlerdeki kalıntılar nedeniyle gıda güvenliğini de riske sokmaktadır. Bu konu, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları kapsamında yer alan sürdürülebilir üretim ve tüketim, iklim eylemi ve karasal ekosistemlerin korunması gibi hedeflerle de doğrudan bağlantılı önemli bir alandır.

Bu nedenle, çevresel kirleticilerin kaynaklarının kontrol altına alınması, çeşitli çevresel ortamlarda dağılımı, taşınımı, ruminantların maruziyet risklerinin anlaşılması ve bunun en aza indirilmesi için disiplinler arası etkili stratejilerin geliştirilmesi son derece önemlidir. Bu çalışma, çevresel kirleticilerin ruminantlar üzerindeki çok yönlü etkilerini kap-

samlı biçimde değerlendirerek, bu etkilerin azaltılmasına yönelik uygulanabilir çözüm önerileri geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2. ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN KAYNAKLARI VE EKOSİSTEMLERDEKİ TAŞINIM VE BİRİKİM MEKANİZMALARI

Artan sanayileşme, kentleşme ve çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu ortaya çıkan çevresel kirleticiler su ve kara canlılarının sağlığının ve genel olarak ekosistemin bozulmasına yol açar. Çevresel kirleticilerin çoğu; su, kara ve toprak ortamlarında uzun süreli kalıcılığa sahip olduğu gibi, hayvanlar için de çok çeşitli toksisitelere sahiptir (Anetor, Nwobi, Ig-haro, Sonuga ve Anetor, 2022; Abdallah, Xu ve Abdeen, 2022). Diğer tüm hayvanlarda olduğu gibi, geviş getiren hayvanların maruziyeti de kaçınılmazdır ve çoğu kimyasala maruz kalma seviyeleri genellikle düşük olsa da kirletici kombinasyonları sinerjik olarak etki edebilir (Rhind vd., 2010). Hayvanlar bu kirleticilere hava, kirli yem ve su tüketimi yoluyla maruz kalırlar (Şekil 1) ve bu da çeşitli zararlı etkilere neden olur (Anetor vd., 2022; Abdallah vd., 2022, Relić ve Đukić-Stojčić, 2023). Yaygın çevre kirleticileri arasında; ağır metaller, mikroplastikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu bifeniller (PCB'ler), pestisitler gibi çevresel kirleticiler bulunur (Anetor vd., 2022; Relić ve Đukić-Stojčić, 2023).



Şekil 1. Çevresel kirleticilerin kaynakları ve maruziyet yolları

Tarımda ürün verimini artırmak ve artan nüfusun taleplerini karşılamak için azotlu gübre ve pestisitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların aşırı kullanımı, su yaşamı, toprak koşulları gibi ekosistemlerdeki dengeyi bozarak, insan ve hayvan sağlığı için risk oluşturan sorunlara yol açmaktadır (Adebanjo-Aina ve Oludoye, 2025). Gübre tüketimi elde edilen verimi artırırken içerdiği kimyasallar ile çevresel hasarı günden

güne artırmaktadır (Özkan, Destek ve Erdem, 2024). Bu hasarlar; su kirliliği, ötrofikasyon ve azot oksit emisyonları yoluyla hava kirliliği şeklinde ortaya çıkmaktadır (Zhang vd., 2015; Pozzer, Tsimpidi, Karydis, de Meij, ve Lelieveld, 2017; Paudel, 2025). Gübre kullanımının tarımsal azot oksit emisyonları ve toplam tatlı su çekimleri üzerindeki çevresel etkileri güçlüdür (Paudel, 2025). Yapılan araştırmalar, ürünlerde kullanılan azotun neredeyse üçte ikisinin; uygulanan fosforun ise yarısından fazlasının kirlletici hale geldiğini göstermektedir (Ritchie, 2021). Azotlu gübre çevreye verildiğinde kimyasal dönüşümlere uğrar ve ekosistemler aracılığıyla taşınır. Birincil azot formları olan nitrat, amonyak ve amonyum, toprak ve su sistemleriyle farklı şekillerde etkileşime girer (Mengel, 2019). Amonyak, nitrifikasyon yoluyla nitrite ve ardından nitrata dönüştürülür ve bu da bitki emilimini kolaylaştırır. Ancak nitrat oldukça çözünür ve hareketlidir, bu da yeraltı ve yüzey sularına sızmaya eğilimli olmasını sağlar (Singh ve Craswell, 2021). Su sistemlerindeki aşırı nitrat hem su ekosistemlerini ve bu suyu kullanan canlıları, hem de insan sağlığını olumsuz etkiler (Giordano, Petropoulos ve Roupheal, 2021; Adebanjo-Aina ve Oludoye, 2025).

Pestisitler kontrolsüz ve fazla kullanıldığında özellikle toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır (Ahmad vd., 2024). Pestisitler toprakta, suda, tortularda ve biyotada çeşitli formlarda bulunur. Pestisit spreylelerinin veya tozunun bir kısmı, toprağa uygulama sırasında partiküllere adsorplanmış kimyasallar olarak hava yolu ile de taşınır (Rajmohan, Chandrasekaran ve Varjani, 2020). Havadan uygulanan pestisitler, yeniden absorpsiyon, partikül serpintisi ve yağış yoluyla suya ve toprağa taşınmaktadır (Özkara, Akyıl ve Konuk, 2016; Chaudhari vd., 2023). Pestisitlerin toprak, bitki ve su yüzeylerinden buharlaşması, atmosfere ulaşmanın yaygın bir yoludur. Pestisitler toprak ekosistemi içinde, yüzey akışı ve yıkanma yoluyla su sistemlerine ulaşabilir (Subhadarsini Pradhan vd., 2022). Çevredeki pestisit hareketliliğini ve toksisitesini çeşitli değişkenler yönetir. Pestisitlerin biyotik ve abiyotik yüzeylere adsorpsiyonu, toprak ve sudaki pestisit hareketliliğini azaltır. Pestisitlerin bozunması, taşınma süreçleri, geçiş ve parçalanma hızı, moleküler (Rasool, Rasool ve Gani, 2022) ve fiziko-kimyasal (Lushchak, Matviishyn, Husak, Storey ve Storey, 2018) özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir (Lushchak vd., 2018). Bu değişkenler iç içe geçmiştir ve pestisitlerin nihai kaderini ve türev süreçlerini etkiler (Chaudhari vd., 2023). Pestisitlerin özelliklerine ve potansiyel toksisitelerine göre toprak, su, bitkiler, insan ve hayvan sağlığı ile gıda ürünlerinin korunması üzerinde olumsuz etkileri vardır (Pathak vd., 2022; Tudi vd., 2021).

Ağır metaller de doğal ve antropojenik yollarla toprak, su ve yeraltı suyu sistemlerine girerler. Endüstriyel faaliyetler, madencilik faaliyetle-

ri, yetersiz atık yönetimi ve tarımsal faaliyetler, kayaların ayrışması ve volkanik faaliyetler (Bradl, 2005) bu kirliliğe katkı sağlar. Yüzey akışı metalleri karadan yüzeysel sularına taşıırken, sızıntı ise topraktan yeraltı suyu sistemine göçlerini artırır. Qiao vd. (2023), yeraltı sularında, hidrolik eğimlere, akiferleri kontrol eden özelliklere ve çözünmüş organik maddelerle etkileşimlere bağlı olarak metallerin yanal veya bazen dikey göçünün olduğunu belirtmişlerdir (Zeng vd., 2023). Topraklardaki ağır metallerin etkileşimleri adsorpsiyon, iyon değişimi, çökeltme ve kompleksleşme gibi bir dizi karmaşık süreci takip eder. Toprak sistemlerinde metaller; organik madde, kil mineralleri ve oksitlerle etkileşime girerek, topraklarda adsorpsiyon, desorpsiyon ve çökeltme gibi çeşitli süreçlere yol açar (Herath, Vithanage, ve Bundschuh, 2017). Partikül maddelere bağlı halde bulunan bazı ağır metaller yüzey akışları ile taşınarak nehir ve göllerdeki sedimentleri kirletir (Luoma ve Rainbow, 2008). Yeraltı sularındaki metal kirlilikleri; minerallerin çözünmesinden (Appelo ve Postma, 2005), doğal süreçler sonucunda yeraltı suyuna salınım (Nickson, McArthur, Ravenscroft, Burgess ve Ahmed, 2000), yüksek gübre uygulaması ve asidik toprak koşullarının olduğu bölgelerde tarımsal faaliyetler yoluyla yeraltı suyuna sızma şeklinde olabilir (Dashtey, 2024).

Ağır metal kirleticileri, besin zincirine tarım ve sanayi yoluyla girer. Hayvan yemlerinde ve sularında ağır metallerin varlığı, biyolojik birikimleri ve toksisiteleri nedeniyle hayvan sağlığına zararlıdır (Tahir ve Alkheraije, 2023). Co, Mn, Se, Zn ve Mg gibi bazı temel ağır metaller eser miktarlarda hayati fizyolojik süreçlerde önemli roller oynarken, As, Pb, Hg, Cd ve Cu gibi diğerleri yaygın olarak toksik özellikleriyle bilinir. Fizyolojik işlevleri ne olursa olsun, tüm ağır metallerin tolerans sınırının üstünde aşırı alımı toksisiteye yol açabilir. Hayvanlar metallere, öncelikle antropojenik çevre kirliliğinin bir sonucu olarak, kirli yem ve su yoluyla (Afzal ve Mahreen, 2024), daha az ölçüde ise, endüstriyel ve trafik kirliliği nedeniyle soludukları hava yoluyla maruz kalırlar (Sekar vd., 2021). Hayvanlarda ağır metal kontaminasyonunun ikincil nedeni, tarım alanlarında pestisit, böcek ilacı ve gübre kullanımıdır (Maji, Dwivedi, Singh, Kishor ve Gond, 2020; Brifa, Sinagra ve Blundell, 2020; Nakagawa, Imura ve Berndtsson, 2022).

Ağır metaller, mikroplastikler ve ilaçlar gibi kirleticiler ile etkileşime girdiklerinde, taşınımaları ve toksisiteleri değişebilir. Örneğin, mikroplastik parçacıklar metaller için vektör görevi görerek bu metallerin su ekosistemindeki hareketliliğini ve biyoakümüülasyonunu artırabilir (Selvam, Jesuraja, Venkatramanan, Roy ve Kumari, 2021). İlaçlarla etkileşimler ise, karmaşık bileşiklerin oluşumuna neden olarak metallerin davranışlarını ve ekolojik etkilerini değiştirebilir (Maremane, Belle, Oberholster, ve Omotola, 2025; Dashtey, 2024).

İlaçlar ve kişisel bakım ürünleri (PPCP'ler), kişisel sağlık veya kozmetik amaçlı kullanılan, terapötik ilaçlar, fitoterapötikler, biyoteknolojik ürünler, veteriner ilaçları, kokular ve kozmetikler dahil olmak üzere çok çeşitli organik bileşiklerdir. Yüksek ekotoksikolojik potansiyelleri, dirençli özellikleri ve biyoakümülyasyon nedeni ile PPCP'lerin su kütlelerine girdiği ancak atık su arıtma tesislerinin bazı aktif bileşenleri gideremediği, dolayısıyla olası epidemiyolojik sonuçların ortaya çıkmasına yol açtığı belirtilmiştir (Narvaez ve Jiménez, 2012). Bu nedenle pek çok hayvan türü ve hedef dışı bitkiler için de toksik olabilirler. Farmasötikler karmaşıktırlar ve biyota üzerindeki spesifik olmayan etkileri artıran çeşitli yardımcı maddeler içerirler. Çoğu ilacın dağılımları ortamın pH'ına ve asitlik (K_a) veya baziklik sabitine (K_b) bağlıdır ve ortamdaki iyonlaşmalarını belirler. Asidik aktif bileşenler, lipitlere olan afiniteleri nedeniyle asidik pH'ta kolayca ayrışmazlar, bu nedenle biyolojik zarlardan geçerler ve dolayısıyla biyotadaki biyolojik birikim artar. Asidik aktif bileşenler hafif bazik ortamlarda kolay ayrışmaz, bu da suda çözünürlüklerini ve sulu ortamda dağılımlarını artırır (Narvaez ve Jiménez, 2012).

İlaçların çevreye yayılması ve (biyo)yararlanımı (partikül bağlı taşınım) ve atık su arıtımı sırasında giderimi üzerinde sorpsiyon etkilidir. Antibiyotiklerin sorpsiyonu, özellikle su fazındaki, toprak organik madesindeki ve topraktaki serbest ve askıda partiküllerin miktarı ve yapısından etkilenir (Thiele-Bruhn, 2003; Kalyva, 2017). Birçok ilaç doğal sularda kolayca biyolojik olarak parçalanamaz (Buerge, Buser, Poiger ve Muller, 2006). Toprak bölgesinde, biyolojik parçalanma reaksiyonları için gerekli olan mikroorganizmaların varlığı nedeniyle biyolojik parçalanma aktiviteleri daha aktiftir (Li, 2014). İlaçların biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri, topraklardaki akıbetlerini ve davranışlarını etkiler. Ancak, ilaçların fizikokimyasal ve toprak özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle, ilaçların üst toprakta kalması veya yeraltı suyuna ve nihayetinde yüzey suyuna sızması mümkündür (Davis, Truman, Kim, Ascough ve Carlson, 2006; Yang vd., 2012; Doruk, Goker ve Cihangir, 2018; Jałowiecki, Płaza, Ejhed ve Nawrotek, 2019; Sanusi, Olutona, Wawata ve Onohuean, 2023). Topraktaki ilaç kalıntıları, bitkilerin çeşitli kısımları tarafından alınır ve tutulur (Gworek, Kijeńska, Wrzosek ve Graniewska, 2021). İlaç kalıntıları içeren bu bitkilerin tüketimi, insan ve hayvanların çevresel ortamlardaki ilaçlara maruz kalmasının birinci yoludur (Earl, Sleight, Ashfield ve Boxall, 2024).

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), çevresel ortamlarda en yaygın olarak bulunan kalıcı organik kirleticilerden (KOK'lar) biridir. PAH'lar, insan ve hayvanlar üzerindeki önemli sağlık riskleri ve olumsuz etkileri nedeniyle yaygın olarak endişe yaratmaktadır. Günümüzde çevredeki PAH'ların başlıca kaynakları, fosil yakıtların eksik yanması,

belediye atıklarının yakılması ve tarımsal toprak kaynaklı emisyonlardır. Topraklarda PAH'lar birikerek ekosistemleri kirletir, besin zincirlerine girer ve bitki, hayvan ve insan sağlığı için tehdit oluşturur. Tarım topraklarındaki PAH'lar öncelikle atmosferik birikim, endüstriyel faaliyetler, tarım makineleri, araç egzozu ve biyokütle yakma kaynaklıdır (Sharmin, vd., 2025). Yapılan çalışmalarda, sığır derisindeki PAH konsantrasyonlarının, PAH'larla kirlenmiş otlarda otlatma sırasında veya endüstriyel ve otomobil egzozlarından kaynaklanan kirli hava yoluyla veya soğuk mevsimlerde hayvanları ısıtmak için ateş yakmak, böcekleri kovmak için onları dumanlamak yolu ile oluştuğu belirlenmiştir (Sani, Zungum, Imam ve Daya, 2023). Diğer yandan, mikropplastiklerin (MP'ler) PAH'ların biyotoksitesitesi ve biyoakümülyasyon kapasitesi üzerindeki düzenleyici etkisi nedeni ile son yıllarda, PAH'lar-MP'ler arasındaki etkileşimlerin neden olduğu ortak biyotoksitesite de giderek önem kazanmaktadır (Sun vd., 2021).

Mikro ve nanoplastikler (MNP) de çevresel ortamlarda giderek artan varlığı, ayrışmaya karşı dirençleri nedeniyle, insan ve hayvan sağlığı üzerinde potansiyel endişeler oluşturmaktadır (Ramachandraiah, Amer, Jiang ve Hong, 2022). Bunun başlıca nedeni olarak, MNP'lerin farklı ortamlara kolayca ve hızla aktarılabilmesi, besin ağına girebilmesi, trofik seviyelerde hareket edebilmesi, zararlı kimyasal kirleticileri adsorbe edebilmesi ve hayvanlarda farklı dokulara göç edebilmesi gösterilmektedir (Peng vd., 2020). Atmosferdeki küçük boyutlu ve düşük yoğunluklu mikropplastikler, rüzgar akımında asılı kalabilir ve uzun mesafelere taşınabilir (Camarero, Bacardit, de Diego ve Arana, 2017; Haque ve Fan, 2023). Bu taşıma ve biriktirme süreci, MNP'lere maruziyeti artırır (Domenech ve Marcos, 2021).

Evsel ve tarımsal faaliyetler topraktaki iki potansiyel mikropplastik kaynağıdır. Polimer kaplı gübreler, yavaş salınımlı gübreler, kompostlama, organik gübreler, plastik malçlar (polietilenden yapılmış) ve mikropplastik içeren sulama suyu (genellikle sentetik elyaf) tarımsal faaliyetlerle ilgilidir. MP'lerin topraktaki hareketi biyotürbasyon (yani, mikropplastiklerin yüzey toprağından daha derin katmanlara aktarılması) tarafından yönetilir. Biyotürbasyon, solucanlar, toprak larvaları ve omurgalılar (örneğin, köstebekler, fareler, yılanlar ve tavşanlar) gibi toprak faunası tarafından sağlanır. Toprakta MP taşınmasının diğer yolları; kök hareketi ve genişlemesi, toprak işleme faaliyetleri ve yumru bitkilerin hasadı şeklindedir. Toprak özellikleri, mikropplastiklerin şekli, boyutu ve bileşimi de mikropplastiklerin topraktaki taşınımalarını belirler (Haque ve Fan, 2023). Yağış, yüzey akışı ve okyanus dolaşımı, mikropplastikleri pedosferden hidrosfere taşıyan olası yollardır. Rüzgar, yağmur ve kar yağışı yoluyla farklı bölgelere taşınır ve biriktirilir (Ramachandraiah vd.,

2022). Mikroplastikler yalnızca karadan suya taşınmakla kalmaz, aynı zamanda okyanus dolaşımı nedeniyle sudan karaya da geçebilirler (Zhang, Gao, Kang ve Sillanpää, 2019). Daha hafif ve daha küçük mikroplastikler rüzgarla havadaki mikroplastikler olarak taşınabilir ve sonuç olarak buzul bölgeleri ve yüksek dağlar gibi uzak bölgelerde de mikroplastiklere rastlanabilir. Daha yoğun mikroplastikler pedosferde (toprakta) birikebilir veya gömülebilir (Horton, Walton, Spurgeon, Lahive ve Svendsen, 2017). Tarım arazilerinden ve kentsel alanlardan gelen yoğun yağış ve yüzey akışı, mikroplastikleri yüzey sularına (hidrosfere) taşıyabilir (Haque ve Fan, 2023). Hayvanlar için maruz kalma yolları, havadaki MP'lerin solunması (Boucher ve Friot, 2017), kirli su ve yem tüketimi (Carlin vd., 2020) yoluyla (Lackner ve Branka, 2024).

Çevresel kirlilik kaynaklarının tespiti ve bu kirleticilerin hava, su ve toprak ortamlarındaki etkileri incelendiğinde, bu maddelerin ekosistemde kaybolmadığı; aksine biyoakümülyasyon yoluyla besin zincirinde biriktiği görülmektedir. Bu birikim, kirlenmiş otlaklar, yem maddeleri, içme suyu ve hava yoluyla çevresel yükün ruminantlara kaçınılmaz biçimde iletilmesine sebep olur. Bu nedenle, bu çevresel kirleticilerin ağız yoluyla ve solunumla ruminant hayvanların vücuduna girmeleri sonrasında, bu hayvanların fizyolojisi, bağışıklık sistemleri ve rumen mikrobiyatu üzerinde doğrudan ve dolaylı toksik etkileri incelenmelidir.

3. RUMİNANTLARIN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hayvanlar da tıpkı insanlar gibi, çeşitli iç ve dış uyaranlara tepki olarak değişen fizyolojik davranış kalıplarına göre hareket ederler. Çevresel kirleticiler, hayvanlar için sadece zararlı maddeler değil, aynı zamanda onların stres yanıtlarını tetikleyen dış uyaranlardır. Kirleticilere maruz kalmak, hayvanlarda davranış değişikliklerine, organ fonksiyon ve yapılarının bozulmasına neden olur (Relić ve Đukić-Stojčić, 2023). Ortak davranış kalıplarındaki değişiklikler, hayvanın fiziksel veya zihinsel rahatsızlık hissettiğini gösterir. Bu davranış değişiklikleri, hayvanın sağlığını ve hayvancılıkta üretim sonuçlarını olumsuz etkileyebilecek bozukluklardan muzdarip olduğunun erken göstergesidir. Bu durum özellikle hayvanın sağlığını ve refahını, insanlara ve diğer hayvanlara tepkisini ve üretim sonuçlarını etkileyen kronik stres durumunda önemlidir (Beaupied vd., 2022). Ruminantlarda çeşitli kirleticilere maruz kalmanın yol açtığı davranış değişiklikleri arasında yönelim bozukluğu, insanlarla ve diğer hayvanlarla etkileşimde sorunlar, üreme sorunları, solunum ve sindirim semptomları vb. yer alır (Relić ve Đukić-Stojčić, 2023).

Hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü kirliliği, radyoaktif kirlilik, ışık kirliliği, termal kirlilik çevresel stres etkenleridir (Ano-

nim, 2025). Hava kirliliği, tüm canlı organizmalar için en büyük tehdidi oluşturan kirlilik kaynakları arasındadır (Rhai, 2015). Hava kirliliği; hayvanlar, bitkiler ve insanlar için zararlı olabilecek konsantrasyonlarda bulunabilen toksik kimyasal bileşiklerin varlığı olarak tanımlanabilir (Ukaogo, Ewuzie ve Onwuka, 2020). Hava kirleticilerin en önemlileri karbon monoksit (CO), amonyak (NH_3), nitrojen oksit (NO), nitrojen dioksit (NO_2), ozon (O_3), partikül madde (PM), kükürt dioksit (SO_2) ve uçucu organik bileşiklerdir (VOC) (WHO, 2025). Hayvancılık tesislerinde hava genellikle yüksek konsantrasyonlarda karbondioksit (CO_2), CO, NH_3 , hidrojen sülfid (H_2S) ve artan nem, toz ve yüksek sıcaklıkla birlikte çok kötü çevre koşulları yaratan diğer zararlı gazları içerir (Buoio, Cialini ve Costa, 2023). Barınak içindeki kokunun sebebi genellikle NH_3 , H_2S ve VOC' lerdir. Zehirli olmasa bile kokulu gazlar hayvanlarda solunum sıkıntısına, yem alımının azalmasına, kaygıya ve üretkenliğin azalmasına yol açabilir. Bunun yanı sıra çiftlikte çalışan personelde solunum, kardiyovasküler hastalıklar ve zihinsel bozukluklara neden olabilir (Hristov ve Relić, 2001; Buoio vd., 2023). Süt inekleri gibi bazı hayvanlar, kötü hava kalitesine anında önemli davranış değişiklikleriyle tepki vermez ancak bu koşullar süt miktarını ve kalitesini etkiler (Beaupied vd., 2022). Minimum havalandırmaya sahip barınaklarda bile CO_2 konsantrasyonları 3.000 ppm'in altında kalmalıdır ama genellikle kışın 6.000 ppm'i aşar (Ni, Erasmus, Croney, Li ve Li, 2021). Yüksek CO_2 konsantrasyonuna sahip barınaklarda uzun süreli maruziyet sonucu hayvanlarda solunum belirgin şekilde derinleşir, sık hale gelir ve maruziyet süresi uzadıkça baş dönmesi ve bilinç kaybı yaşanır. Karbondioksit, 30.000 ppm konsantrasyonunda ise boğulma sonucu ölüm meydana gelir (Buoio vd., 2023). CO kokusuz, renksiz, tahriş edici olmayan bir gazdır, hemoglobine bağlanarak onun oksijeni absorbe etmesini engeller, bu da hipoksiye neden olur. CO konsantrasyonuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak hayvanlarda uyuşukluk, halsizlik, solunum sıkıntısı, öksürük, gebe hayvanlarda yavru atma, koordinasyonsuz hareketler ve yürüme bozukluğu gibi belirtiler gözlenir (Relić ve Đukić-Stojčić, 2023). H_2S ahırlarda en yaygın ve en yüksek konsantrasyonlarda bulunan zehirli bir gazdır. Düşük konsantrasyonda H_2S 'ye maruz kalma yorgunluğa, burun ve boğazdaki mukoza zarında tahrişe neden olurken yüksek konsantrasyonlarına maruz kalma ölümle sonuçlanmaktadır (Liu, Ni, Radcliffe ve Vonderohe, 2017). NH_3 , yine çiftlik hayvanı barınaklarında en yaygın ve en yüksek konsantrasyonlarda bulunan güçlü bir tahriş edici etkiye sahip gazdır. Hayvanlarda 100 ppm'lik NH_3 konsantrasyonları hapşırmaya ve mukoza tahrişine neden olurken 300 ppm ve üzeri konsantrasyonlar doğrudan hayati tehdit oluşturur (Moshayed vd., 2023). Hayvan barınaklarında havadaki partikül maddeler (PM) de hava kirliliğine neden olan ve hayvan sağlığı için risk oluşturan unsurlardandır. Barınak havasında endişe verici partikül

maddeler arasında 10 µm ve daha küçük partikül madde, 2,5 µm ve daha küçük partikül madde ile toplam askıda partikül madde bulunur. Bunlar genellikle hayvanlarda öksürüğe ve solunum sıkıntısına yol açarlar (WHO, 2025). Özellikle 2,5 µm ve daha küçük partikül madde ile süt ineklerinde somatik hücre sayısı arasında pozitif korelasyon olduğu bildirilmiştir (Beaupied vd., 2022).

Toprak kirliliğinin antropojenik kaynakları, endüstriyel proseslerde, atık sularda, evsel, hayvansal, pestisit ve petrol türevi ürünlerde kullanılan veya yan ürün olarak üretilen kimyasallardır. Bu kimyasallar, gübre ve pestisitler kullanılarak, arıtılmamış kanalizasyon suyu ve petrol sızıntılarından kaynaklanan kanalizasyon çamurunun kazara deşarj edilmesiyle veya çöplüklerden ve organik kirleticilerden sızma yoluyla yoğun bir şekilde toprağa karışır. Ayrıca günümüzde plastik üretimi ve tüketimi de artmış durumdadır. Bunlar da genellikle toprağa deşarj edilir ve bisfenol, fitalatlar, dioksinler, PAH'lar, PCB'ler ve kanserojen ve toksik ağır metaller gibi katkı maddelerine ayrışır (Shetty vd., 2023). Geviş getiren hayvanların normal otlatma koşullarında günlük kuru madde alımının %10'una kadar hatta kış otlatması gibi kötü koşullarda %30'una kadar toprak tükettiği bildirilmiştir (Abrahams ve Steigmajer, 2003; Collas vd., 2019). Bu tür toprak alımı sırasında, üst toprakta biriken KOK'lar hayvanlar tarafından yutulur ve gıda ürünlerine aktarılabilir. Toprak özellikle PCB'ler, dioksinler ve furanlar (PCDD/F'ler) veya organoklorlu pestisitler (OK'ler) gibi lipofilik KOK'larla kirlendiğinde, hayvanlar için kirleticilere maruz kalmanın temel kaynağıdır (Tao vd., 2009; Diletti vd., 2014).

Ruminantların toksik metallerle maruz kalmasının ana sebebi, yem veya kirli su tüketimidir. Temel olarak hayvanlar, çoğu kirleticiyi özellikle ağır metalleri ağız yoluyla çevreden alırlar ve bunlar hayvanın dokularında birikerek daha karmaşık toksinlerin oluşumuna neden olur (Afzal ve Mahreen, 2024). Kirlenmiş bitki örtüsü, hastalıkların hayvanlara bulaşmasının başlıca kaynaklarından biridir ve bu durum çoğunlukla ağız yoluyla (otlatma) gerçekleşmektedir (Sangkachai, Gummow, Hayakijkosol, Suwanpakdee ve Wiratsudakul, 2024). Bitkiler, ruminant hayvanların diyetinin ana bileşenidir. Toprak asimilasyonu da hayvanların vücutlarında toksik metal seviyelerinin birikmesinin bir diğer önemli kaynağıdır (Zhou vd., 2022). Ağır metaller ile kirlenmiş su ve toprak vasıtası ile bitkilerde ağır metaller tutulduğu ve bunların tüketimi sonucu ruminantların kanında, karaciğerinde, böbreğinde ve kaslarında ağır metal seviyelerinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir (Hüffer vd., 2019; Mahadappa vd., 2020). Hayvanların vücudunda bu ölümcül maddelerin konsantrasyonu, hayvanın güvenliğini ve et kalitesini tehlikeye atar (Uguru vd., 2024). Ayrıca bunlar hayvanlar için zehirlidir ve eser miktarda bile olsa üretkenliklerini geciktirir (Wang vd., 2022). Arsenik

toksitesitesi gastroenterolojik rahatsızlıklar, sinirsel gerginlik, kardiyovasküler ve solunum **sıkıntısı**, bakırın aşırı dozu mide ağrısı ve iştahsızlık, kadmiyum toksitesitesi karaciğer yetmezliği, böbrek sorunları ve gözenekli kemikler gibi sağlık sorunlarına yol açma eğilimindedir (Wang, Sun, Yao, Ba ve Wang, 2021; Afzal ve Mahreen, 2024). Kurşun, kan-beyin ve plasenta bariyerlerini geçme yeteneğine sahip olduğundan, maruz kalan hayvanların beyin fonksiyonlarını ve gebe hayvanlarda ise fetüsleri olumsuz etkiler. Yanı sıra kurşun, çeşitli fizyolojik fonksiyonları etkileyerek gastrointestinal hasara, nörotoksitesiteye, karaciğer ve böbrek fonksiyon bozukluklarına, oksidatif strese ve enzim sistemlerinde bozulmalara yol açar (Slivinska, Shcherbatyy, Lukashchuk ve Guttyj, 2020). Ruminantlarda da kurşun zehirlenmesinin klinik belirtileri arasında iştahsızlık, böğürme, donukluk, körlük gibi gastrointestinal ve nörolojik belirtiler bulunur. Şiddetli vakalarda ise koma görülür. Bu ciddi klinik belirtiler mevcut değilse, kurşun zehirlenmesi ani ölümle sonuçlanabilir (Bates ve Payne, 2017). Civa, ishal gibi belirtilere neden olarak sindirim sistemi mukozasını olumsuz etkiler; sığırlarda akut zehirlenme belirtileri arasında ani davranış değişiklikleri ve ölüm bulunur (Krametter-Froetscher vd., 2007). Dişi hayvanların ağır metallere maruz kalması oosit olgunlaşmasını ve canlılığını önemli ölçüde azaltarak yavru atmaya veya erken doğuma yol açarak üreme sürecini olumsuz etkiler (Wrzecińska, Kowalczyk, Cwynar ve Czerniawska-Piątkowska, 2021). Erkek hayvanlarda ağır metal maruziyeti, sperm olgunlaşmasını, konsantrasyonunu, canlılığını ve hareketliliğini etkileyerek erkek üreme performansını düşürür. Bu etkisini biyolojik moleküllere saldıran aşırı reaktif oksijen türleri üretimi, tiyol içeren proteinlere bağlanarak enzim ve reseptörlerin inaktivasyonu ve sperm fizyolojisine müdahale ederek erkek doğurganlığına potansiyel zarar veren temel minerallerin taklit edilmesi şeklinde gerçekleştirir (Ribeiro, Viana, Carvalho, Waddington ve Machado-Neves, 2022). Bununla birlikte ağır metallerin besin zinciri yoluyla hayvanlardan insanlara geçmesi, gıda güvenliği ve halk sağlığı konusunda endişelere yol açmaktadır (Aftab vd., 2023). Ge vd. (2022) mera çevresindeki madencilik faaliyetlerinin bu meralarda Fe ve Zn içeriğini artırarak otlayan hayvanların sağlığını riske attığını ve bunun nihayetinde besin zincirine ulaşarak insan sağlığını da olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Ayrıca plastiklerin ruminantlarda bağışıklık tepkisini zayıflattığı, enfeksiyon riskini artırarak hayvanları hastalıklara açık hale getirdiği bildirilmiştir (Kunts vd., 2023).

Ruminantlarda su miktarı ve kalitesi, yem tüketimini ve hayvanların fizyolojik refahını etkileyen, performans ve verimliliği düzenleyen temel özelliklerdir (Umar vd., 2014). Endüstriler tarafından deşarj edilen atıklar, metal bileşikler, organik bileşikler, alkaliler ve fenoller vb. içerir ve bu da suyun kirlenmesine neden olur. Bu düşük kaliteli su, canlıları-

nın sağlığının bozulmasına ve ölümüne yol açmaktadır (Ashraf, Maah, Yusoff, Mehmood, 2010). Tarımsal pestisitler, azotlu gübreler ve organik çiftlik atıkları su kirliliğinin önemli nedenleridir. Tarımsal faaliyetler suyu nitrat, fosfor, pestisitler, toprak tortuları, tuzlar ve patojenlerle kirletir (Parris, 2011). Pestisitler, modern tarım uygulamalarının hayati bileşenlerinden biridir, ancak diğer taraftan hedef dışı organizmalara zarar verme, ekolojik dengesizliğe neden olma, faydalı bitkileri yok etme, besin zincirine girme gibi zararlı etkileri sebebiyle hem hayvanlar hem insanlar büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Feo, Ginebreda, Eljarrat ve Barceló, 2010). Pestisitlerin çoğu, antikolinesteraz ve antikoagülan olarak etki ederek hayvanlarda zehir etkisi yapar. Pestisit zehirlenmesi, ruminantlarda kondisyon düşüklüğünün yanı sıra bağışıklık ve solunum sistemlerindeki işlev bozukluklarını içerir. Ayrıca pestisitler hayvan vücudunda endokrin bozucu olarak hareket ederek erkeklerde sperm, dişilerde oosit kalitesinde düşüşe neden olarak kısırılığa yol açar (Guvvala, Ravindra ve Selvaraju, 2020). Pestisit maruziyeti tiroid fonksiyonunu ve dolayısıyla metabolizmayı da etkiler. Pestisitlerin nükleer tiroid hormonu reseptörlerinin ekspresyonunu inhibe ettiği veya hipotalamus-hipofiz-tiroid eksenini bozduğu da bilinmektedir. Bu bağlamda pestisitler birçok temel fizyolojik süreci bozarak hayvan sağlığını, refahını, üremesini ve verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir (Rhind vd., 2010).

Diğer bir kirletici fosil yakıtların yanmasının bir ürünü olan PAH'lar, kirlenmiş yemlerin tüketilmesi veya bu kimyasalların deri ile teması ile hayvan vücuduna girer (Alver, Demirci ve Özçimder, 2012). Atmosfere salındıktan sonra PAH'lar, ya emisyon kaynağından taşınır ya da doğal olarak toprak ve suya yerleşir. Bitkiler tarafından gaz halindeki kimyasalların emilimi, PAH'ların tarımsal gıda zincirine girmesinin ana yollarından biridir. Kirlenmiş gıda ve yemlerin çiftlik hayvanları tarafından doğrudan tüketilmesi, organik kirleticilerin hayvan vücuduna girmesinin ana yoludur. PAH'ların toksisitesi moleküler boyutla değil, moleküllerin kimyasal yapısıyla ilişkilidir. Genellikle kanserojen etki, PAH metabolitlerinin deoksiribonükleik aside (DNA) bağlanmasıyla ortaya çıkar. Benzo[a]antrasen ve benzo[a]pirenin hayvanlar ve insanlar için özellikle kanserojen olduğu düşünülmektedir. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, fetal gelişimden yetişkinliğe kadar uzanan bir zaman diliminde PAH'lara maruz kalmanın kanser gelişimiyle yüksek oranda ilişkili olduğu bildirilmiştir (Şahin, Dalğa ve Ölmez, 2022).

Hayvan yetiştiricileri, özellikle otlatma mevsiminde içme suyunun ana kaynağı olarak yüzey suyunu kullanmaktadır. Yüzey suyunun kalitesi, özellikle arıtılmamış kanalizasyonun yüzey suyuna deşarjından önemli ölçüde etkilenmektedir. Meijer, Bree, Wagenaar ve Spoelstra (1999) kanalizasyon sularıyla temas etmiş yüzey sularını tüketen süt

ineklerinin üretiminin ve doğurganlığının olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Öte yandan atık su arıtımının bir yan ürünü olan kanalizasyon çamuru, bazen ekilebilir arazilerde veya meralarda kullanılmaktadır. Hombach-Klonisch vd. (2013) tarafından kanalizasyon çamuruyla gübrelenmiş meralarda otlayan gebe hayvanlarda T3 (Triiyodotironin) ve T4 (Tiroksin) konsantrasyonlarının azalmasına, fetüslerde ise tiroid organ ağırlıklarının artışı ve fetüslerin tiroidlerindeki tiroid foliküllerinin sayısının azalmasına neden olarak tiroid morfolojisinde sapmalara yol açtığı bildirilmiştir. Benzer şekilde Erhard ve Rhind (2004) koyunlarda kanalizasyonla kontamine olmuş meraya maruziyetin, yavru davranışlarında anormalliğe neden olduğunu, Fowler vd. (2008) fetüsün anne aracılığıyla çevresel kimyasallara maruz kalmasının fetal yumurtalık gelişimini önemli ölçüde bozduğunu, Lind vd. (2010) ise yetişkin koyunlarda kemik yapısında değişikliklere yol açtığını bildirmişlerdir.

Çevresel kirleticilerin ruminantlar üzerindeki etkilerinin, sadece hayvan sağlığı ve verim parametreleriyle sınırlı kalmadığı görülmektedir. Kirleticiler, absorpsiyon ve dağılım süreçleri sonucunda hayvanın yağ, kas ve süt bezleri gibi yenilebilir dokularında biyolojik birikime uğramaktadır. Özellikle KOK'lar ve bazı ağır metaller, hayvanın metabolizma ve detoksifikasyon mekanizmalarını aşarak, kirletici kalıntılarının hayvan ürünlerine de geçmesine neden olur. Kirleticiler, hayvanlarda endokrin bozukluklara neden olarak üreme ve genel sağlık parametrelerini tehdit etmektedir. Özellikle rumen mikrobiyotasındaki değişimler, hem hayvanların besinlerden yararlanma kapasitesini hem de metan emisyonları gibi çevresel çıktılar üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. Sonuç olarak, çevresel kirlilik sadece bir eko-toksikoloji sorunu değil, hayvan sağlığında verimlilik kaybına ve artan tedavi maliyetlerine yol açan temel bir sorun haline gelmiştir. Bu durum, çevresel kirleticilerin hayvan vücudundaki birikimini, bu maddelerin hayvansal ürünlere geçişi ile gıda güvenliğini ve nihayetinde halk sağlığı üzerindeki risklerini incelemeyi zorunlu kılmaktadır.

4. SONUÇ

Çevresel kirleticilerin sadece ekosistem bütünlüğünü bozmakla kalmayıp, ruminant yetiştiriciliği üzerindeki karmaşık ve çok yönlü etkileşimine neden olduğu açıktır. Bu kirleticiler, çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu hava, su ve toprağa salınmakta, bu ortamlarda yaşayan ve bu çevreden beslenen hayvanlarda biyolojik birikime uğrayarak hayvan sağlığı için potansiyel risklere yol açmaktadır.

Kirleticiler, hayvanlarda davranış değişiklikleri, bağışıklık sisteminin düşmesi, üreme bozuklukları ve metabolik stres gibi ciddi sağlık sorun-

larına neden olarak hem hayvan refahını hem de ekonomik verimliliği düşürmektedir. Sadece hayvan sağlığı değil, hayvansal ürünler yolu ile kirleticilerin besin zincirine girmesi de sorunun, gıda güvenliği ve halk sağlığı riskini doğurmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak, çevresel kirlilik yükünün yönetimi, sadece mevzuat uyumluluğu değil, aynı zamanda sürdürülebilir ruminant yetiştiriciliği ve uzun vadeli gıda güvenliği için bir ön koşuldur. Çevre kirliliğinin hayvan sağlığı üzerindeki potansiyel etkisinin anlaşılması, bu konudaki farkındalığın artması ve kirliliğin etkisini azaltmak için müdahale sistemlerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu noktada hem hayvan hem de insan sağlığı üzerinde uzun vadeli geri dönüşü olmayan etkilerden kaçınmak için çevrenin korunması ve güvenliği hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, kirlilik kaynaklarının kontrolü ve hayvan sağlığının korunması için entegre ve sürdürülebilir bir yönetim şekli benimsenmelidir. Kirleticilerin çevresel ortamlardan hayvana ve hayvandan insana olan transferini doğru tahmin edebilen entegre risk değerlendirme modellerine ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abdallah, M.F., Xu, W. ve Abdeen, A. (2022). Editorial: Environmental contaminants and animal health: Analysis, toxicity, and mitigation. *Front. Vet., Sci.* 9:1102836.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1102836>.
- Abrahams, P.W. ve Steigmajer, J. (2003). Soil ingestion by sheep grazing the metal enriched floodplain soils of mid-Wales. *Environmental geochemistry and health*, 25(1), 17–24. <https://doi.org/10.1023/a:1021217402950>.
- Adebanjo-Aina, O. ve Oludoye, O. (2025). Impact of Nitrogen Fertiliser Usage in Agriculture on Water Quality. *Pollutants*, 5(3), 21. <https://doi.org/10.3390/pollutants5030021>.
- Aftab, K., Iqbal, S., Khan, M. R., Busquets, R., Noreen, R., Ahmad, N., Kazimi, S.G.T., Karami, A.M., Al Suliman, N.M.S. ve Ouladsmame, M. (2023). Wastewater-irrigated vegetables are a significant source of heavy metal contaminants: toxicity and health risks. *Molecules*, 28(3): 1371. <https://doi.org/10.3390/molecules28031371>
- Afzal, A. ve Mahreen, N. (2024). Emerging insights into the impacts of heavy metals exposure on health, reproductive and productive performance of livestock. *Front. Pharmacol.*, 15: 1375137. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1375137>.
- Ahmad, Md F., Ahmad, F.A., Alsayegh, Ab.A., Zeyaulah, Md., AlShahrani, A.M., Muzammil, K., Saati, A.A., Wahab, S., Elbendary, E.Y., Kambal, N., Abdelrahman, M.H. ve Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, 10(7), e29128, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128>.
- Alver, E., Demirci, A. ve Özçimder, M. (2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1): 45-52.
- Anetor, G.O., Nwobi, N.L., Igharo, G.O., Sonuga, O.O. ved Anetor, J.I. (2022). Environmental Pollutants and Oxidative Stress in Terrestrial and Aquatic Organisms: Examination of the Total Picture and Implications for Human Health. *Front. Physiol.*, 13:931386. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.931386>.
- Anonim. (2025). Environmental Pollution: Types, Causes, Consequences & More. <https://www.nextias.com/blog/environmental-pollution/> (Erişim tarihi: 30 Ekim 2025).
- Appelo, C.A.J. ve Postma, D. (2005). (Eds.), Geochemistry, Groundwater and Pollution. P (2nd edition), CRC Press, London 683 syf.
- Ashraf, M., Maah, M., Yusoff, I. ve Mehmood, K. (2010). Effects of polluted water irrigation on environment and health of people in Jamber, District Kasur, Pakistan. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 10: 37-57.

- Bates, N. ve Payne, J. (2017). Lead poisoning in cattle. *Livestock*, 22(4): 192-197, doi: 10.12968/live.2017.22.4.192
- Beaupied, B.L., Martinez, H., Martenies, S., McConnel, C.S., Pollack, I.B., Giardina, D., Fischer, E.V., Jathar, S., Duncan, C.G. ve Magzamen, S. (2022). Cows as canaries: The effects of ambient air pollution exposure on milk production and somatic cell count in dairy cows. *Environmental Research*, 207: 112197. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112197>.
- Boucher, J. ve Friot, D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources, 43, IUCN, Gland, Switzerland 10.2305/IUCN.CH.2017.01.en
- Bradl, H.B. (2005). Chapter 1 Sources and origins of heavy metal. Editor(s): H.B. Bradl. Interface Science and Technology, Elsevier. (Vol. 6, pp 1-27). [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(05\)80020-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80020-1).
- Brifa, J., Sinagra, E. ve Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- Buerge, I.J., Buser, H.R., Poiger, T. ve Muller, M.D. (2006). Occurrence and fate of the cytostatic drugs cyclophosphamide and ifosfamide in wastewater and surface waters. *Environ. Sci. Technol.* 40, 23, 7242-7250. <https://doi.org/10.1021/es0609405>.
- Buoio, E., Cialini, C. ve Costa, A. (2023). Air quality assessment in pig farming: the Italian classyfarm. *Animals*, 13(14): 2297. <https://doi.org/10.3390/ani13142297>.
- Camarero, L., Bacardit, M., de Diego, A. ve Arana, G. (2017). Decadal trends in atmospheric deposition in a high elevation station: Effects of climate and pollution on the long-range fux of metals and trace elements over SW Europe. *Atmos. Environ.*, 167, 542–552. 10.1016/j.atmosenv.2017.08.049.
- Carlin, J., Craig, C., Little, S., Donnelly, M., Fox, D., Zhai, L. ve Walters, L. (2020). Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts in birds of prey in Central Florida, USA. *Environ. Pollut.*, 264, 114633. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114633>.
- Chaudhari, Y.S., Kumar, P., Soni, S., Gacem, A., Kumar, V., Singh, S., Yadav, V.K., Dawane, V., Piplode, S., Jeon, B.H., Ibrahim, H.A., Hakami, R.A., Alotaibi, M.T., Abdellattif, M.H., Cabral-Pinto, M.M.S., Yadav, P. ve Yadav, K.K. (2023). An inclusive outlook on the fate and persistence of pesticides in the environment and integrated eco-technologies for their degradation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 466,116449, <https://doi.org/10.1016/j.taap.2023.116449>.
- Collas, C., Mahieu, M., Tricheur, A., Crini, N., Badot, P.M., Archimède, H., Rychen, G., Feidt, C. ve Jurjan, S. (2019). Cattle exposure to chlordecone through soil intakes. The case-study of tropical grazing practices in the French West Indies. *Sci. Total Environ.*, 668: 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.384>

- Dashtey, A. (2024). Fate and Transport of Heavy Metals in Soil, Surface Water, and Groundwater: Implications for Environmental Management. *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, 12(12), 202-215, <https://doi.org/10.18535/ijssrm/v12i12.c01>.
- Davis, J.G., Truman, C.C., Kim, S.C., Ascough, J.C. ve Carlson, K. (2006). Antibiotic transport via runoff and soil loss. *J Environ Qual.*, 35:6, 2250–2260, <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0348>.
- Diletti, G., Ceci, R., Ippoliti, C., Ferri, N., Marchi, E., Pirito, L. ve Scortichini, L. (2014). PCDD/F and DL-PCB transfer to milk in buffaloes exposed to contaminated feed. *Organohalogen Compd.*, 76: 1557-1560.
- Doruk, A.Y., Goker, H. ve Cihangir, N. (2018). Biodegradation of diclofenac with fungal strains. *Arch Environ Protect* 44(1):55–62, doi: 10.24425/118181.
- Earl, K., Sleight, H., Ashfield, N. ve Boxall, A.B.A. (2024). Are pharmaceutical residues in crops a threat to human health? *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 87(19), 773–791. <https://doi.org/10.1080/15287394.2024.2371418>
- Erhard, H. ve Rhind, S.M. (2004). Prenatal and postnatal exposure to environmental pollutants in sewage sludge alters emotional reactivity and exploratory behaviour in sheep. *Sci Total Environ.*, 332: 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.012>.
- Feo, M.L., Ginebreda, A., Eljarrat, E. ve Barceló, D. (2010). Presence of pyrethroid pesticides in water and sediments of Ebro River Delta. *Journal of Hydrology*, 393(3-4): 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.012>.
- Fowler, P.A., Dora, N., McFerran, H., Amezaga, M.R., Miller, D.W., Lea, R.G., Cash, P., McNeilly, A.S., Evans, N.P., Cotinot, C., Sharpe, R.M. ve Rhind, S.M. (2008). In-utero exposure to low doses of environmental pollutants disrupts fetal ovarian development in sheep. *Mol Hum Reprod.*, 14: 269-280. <https://doi.org/10.1093/molehr/gan020>.
- Ge, X., Khan, Z.I., Chen, F., Akhtar, M., Ahmad, K., Ejaz, A., Ashraf, M.A., Nadeem, M., Akhtar, S., Alkahtani, J., Dwiningsih, Y. ve Elshikh, M.S. (2022). A study on the contamination assessment, health risk and mobility of two heavy metals in the soil-plants-ruminants system of a typical agricultural region in the semi arid environment. *Environ Sci Pollut Res* 29(10): 14584-14594. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16756-4>.
- Giordano, M., Petropoulos, S.A. ve Roupael, Y. (2021). The Fate of Nitrogen from Soil to Plants: Influence of Agricultural Practices in Modern Agriculture. *Agriculture*, 11(10), 944. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100944>.
- Guvvala, P.R., Ravindra, J.P. ve Selvaraju, S. (2020). Impact of environmental contaminants on reproductive health of male domestic ruminants: a review. *Environ Sci. Pollut. Res.*, 27: 3819-3836. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06980-4>.
- Gworek, B., Kijeńska, M., Wrzosek, J. ve Graniewska, M. (2021). Pharmaceuticals in the Soil and Plant Environment: a Review. *Water Air Soil Pollut.*, 232,145. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04954-8>.

- Haque, F. ve Fan, C. (2023). Fate and Impacts of Microplastics in the Environment: Hydrosphere, Pedosphere, and Atmosphere. *Environments*, 10(5), 70. <https://doi.org/10.3390/environments10050070>
- Herath, I., Vithanage, M., ve Bundschuh, J. (2017). Antimony as a global dilemma: Geochemistry, mobility, fate, and transport. *Environmental Pollution*, 223, 545-559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.057>.
- Hombach-Klonisch, S., Danescu, A., Begum, F., Amezaga, M.R., Rhind, S.M., Sharpe, R.M., Evans, N.P., Bellingham, M., Cotinot, C., Mandon-Pepin, B., Fowler, P.A. ve Klonisch, T. (2013). Peri-conceptional changes in maternal exposure to sewage sludge chemicals disturbs fetal thyroid gland development in sheep. *Mol Cell Endocrinol.*, 367(1-2): 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2012.12.022>.
- Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E. ve Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments:Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci. Total Environ.*, 586,127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>.
- Hristov, S. ve Relić, R. (2001). Unpleasant odors and harmful gases in animal production (in Serbian). Proceedings of the XII DDD Conference in environmental protection with international participation. 23 - 26 May 2001, Banja Junaković - Apatin, 197-202.
- Hüffer, T., Metzelder, F., Sigmund, G., Slawek, S., Schmidt, T.C. ve Hofmann, T. (2019). Polyethylene microplastics influence the transport of organic contaminants in soil. *Sci. Total Environ.*, 657: 242-247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.047>.
- Jałowiecki, Ł., Płaza, G., Ejhed, H. ve Nawrotek, M. (2019) Aerobic biodegradation of norfoxacin and ofloxacin by a microbial consortium. *Arch Environ Protect.*, 45(4):40–47. doi 10.24425/aep.2019.130240.
- Domenech, J. ve Marcos, R. (2021). Pathways of human exposure to microplastics, and estimation of the total burden. *Current Opinion in Food Science*, 39, 144-151, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.01.004>.
- Kalyva, M. (2017). Fate of pharmaceuticals in the environment - A review- (Dissertation). Retrieved from <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-132995>
- Krametter-Froetscher, R., Tataruch, F., Hauser, S., Leschnik, M., Url, A. ve Baumgartner, W. (2007). Toxic effects seen in a herd of beef cattle following exposure to ash residues contaminated by lead and mercury. *Vet. J.*, 174(1): 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.03.008>.
- Kunst, C., Schmid, S., Michalski, M., Tümen, D., Buttenschön, J., Müller, M. ve Gülow, K. (2023). The influence of gut microbiota on oxidative stress and the immune system. *Biomedicines*, 11(5): 1388. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11051388>.
- Lackner, M. ve Branka, M. (2024). Microplastics in Farmed Animals—A Review. *Microplastics*, 3(4), 559-588. <https://doi.org/10.3390/microplastics3040035>.

- Li, W.C. (2014). Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. *Environmental Pollution*, 187, 193-201, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.01.015>.
- Liu, S., Ni, J., Radcliffe, J.S. ve Vonderohe, C. (2017). Hydrogen sulfide emissions from a swine building affected by dietary crude protein. *Journal of Environmental Management*, 204(1): 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.031>.
- Lind, P.M., Öberg, D., Larsson, S., Kyle, C.E., Örberg, J. ve Rhind, S.M. (2010). Ewes exposed to multiple endocrine disrupting pollutants through sewage sludge-fertilised pasture show an anti-estrogenic effect in their trabecular bone. *Sci Total Environ.*, 408: 2340-2346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.059>.
- Luoma, S. ve Rainbow, P. (2008). Metal Contamination in Aquatic Environments. Cambridge University Press. Cambridge. 129-141.
- Lushchak, V.I., Matviishyn, T.M., Husak, V.V., Storey, J.M. ve Storey, K.B. (2018). Pesticidetoxicity: a mechanistic approach. *EXCLI J.* 17, 1101–1136. <https://doi.org/10.17179/excli2018-1710>.
- Mahadappa, P., Krishnaswamy, N., Karunanidhi, M., Bhanuprakash, A.G., Bindhuja, B.V. ve Dey, S. (2020). Effect of plastic foreign body impaction on rumen function and heavy metal concentrations in various body fluids and tissues of buffaloes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 189: 109972. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109972>.
- Maji, S., Dwivedi, D.H., Singh, N., Kishor, S. ve Gond, M. (2020). Agricultural waste: its impact on environment and management approaches. In: Arora NK, editor. *Emerging Eco-Friendly Green Technologies for Wastewater Treatment*. Singapore: Springer, p.329–51. doi: 10.1007/978-981-15-1390-9_15
- Maremane, S.R., Belle, G.N., Oberholster, P.J. ve Omotola, E.O. (2025). Occurrence of selected COVID-19 drugs in surface water resources: A review of their sources, pathways, receptors, fate, ecotoxicity, and possible interactions with heavy metals in aquatic ecosystems. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02293-9>.
- Meijer, G.A.L., Bree, J., Wagenaar, J.A. ve Spoelstra, S.F. (1999). Sewerage overflows put production and fertility of dairy cows at risk. *J. Environ. Qual.*, 28(4): 1381-1383. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800040046x>
- Mengel, D. (2019). AY-204 Purdue Extension: West Lafayette. IN. USA. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/AY/AY-204.html> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2025).
- Moshayedi, A. J., Sohail Khan, A., Hu, J., Nawaz, A. ve Zhu, J. (2023). E-Nose-Driven Advancements in Ammonia Gas Detection: A Comprehensive Review from Traditional to Cutting-Edge Systems in Indoor to Outdoor Agriculture. *Sustainability*, 15(15), 11601. <https://doi.org/10.3390/su151511601>.

- Nakagawa, K., Imura, T. ve Berndtsson, R. (2022). Distribution of heavy metals and related health risks through soil ingestion in rural areas of western Japan. *Chemosphere*, 290:133316.. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133316.
- Narvaez, J.F. ve Jiménez, C. (2012). Pharmaceutical Products in The Environment: Sources, Effects and Risks. *Vitae*, 19(1), 92–108. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10865>.
- Ni, J.Q., Erasmus, M.A., Croney, C.C., Li, C. ve Li, Y. (2021). A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare-related air pollution. *Journal of Hazardous Materials*, 408: 124468. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124468>.
- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Ravenscroft, P., Burgess, W.G. ve Ahmed, K.M. (2000). Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal, *Applied Geochemistry*, 15(4), 403-413, [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00086-4).
- Özkara, A., Akyil, D. ve Konuk, M. (2016). Pesticides, Environmental Pollution, and Health. InTech. doi: 10.5772/63094.
- Özkan, O., Destek, M.A. ve Erdem, A. (2024). Assessing the environmental impact of fertilizer consumption in Turkey, *Science of The Total Environment*, 955, 177107, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177107>.
- Pal, M., Yirgalem, M., Anberber, M., Giro, B. ve Dasgupta, R. (2015). Impact of environmental pollution on animal health. *J. Nat. Hist.*, 11: 4-21.
- Parris, K. (2011). Impact of agriculture on water pollution in OECD Countries: Recent trends and future prospects. *Int. J. Water Resour. Dev.*, 27(1), 33-52. <https://doi.org/10.1080/07900627.2010.531898>
- Pathak, V.M., Verma, V.K., Rawat, B.S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., Dewali, S., Yadav, M., Kumari, R., Singh, S., Mohapatra, A., Pandey, V., Rana, N. ve Cunill, J.M. (2022). Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Front Microbiol.*, 13:962619. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>.
- Paudel, J. (2025). Fertile grounds: Navigating the environmental impact of fertilizer consumption. *European Review of Agricultural Economics*. jbaf033. <https://doi.org/10.1093/erae/jbaf033>.
- Peng, L., Fu, D., Qi, H., Lan, C.Q., Yu, H. ve Ge, C. (2020). Micro-and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats—a review. *Sci. Total Environ.* 698,134254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134254>.
- Pozzer, A., Tsimpidi, A. P., Karydis, V. A., de Meij, A. ve Lelieveld, J. (2017). Impact of agricultural emission reductions on fine-particulate matter and public health, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 12813–12826, <https://doi.org/10.5194/acp-17-12813-2017>.
- Qiao, P., Wang, S., Li, J., Zhao, Q., Wei, Y., Lei, M., Yang, J. ve Zhang, Z. (2023). Process, influencing factors, and simulation of the lateral transport of heavy metals in surface runoff in a mining area driven by rainfall: A

- review. *The Science of the total environment*, 857(Pt 1), 159119. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159119>.
- Ramachandraiah, K., Ameer, K., Jiang, G. ve Hong, G-P. 2022. Micro- and nanoplastic contamination in livestock production: Entry pathways, potential effects and analytical challenges. *Science of the Total Environment*, 844, 157234. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157234>.
- Rajmohan, K.S., Chandrasekaran, R. ve Varjani, S. (2020). A review on occurrence of pesticides in environment and current technologies for their remediation and management. *Indian J. Microbiol.* 60, 125–138. <https://doi.org/10.1007/s12088-019-00841-x>.
- Rasool, S., Rasool, T. ve Gani, K.M. (2022). A review of interactions of pesticides within various interfaces of intrinsic and organic residue amended soil environment. *Chem. Eng. J. Adv.* 11, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100301>.
- Relić, R. ve Đukić-Stojić, M. (2023). Influence of environmental pollution on animal behavior. *Contemporary Agriculture*, 72, 4, 216-223. <https://doi.org/10.2478/contagri-2023-0029>.
- Rhai, P.K. (2015). Particulate Matter and Its Size Fractionation. Biomagnetic. Chapter One – In book: Monitoring of Particulate Matter. Elsevier Science. pp.1-13.
- Rhind, S.M., Evans, N.P., Bellingham, M., Sharpe, R.M., Cotinot, C., Mandon-Pepin, B., Loup, B., Sinclair, K.D., Lea, R.G., Pocar, P., Fischer, B., van der Zalm, E., Hart, K., Schmidt, J.-S., Amezcaga, M.R. ve Fowler, P.A. (2010). Effects of environmental pollutants on the reproduction and welfare of ruminants. *Animal*, 4 (7):1227-1239, <https://doi.org/10.1017/S1751731110000595>.
- Ribeiro, I.M., Viana, A.G.A., Carvalho, R.P.R., Waddington, B. ve Machado-Neves, M. (2022). Could metal exposure affect sperm parameters of domestic ruminants? A meta-analysis. *Anim Reprod Sci.* 244: 107050. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107050>.
- Ritchie, H. 2021.“Excess fertilizer use: which countries cause environmental damage by overapplying fertilizers?” Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: ‘<https://archive.ourworldindata.org/20251125-173858/excess-fertilizer.html>’ [Online Resource] (Erişim tarihi: 20 Kasım 2025).
- Sangkachai, N., Gummow, B., Hayakijkosol, O., Suwanpakdee, S. ve Wiratsudakul, A. (2024). A review of risk factors at the human-animal-environmental interface of garbage dumps that are driving current and emerging zoonotic diseases. *One Health*, 19: 100915. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100915>
- Sani, A., Zungum, I.U., Imam, T.S. ve Daya, M.G. (2023). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content in singed edible ruminant hides and skins of animals from North-western Nigeria, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103:20, 8706-8717, <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1995726>

- Sanusi, I.O., Olutona, G.O., Wawata, I.G. ve Onohuean H. (2023). Occurrence, environmental impact and fate of pharmaceuticals in groundwater and surface water: a critical review. *Environ Sci Pollut Res.*, 30, 90595–90614. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28802-4>.
- Sekar, M., Mathimani, T., Alagumalai, A., Chi, N.T.L., Duc, P.A., Bhatia, S.K., Brindhadevi, K. ve Pugazhendhi, A. (2021) A review on the pyrolysis of algal biomass for biochar and bio-oil-bottlenecks and scope. *Fuel*. 283:119190. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119190 .
- Selvam, S., Jesuraja, K., Venkatramanan, S., Roy, P.D., ve Kumari, V.J. (2021). Hazardous microplastic characteristics and its role as a vector of heavy metal in groundwater and surface water of coastal South India. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123786. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123786>.
- Sharmin, S., Wang, Q., Islam, M. R., Wang, W., Wang, Y., Enyoh, C. E., & Rana, M. S. (2025). Assessment of Health Risks from Agricultural Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Across Different Land-Use Categories of Bangladesh. *Applied Sciences*, 15(1), 56. <https://doi.org/10.3390/app15010056>
- Shetty, S.S., Deepthi, D., Harshitha, S., Sonkusare, S., Naik, P.B., Kumari, N.S. ve Madhyastha, H. (2023). Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*, 9(9): e19496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>.
- Singh, B. ve Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Appl. Sci.* 3, 518. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>.
- Slivinska, L., Shcherbatyy, A., Lukashchuk, B. ve Guttyj, B. (2020). The state of antioxidant protection system in cows under the influence of heavy metals. *Regul. Mech. Biosyst.*, 11(2): 237-242. <https://doi.org/10.15421/022035>
- Subhadarsini Pradhan, S., Basana Gowda, G., Adak, T., Guru-Pirasanna-Pandi, G., Patil, N.B., Annamalai, M. ve Chandra Rath, P. (2022). Pesticides occurrence in water sources and decontamination techniques. In: Larramendy, M.L., Soloneski, S. (Eds.), *Pesticides - Updates on Toxicity, Efficacy and Risk Assessment*. IntechOpen, Rijeka. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103812> p. Ch. 13.
- Sun, X., Wang, H., Guo, Z., Lu, P., Song, F., Liu, L., Rose, N.L. ve Wang, F. (2020). Positive matrix factorization on source apportionment for typical pollutants in different environmental media: a review. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(2): 239-255. doi: 10.1039/C9EM00529C
- Sun, K., Song, Y., He, F., Jing, M., Tang, J. ve Liu, R. (2021). A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics. *Science of The Total Environment*, 773: 145403, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145403>.

- Şahin, T., Dalğa, S., ve Ölmez, M. (2022). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Their Importance in Animal Nutrition. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.101816
- Tahir, I. ve Alkheraije, K.A. (2023). A review of important heavy metals toxicity with special emphasis on nephrotoxicity and its management in cattle. *Front. Vet. Sci.*, 10:1149720. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1149720>.
- Tao, S., Liu, W.X., Li, X.Q., Zhou, D.X., Li, X., Yang, Y.F., Yue, D.P. ve Coveney, R.M. (2009). Organochlorine pesticide residuals in chickens and eggs at a poultry farm in Beijing, China. *Environmental pollution (Barking, Essex:1987)*, 157(2), 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.005>.
- Thiele-Bruhn, S. (2003). Pharmaceutical antibiotic compounds in soils—a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(2), 145-167. <https://doi.org/10.1002/jpln.200390023>.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C. ve Phung, D.T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3):1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>.
- Uguru, H., Efeoghene, E. A., Issac, A. O., Sami, R., Baakdah, F. ve Pareek, S. (2024). Exposure to airborne pollutants in urban and rural areas: levels of metals and microorganisms in PM₁₀ and gaseous pollutants in ambient air. In book: *Air Quality, Atmosphere and Health* (Springer: New York), 10.
- Ukaogo, P.O., Ewuzie, U. ve Onwuka, C.V. 2020. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. In book: *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, Editor(s): Pankaj Chowdhary, Abhay Raj, Digvijay Verma, Yusuf Akhter, Elsevier, pp. 419-429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>.
- Umar, S., Munir, M.T., Azeem, T., Ali, S., Umar, W., Rehman, A. ve Shah, M.A. (2014). Effects of water quality on pro-ductivity and performance of livestock: A mini review. *Veterinaria*, 2(2): 11-15. <http://thesciencepublishers.com/veterinaria/v2i2abstract3.html>.
- Wang, M., Wang, X., Cui, W., Zhu, G., Liang, Y., Chen, X. ve Jin, T. (2022). The association between hemoglobin level and osteoporosis in a Chinese population with environmental lead and cadmium exposure. *Environ. Geochem. Health*, 44: 1673-1682. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01129-0>.
- Wang, Z., Sun, Y., Yao, W., Ba, Q. ve Wang, H. (2021). Effects of cadmium exposure on the immune system and immunoregulation. *Front. Immunol.*, 12: 695484. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.695484>.
- World Health Organization. (2025). <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2025).
- Wrzecińska, M., Kowalczyk, A., Cwynar, P. ve Czerniawska-Piątkowska, E. (2021). Disorders of the Reproductive Health of Cattle as a Response to Exposure to Toxic Metals. *Biology*, 10(9), 882. <https://doi.org/10.3390/biology10090882>.

- Yang, Y.Y., Gray, J.L., Furlong, E.T., Davis, J.G., Revello, R.C. ve Borch, T. (2012). Steroid hormone runoff from agricultural test plots applied with municipal biosolids. *Environ Sci Technol.*, 46(5):2746–2754. <https://doi.org/10.1021/es203896t>.
- Zeng, J., Tabelin, C. B., Gao, W., Tang, L., Luo, X., Ke, W., Jiang, J. ve Xue, S. (2023). Heterogeneous distributions of heavy metals in the soil-groundwater system empower the knowledge of the pollution migration at a smelting site. *Chemical Engineering Journal*, 454, 140307. 10.1016/j.cej.2022.140307.
- Zhang, X., Davidson, E., Mauzerall, D., Searchinger, T.D., Dumas, P. ve Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51–59 <https://doi.org/10.1038/nature15743>.
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S. ve Sillanpää, M. (2019). Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. (*Barking, Essex:1987*), 254(Pt A), 112953. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>.
- Zhou, Y. L., Sun, L., Cheng, Q. M., Li, Y. C., Chen, J. X., Zhao, B., Qian, C., Li, B., Yu, H.R., Liu, M., Wang, X.L., Jia, Y.S. ve Du, S. (2022). Effect of pelleted alfalfa or native grass total mixed ration on the rumen bacterial community and growth performance of lambs on the Mongolian Plateau. *Small Rumin. Res.*, 207: 106610. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106610>.

Bölüm 7

HİDROPONİK YEŞİL YEM: ALTERNATİF BİR YEM KAYNAĞI

Şükrü Sezgi ÖZKAN¹, Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU²

1 Doç. Dr., Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir

sukru.sezgi.ozkan@ege.edu.tr

ORCID: 0000-0001-5989-0384

2 Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir

gulcan.demiroglu.topcu@ege.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5978-4183

Giriş

Yeşil yem, hayvancılıkta rasyonun biyolojik ve ekonomik sürdürülebilirliğini belirleyen temel girdilerden biri kabul edilmektedir (Hynd, 2019). Bu çerçevede hidroponik yeşil yem üretimi, klasik tarla üretiminin arazi, su ve iklim bağımlılığı nedeniyle yetersiz kaldığı koşullarda alternatif bir tedarik yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle küresel ısınmanın yem bitkisi üretimini baskıladığı, yeşil yem arzının süreklilik göstermediği bazı Orta Doğu, Asya ve Afrika ülkelerinde hidroponik sistemlere yönelik ilgi hızla yükselmektedir (Shit, 2019; Gumisiriza ve ark., 2020). Tahıllar, yağlı tohumlar ve baklagiller gibi girdilerin yem amaçlı üretimini genişletmek ise artan nüfus ve arazi baskısı altında birçok bölgede uygulanabilir bir seçenek olmaktan uzaklaşmaktadır.

“Hidroponik” terimi, Yunanca kökenli iki sözcüğün birleşiminden türemiş olup “su” (hydro) ve “iş/çalışma” (ponic/ponos) anlamlarını taşımaktadır. Bu nedenle uygulama, bitkinin topraksız bir ortamda yetiştirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Mason, 1996). Hayvancılık çalışmalarında yöntem “filizlenmiş yem” ya da daha dar anlamıyla “filizlenmiş tahlıl” olarak da anılmaktadır. Üretim mantığı, çevresel koşulların kontrol edilebildiği sera benzeri ortamlarda tohumların kısa sürede çimlendirilmesine ve biyokütleye dönüştürülmesine dayanmaktadır (Morgan, 2021). Bu yaklaşım yalnızca basit bir çimlendirme işlemi değildir. Kontrollü çevre yönetimi üzerinden çalışan kısa döngülü bir biyokütle üretim disiplini ifade etmektedir.

Hidroponik yem uygulamalarının kökeni 19. yüzyıla ve daha öncesine uzanmaktadır. Tarihsel anlatılarda kış mevsiminde filizlenmiş tohumların hayvanlara verilmesinin verimlilik amacıyla kullanıldığına ilişkin örnekler yer almaktadır (Kerr ve Conway, 2014; Anonymous, 2008). Güncel ilgi ise nostaljiden çok üretim sistemleri üzerindeki yapısal baskılarla ilişkilidir. Yem tedarikinde süreklilik arayışı, hidroponik üretimi yeniden görünür kılmıştır.

Bazı kaynaklar hidroponik yem üretimini “ilkel” bir teknik olarak nitelemiştir (Bakshi ve ark., 2017). Bu değerlendirme, prensibin basitliğine işaret etse de uygulamadaki yönetim gerekliliklerini gözlemlemelidir. Çünkü sistem 7-10 gün gibi kısa bir sürede yeşil biyokütle oluşturmayı hedeflerken, su kalitesi, pH, sulama rejimi, ıslatma süresi, tohum yoğunluğu, sıcaklık, nem, ışık yönetimi ve yetiştirme süresi gibi çok sayıda değişkenin birlikte yönetilmesini gerektirmektedir (Baytekin, 2015; Farghaly ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019; Karaşahin, 2014). Dolayısıyla başarı, tek bir adımın doğruluğundan çok parametrelerin birlikte standardizasyonuna direkt bağlıdır.

Üretim yalnız suyla veya besince zengin çözeltilerle yapılabilmektedir. Ancak besin çözeltisi zorunlu değildir. Ağır metal içermeyen içme suyu ile de üretim yapılabilmektedir (Farghaly ve ark., 2019). Bitkilerin doğrudan kök bölgesinden beslendiği bu üretim yönteminde toprak kökenli zararlı ve yabancı ot bulaşıklığı riski çoğu durumda düşebilmektedir. Bu özellik yöntemin kendiliğinden güvenli olduğu anlamına gelmemektedir. Ancak doğru yönetildiğinde belirli kontaminasyon yollarını azaltma potansiyeline işaret etmektedir.

Hidroponik koşullarda üretilen bitki türleri oldukça çeşitlilik göstermektedir. Tahıllar (arpa, buğday, çavdar, yulaf, tritikale, mısır, darı) başat grubu oluşturmaktadır (Ozkan, 2022; Ozkan, 2023). Bunun yanında yonca, fiğ, mercimek, ayçiçeği ve krotalarya gibi türlerin de kontrollü çimlendirme ile üretilbildiği belirtilmektedir (Sneath ve McIntosh, 2003; Jemimah ve ark., 2015; Ozkan, 2023; Ozkan, 2025). Tür karışımlarına dayalı uygulamalar da bulunmaktadır (Akman ve ark., 2021; Ozdemir ve Temur, 2022; Ozkan, 2025). Buna karşın sahada çoğunlukla saf arpa tercih edilmektedir. Arpa tohumu kuru tarım koşullarında üretilbilmesi, kolay temin edilebilirliği, görece düşük maliyeti ve uygun besin profiliyle öne çıkmaktadır.

Uygun sıcaklık, nem ve ışık koşullarında 1 kg tohumdan yaklaşık 6-10 kg yeşil yem elde edilebilmektedir (Jemimah ve ark., 2018; Wootton-Bear, 2019; Dogrusoz, 2022). Ürün genellikle tohumların oluşturduğu mat yapı üzerinde gelişen kök ve sürgünlerden oluşmakta ve yaklaşık 20-30 cm boya ulaşabilmektedir. Bu fiziksel form hayvanlar tarafından istekle tüketilse de yöntemin temel avantajı taze biyokütle miktarından ziyade yıl boyu üretilbilirlik ve arazi kısıtı altında tedarik sürekliliği sağlamasıdır (Naik ve ark., 2015; Girma ve Gebremariam, 2018).

Ekonomik boyutta bazı çalışmalar hidroponik sistemlerle yem maliyetlerinde %35-45 düzeyinde azalma görülebildiğini ileri sürmektedir (Atici, 2012; Karaşahin, 2014; Baytekin, 2015; Sulser, 2015). Buna göre yeşil yemin kuru ota göre yaklaşık üçte bir, yoncaya göre ise yaklaşık yedide bir maliyet düzeyine ineildiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte bu sonuçlar sistem ölçeği, otomasyon düzeyi, enerji girdisi, tohum maliyeti ve işletme yönetimine yüksek derecede duyarlıdır. Bu nedenle ekonomik değerlendirmede yönetsel sınırların açık biçimde ortaya konması gerekmektedir.

Hidroponik yem üretiminin kapasitesi işletmeye kurulan sistemin büyüklüğüne ve otomasyon düzeyine göre değişiklik göstermektedir. Tam otomatik makine sistemleriyle üretim yapılabilmekte ve farklı kapasite seçenekleri bulunmaktadır (Al Ajmi ve ark., 2009; Ozcan, 2015). Ancak

sistemin makineleşmesi yönetim sorumluluğunu ortadan kaldırmamaktadır. Aksine kalite standardizasyonu için tohum ve su kalitesi, pH, sulama süresi ve sıklığı, ıslatma süresi, besin çözeltisi kullanımı, sıcaklık, nem, ışık şiddeti, tohum yoğunluğu ve yetiştirme süresinin disiplinli biçimde izlenmesi gerekmektedir (Karaşahin, 2014; Ozkan, 2022). Başka bir ifadeyle hidroponik üretimde başarının kurulumdan çok protokole bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Hidroponik Yeşil Yem Üretiminde Temel İlkeler

Hidroponik yeşil yem üretimi, tahıl, baklagil ve benzeri tohumların katı bir yetiştirme ortamı kullanılmaksızın kontrollü nem, sıcaklık, ışık ve gerekirse besin çözeltileri altında kısa döngüde çimlendirilmesi prensibine dayanmaktadır (Ozkan, 2022). Sistem, geleneksel yem üretimine göre farkı bir tarla değil, kontrollü çevre yönetimi gerektirmektedir. Bu nedenle başarı, bitki türünden önce tohum kalitesi, hijyen disiplini ve çevre parametrelerinin standardizasyonu ile belirlenmektedir (Naik ve ark., 2014; Hynd, 2019).

Hidroponik üretimde maliyet yapısı konvansiyonel sistemlere benze-memektedir. Toplam gider içinde tohum maliyeti çoğu sistemde belirleyici kalemdir ve bazı örneklerde %85-90 düzeylerine kadar çıktığı ifade edilmektedir (Naik ve ark., 2014; Jemimah ve ark., 2015). Bu çerçevede tohum yalnız bir girdi olarak görülmemelidir. Çünkü, üretim kalitesini ve mikrobiyal güvenliği belirleyen ana değişkendir. Bu nedenle temiz, dolgun, kırık-çatlak içermeyen, işlem görmemiş ve yüksek çimlenme gücüne sahip tohum temini temel bir koşuldur (Cuddeford, 1989; Naik ve ark., 2015; Hynd, 2019). Fungusit ve pestisit ile muamele edilmiş tohumlar kullanılmamalıdır. Üretim döngüsünün hiçbir aşamasında ise bu tür kimyasallar devreye sokulmamalıdır. Kalıntı riskinin hem hayvan sağlığını hem de hayvansal ürün güvenliğini doğrudan tehdit edebileceği unutulmamalıdır.

Hidroponik üretimde sık yapılan hatalardan biri hijyeni ek bir işlem gibi görmektir. Oysa hijyen, sistemin taşıyıcı kolonudur. Üretim öncesinde tohumlar yabancı materyalden arındırılmalıdır. Çimlenme gücü test edilerek düşük kaliteli fraksiyon ayrılmalıdır. Ardından içme suyu ile yoğun yıkama yapılarak kir ve düşük kaliteli taneler uzaklaştırılmalıdır (Ozkan, 2022).

Tohumların yüzey kaynaklı patojen yükünü azaltmak amacıyla hidrojen peroksit (%1-2) veya sodyum hipoklorit (%0,1-1,5) çözeltilerinde 30-60 dakika bekletme uygulamaları önerilmektedir (Jemimah ve ark., 2015; Jeton, 2016). Bu işlemten sonra tohumlar içme suyu ile yeniden

yıkanmalıdır. Dezenfektanın taşınmasına ve sistemde birikmesine izin verilmemelidir. Dezenfeksiyonun titizlikle yapılmaması kadar kullanılan kimyasal miktarının rastgele artırılması da risk taşımaktadır. Hidropo-nik üretim kontrol ve standardizasyon gerektirmektedir.

Tohumların dezenfeksiyon sonrasında kabuk kalınlığı ve sertliğine göre değişen sürelerde suda bekletilmesi tavsiye edilmektedir. Yapılan çalışmalarda 4 saatten 24 saate uzanan aralıklar yer almaktadır. Bazı araştırmacılar ise tohumları 12-16 saat veya gece boyunca suda bekletmeye özellikle vurgu yapmaktadır (Al-Karaki ve Al-Momani, 2011; Sinsinwar ve ark., 2012; Naik ve ark., 2014; Reddy, 2014; Jeton, 2016; Brownin, 2017). Burada hedef süreyi uzatmak değil, su sıcaklığı ve mikrobiyal riskle bir-likte doğru koşulu yakalamaktır. Öte yandan, çimlenme başarısında su sıcaklığı belirleyicidir. Yüksek çimlenme için 22-23 °C düzeyi önerilmek-tedir (Sneath ve McIntosh, 2003). Oda sıcaklığının belirgin üzerindeki su sıcaklıkları ise, özellikle hijyen disiplini zayıf sistemlerde hastalık etmen-lerinin çoğalmasını hızlandırabilmektedir. Bu nedenle sıcaklık yönetimi ıslatma süresinden bağımsız ele alınmamalıdır.

Islatma tamamlandıktan sonra tohumlar geciktirilmeden tepsilere serilmelidir. Tepsilerde amaç, homojen çimlenmeyi destekleyecek biçim-de yaklaşık 2-3 cm kalınlıkta bir tohum tabakası oluşturmaktır (Ozkan, 2022). Drenajı kolaylaştırmak ve atık su veya besin çözeltisini toplamak için delikli tepsi tasarımlarının tercih edilmesi tavsiye edilmektedir. Böy-lece sıvı bir tankta toplanmakta ve gerekiyorsa geri döngüye alınabilmek-tedir.

Tohum miktarı türden türe değişiklik göstermekte ve üretimin hem ve-rimini hem de mikrobiyal güvenliğini belirlemektedir. Arpa, buğday ve sorgum için 4-6 kg/m² aralığı önerilmektedir. Mısır için ise 6.5-7.5 kg/m² aralığı üzerinde durulmaktadır (Al-Karaki ve Al-Momani, 2011; Jeton, 2016; Naik ve Singh, 2013; Naik, 2014; Naik ve ark., 2017). Tohum yo-ğunluğunu ölçsüz artırmak kısa vadede taze verimi yükseltse bile hava akışını düşürerek küf riskini arttırmaktadır. Bu nedenle yoğunluk ayarı maksimum verim hedefiyle değil, sürdürülebilir kalite standardıyla ya-pılmalıdır.

Tepsi boyutu ve kapasitesi standardizasyon açısından önem taşımak-tadır. Yaklaşık 50×80×5 cm tepsilerde 1-1.5 kg tohum kullanımıyla 6-8 kg yeşil yem elde edilebilmektedir. Plastik tepsiler hafiflik nedeniyle yaygın kullanılmaktadır. Ancak bu materyaller çevresel koşullarla deformasyon riski taşımaktadır. Paslanmaz metal tepsiler ise uzun ömürlülük bakı-mından daha rasyonel bir seçenek oluşturmaktadır. Kullanılan tepsiler

her döngü öncesi ve sonrası temizlenmeli, uygun dezenfektanla yıkanmalı ve kalıntı bırakmadan durulanmalıdır.

Dikey raf sistemlerinde tepsiler arası mesafe yalnız ergonomi için belirlenmemektedir. Hava dolaşımı ve hasat gününe doğru artan biyokütle nin üst tepsiye temas etmemesi de dikkate alınmalıdır. Bitkinin tepsi üstüne temas etmesi mikro iklimde nem birikimini artırmakta ve küf gelişimini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle raf tasarımı maksimum tepsi mantığıyla değil, minimum risk mantığıyla ele alınmalıdır.

Çimlenme ve büyüme sürecinde hedef, tohum ve filizlerin nemli kalmasıdır. Ancak tepsilerde su birikimine izin verilmemelidir. Sulama basit sistemlerde hortumla yapılabilmektedir. Gelişmiş sistemlerde ise çoğunlukla sisleme şeklinde uygulanmaktadır. Döngüsel su kullanımı tercih ediliyorsa mikrobiyal yük birikimini sınırlamak için su belirli periyotlarla yenilenmelidir. Örneğin haftada iki kez su değişiminin yapılması faydalıdır. Burada kritik nokta, su yönetiminin tasarruf gereğiyle hijyenin önüne geçirilmemesidir.

Bitki beslemede 17 elementin gerekli olduğu kabul edilmektedir (Salisbury ve Ross, 1992). Bu elementler C, H, O, N, P, K, Ca, Fe, Mg, Cu, S, B, Cl, Mn, Mo, Zn ve Ni'dir. Buna ek olarak bazı elementler büyümeyi teşvik etme veya toksisiteyi azaltma gibi rollerle yararlı sınıfta değerlendirilmektedir (Trejo-Téllez ve ark., 2007). Hidroponik sistemlerde besin çözeltileri sık kullanılmaktadır. Buna karşın zorunlu olmadığı unutulmamalıdır. Çözeltinin bileşimi pH, EC ve ozmotik potansiyeli belirlediği için içme suyu yerine uygun çözeltiyle üretimde verim ve kalite artışı sağlamaktadır (Taiz ve Zeiger, 1998). Burada üstünlük çözeltinin varlığı değil, çözeltinin doğru yönetimi ve çevre parametreleriyle uyumudur.

Çevresel değişkenler yem kalitesi ve mikrobiyal güvenlik açısından doğrudan belirleyicidir. Uygun sıcaklık $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ düzeyindedir. Bağlı nem için %60-65 aralığı hedeflenmelidir. Işık şiddeti yaklaşık 2.000 lüks olarak önerilmektedir. Aydınlatma süresi ise 12-16 saat aralığında tutulmalıdır. Periyodik havalandırma için 2-3 saatte bir 5-10 dakika yaklaşımı önerilmektedir (El-Deeba ve ark., 2009; Naik, 2014; Jeton, 2016; Hynd, 2019). Bazı özel koşullarda yeşil gölgeleme ağlarıyla aşırı ısınma ve yaprak sararması sınırlandırılabilir. Ancak ışık azaltılırken fotosentezin baskılanmaması ve havalandırmanın zayıflatılmaması gerekmektedir.

Hidroponik arpada besin içeriğinin en yüksek düzeye yaklaştığı suda bekletme uygulamasından sonra hasat zamanının ekimden sonraki yaklaşık 6. gün civarında olduğu ifade edilmektedir (Heins ve ark., 2015). Bu nedenle üretim döngüsü çoğu işletmede 7 gün civarında tamamlanmaktadır. Döngü sonunda tepsiler bir sonraki üretime geçmeden önce

dezenfekte edilmektedir. Bu uygulama, kontaminasyonun sistem içinde taşınmasını önlemek açısından temel bir güvenlik adımıdır.

Hidroponik sistemlerde kötü yönetimin tipik ve en yıkıcı sonucu küf oluşumudur. Küflü yem tüketimi hayvan performansını düşürmektedir. Ağır olgularda zehirlenme ve ölümle sonuçlanabilen tablolar görülebilmektedir (Myers, 1974). Bu nedenle üretim disiplindeki herhangi bir ihmal yalnız kaliteyi değil, sürü sağlığını, ürün güvenliğini ve işletme ekonomisini doğrudan etkileyen sistemik bir riske dönüşebilmektedir. Hidroponik üretim kolay bir üretim olmayıp özellikle hata toleransı düşüktür. Düzgün yönetilemeyen sistemde ekonomik kayıplar kaçınılmazdır.

Hidroponik Yeşil Yemin Besin Değerleri

“Hidroponik” kavramı, bitkilerin toprak yerine besin elementleriyle zenginleştirilmiş sulu çözeltiler üzerinde yetiştirildiği üretim tekniğini ifade etmektedir (Hoagland ve Arnon, 1950). Başlangıçta bahçe ve süs bitkilerinde yaygınlaşan bu yaklaşım, son yıllarda ruminantlarda kaba yem arzındaki süreksizlikleri dengelemek amacıyla “hidroponik yeşil yem” üretimi bağlamında yeniden önem kazanmıştır (Pastorelli ve ark., 2024). Bu sistemlerde üretim döngüsü çoğu uygulamada 7-10 gün içinde tamamlanmaktadır. Hızlı biyokütle oluşumu sayesinde taze ürün elde edilirken su kullanımının belirgin biçimde düşebildiğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Naik ve ark., 2015; Masucci ve ark., 2024).

Hidroponik yem üretiminde farklı bitki türleri kullanılabilir. Ancak uygulamada tahıllar belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Arpa (Reddy ve ark., 1988), buğday, yulaf (Snow ve ark., 2008) ve sorgum en çok değerlendirilen türlerdendir. Ayrıca yonca, börülce (Al-Karaki ve Al Hashimi, 2012), mısır (Naik ve ark., 2011; Naik ve ark., 2012) ve krotalar-ya (Jemimah ve ark., 2015; Ozkan, 2025) bitkileri de hidroponik yeşil yem üretimi amacıyla kullanılabilir. Tür seçimi çoğu zaman teknik bir tercihten öte, bölgesel agro iklimatik uygunluk, üretim altyapısı ve sürdürülebilir tohum teminiyle sınırlandırılan stratejik bir karardır.

Hidroponik yeşil yemin besleme değerini belirleyen ana mekanizma, çimlenme sırasında depo besinlerin yeniden düzenlenmesidir. Filizlenme boyunca enzimatik aktivite artmaktadır. Nişasta daha çözünebilir şeker fraksiyonlarına parçalanmaktadır. Protein ve lipid fraksiyonları daha küçük ve biyoyararlanımı yüksek bileşenlere ayrılma eğilimi göstermektedir (Sneath ve McIntosh, 2003; Pandey ve Pathak, 1991). Bu dönüşüm, organik madde ve kuru madde yoğunluğunda düşüşe yol açabilmektedir. Bu nedenle filizlerin kuru madde esasındaki enerji değeri çoğu koşulda

tohuma göre daha düşük bulunmaktadır (Sneath ve McIntosh, 2003; Farghaly ve ark., 2019). Bu nokta pratikte kritik bir gerçeğe karşılık gelmemektedir. Hidroponik yem taze verimi yüksek bir ürün olsa da kuru madde yoğunluğu sınırlı kaldığı için rasyon enerji planlamasında dikkatli yönetilmelidir.

Buna karşılık bitki büyüdükçe yapısal lipitler ve klorofil birikimi artmaktadır. Bu eğilim hidroponik biyokütlerde ham yağ düzeyinin yükselmesine katkı verebilmektedir. Aynı süreçte yapısal karbonhidratların gelişmesiyle NDF, ADF ve ham selüloz fraksiyonlarında artış görülebilmektedir. Bu artış çoğu kez azotsuz öz madde fraksiyonunda relatif azalma ile birlikte seyretmektedir (Sneath ve McIntosh, 2003). Dolayısıyla hidroponik yemin yüksek sindirilebilir olarak tanımlanması her koşulda lifin düşük olduğu anlamına gelmemektedir. Lif fraksiyonları üretim protokolüne ve büyüme gününe göre yön değiştirebilmektedir.

Hidroponik yemler çoğu zaman lezzetlilik ve ruminal parçalanabilirlik bakımından avantajlı kabul edilmektedir. Filizlerin rumen ortamında kırılmış tohuma göre daha kolay parçalanabildiği ifade edilmektedir (Dung ve ark., 2010; Kumar, 2019). Ayrıca sürgün dokusunun kök matrisine kıyasla rumende daha hızlı bozulma eğilimi gösterebildiği belirtilmektedir (Dung ve ark., 2010; Kumar, 2019). Bu çerçevede ruminantlara sunumda yaprak ve sürgün fraksiyonunun artırılması rasyonel bir yaklaşım oluşturmaktadır. Rasyonun uygun kaba yem matrisiyle dengelenmesi de önem taşımaktadır. Hidroponik arpa için sindirilebilirlik değerleri ile ham protein, kuru madde ve metabolize olabilir enerji açısından geniş aralıklarda verilen sonuçlar bulunmaktadır (Cuddeford, 1989; Akbag ve ark., 2014; Kilic, 2016). Bununla birlikte hidroponik yemlerin kimyasal bileşimi yetiştirme koşullarına yüksek derecede duyarlılık göstermektedir. Bu nedenle tek bir değer setiyle evrensel besin kompozisyonu iddiası metodolojik olarak zayıf kalmaktadır (Fazaeli ve ark., 2011).

Yapılan çalışmalar, hidroponik yeşil yemin taze esasına göre düşük kuru madde içerdiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın kuru madde üzerinden ham protein ve enerji yoğunluğunun ruminant beslenmesi için çoğu durumda kabul edilebilir aralıklarda seyrettiği belirtilmektedir (Fazaeli ve ark., 2021; Pastorelli ve ark., 2024). Ayrıca çimlenme sürecinde mineral konsantrasyonlarında artış eğilimine işaret eden çalışmalar da bulunmaktadır (Girma ve Gebremariam, 2018). Bu artışın bir bölümü, dördüncü günden itibaren kök sisteminin güçlenmesi ve mineral alım dinamiklerinin hızlanmasıyla ilişkilendirilmektedir (Girma ve Gebremariam, 2018).

Hidroponik filizler, özellikle C ve E vitamini gibi mikro besinler ile enzimatik bileşikler bakımından zenginleşme söylemiyle sık gündeme gelmektedir (Shit, 2019; Sneath ve McIntosh, 2003). Filizlerin enzim yoğunluğunun çimlenme dönemini izleyen yaklaşık bir haftaya kadar yüksek kaldığı belirtilmektedir (Sneath ve McIntosh, 2003; Almuhayawi ve ark., 2021). Sindirim enzimlerinin, örneğin amilolitik aktivitenin, potansiyel biyolojik işlevler açısından önem taşıdığı da vurgulanmaktadır (Sneath ve McIntosh, 2003; Almuhayawi ve ark., 2021). Bununla birlikte bu bileşenlerin varlığı tek başına performans artışı garantisi vermemektedir. Etkiler rasyonun bütüncül kompozisyonuna, tüketim düzeyine ve üretim dönemine bağlı olarak değişmektedir. Yetiştirici gözlemlerinde süt verimi, döl verimi ve genel sağlıkta iyileşme iddiaları yer alsa da (Anonymous, 2012), bu bulguların kontrollü denemelerle ayrıştırılması gerekmektedir.

Hidroponik üretimin önemli bir biyokimyasal çıktısı ise, depo bileşenleriyle birlikte antibesinsel faktör profilinin değişebilmesidir. Tohumlardaki fitik asit, özellikle Ca ve Fe gibi minerallerle çözünmeyen kompleksler oluşturarak biyoyararlanımı sınırlayabilmektedir. Çimlenme ile fitik asit düzeyinin düştüğünü bilinmektedir (Naik ve ark., 2012; Girma ve Gebremariam, 2018; Xia ve ark., 2020; Bhattacharya ve Laxmi, 2021). Ayrıca çimlenme sırasında artan enzimatik aktivite bazı istenmeyen bileşenlerin azalmasına katkı sağlayabilmektedir (Chavan ve ark., 1989; Sneath ve McIntosh, 2003; Salisbury ve Ross, 1992; Shipard, 2005). Burada dikkat edilmesi gereken nokta, antibesinsel faktörlerin azalması olumlu bir sinyal olsa da, rasyonun yapısal lif ve kuru madde yeterliliği gibi temel sınırlılıkları tek başına ortadan kaldırmamaktadır.

Hidroponik yeşil yem çoğu uygulamada tohum, kök ve sürgün bütünlüğü ile tüketilmektedir ve bu bütün yapı pratikte yüksek yenilebilirlik sağlayabilmektedir (Pandey ve Pathak, 1991). Ancak fiziksel form tüketim davranışını etkileyebilmektedir. Mat yoğunluğu, kök matris oranı ve sürgün uzunluğu bu açıdan önem taşımaktadır. Bu nedenle yalnız kimyasal kompozisyon değil, sunum formu da rasyon performansında belirleyici rol oynamaktadır.

Hidroponik Yeşil Yemin Hayvan Beslemede Kullanımı

Büyükbaş hayvanlarda hidroponik yeşil yem kullanımı çoğunlukla süt verimi, süt kompozisyonu, yemden yararlanma ve çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinde ele alınmaktadır. Çalışmaların önemli bir kısmı, hidroponik arpa ve mısır filizlerinin geleneksel kaba ve kesif yemlerin kısmi ikamesi şeklinde rasyonlara dâhil edilmesini değerlendirmektedir. Bu çalışmalar, hidroponik arpa ile yapılan ikamenin süt yağı konsant-

rasyonunda sınırlı fakat istikrarlı artışlar sağlayabildiğini göstermektedir. Buna karşılık süt proteini ve laktoz düzeyleri çoğu durumda belirgin biçimde değişmemektedir (Agius ve ark., 2019). Bu durum, hidroponik yemin süt kompozisyonunun belirli fraksiyonlarını daha seçici biçimde etkileyebileceğini göstermektedir.

Güncel çalışmalar, hidroponik filizlerin yemden yararlanma etkinliği üzerindeki rolüne odaklanmaktadır. Zang ve ark. (2024), geleneksel keşif yemlerin %10'unun hidroponik arpa veya buğday filizi ile ikame edilmesinin süt verimini baskılamadığını ve filizlenmiş arpanın ECM/DMI oranını artırarak yemden yararlanmayı iyileştirdiği öne sürmektedir. Bununla birlikte filizlenmiş buğdayın sindirilebilirlik avantajı sağlasa da canlı ağırlık artışını daha belirgin biçimde desteklediği vurgulanmaktadır. Bu bulgular, etkinin kullanılan tahıl türüne göre farklılaşabildiğini göstermektedir.

Rasyonun besin madde dengesi, hidroponik yeme verilen yanıtı belirleyen temel faktörlerdendir. Wu ve ark. (2024), hidroponik arpanın yeterli ham protein düzeyine sahip rasyonlarda süt verimi ve süt protein çıktısını artırabildiğini saptamıştır. Buna karşın protein düzeyi düşük diyetlerde kuru madde tüketiminde düşüş görülebileceği belirtilmiştir. Benzer biçimde Fazaeli ve ark. (2021), hidroponik arpanın rasyon kuru maddesinin %10-20'si düzeyinde kullanımının süt verimi ve temel süt bileşenleri üzerinde çoğu zaman nötr bir tablo oluşturduğunu ifade etmiştir. Aynı çalışmada düşük kuru madde verimi nedeniyle ekonomik açıdan dikkatli değerlendirme gerektiği de vurgulanmaktadır.

Mandalar üzerinde yapılan çalışmalar, hidroponik yemin ürün kalitesi ve çevresel etkiler bakımından belirli avantajlar sunabildiğini göstermektedir. Balivo ve ark. (2024, 2025), hidroponik arpa ile beslenen mandalardan elde edilen süt ve mozzarellada tekstürel özellikler ve yağ asidi profili yönünden olumlu değişimler saptamıştır. Masucci ve ark. (2024) ise su ayak izinin düştüğünü, buna karşın üretim maliyetlerinin yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, hidroponik yemin büyükbaş sistemlerde salt performans artışı hedefinden çok kalite ve sürdürülebilirlik aracı olarak konumlandırılabilceğini düşündürmektedir.

Küçük ruminantlarda hidroponik yem uygulamaları çoğunlukla büyüme performansı, rumen fermentasyonu ve besin maddesi sindirilebilirliği üzerine yoğunlaşmaktadır. Keçilerde yürütülen çalışmalar, hidroponik mısır, buğday ve arpanın orta düzey katılım oranlarında büyüme hızını ve yemden yararlanmayı artırabildiğini göstermektedir. Bu oran genellikle rasyon kuru maddesinin %5-20'si aralığındadır. Roy ve ark. (2023) ile Rajak ve ark. (2024), hidroponik mısır ve buğdayın birlikte kul-

lanımının canlı ağırlık artışını ve ekonomik geri dönüşü iyileştirebildiğini belirtmektedir. Bu yaklaşım yem maliyetini azaltma potansiyeliyle de ilişkilendirilmektedir.

Laktasyondaki keçilerde ise hidroponik yem kullanımının süt verimi üzerindeki etkileri daha sınırlı görünmektedir. Marsico ve ark. (2009), hidroponik çimlendirilmiş yulafın süt veriminde anlamlı bir değişim oluşturmadığını öne sürmektedir. Buna karşılık fermentatif etkinlik ve sindirilebilirlik açısından olumlu sonuçlar da bildirilmektedir (Sulistijo ve ark., 2024).

Koyunlarda hidroponik yemle ilgili sonuçlar daha değişken bir tablo çizmektedir. Farghaly ve ark. (2019)'a göre, hidroponik arpa filizlerinin tek kaba yem olarak verilmesi kuru madde tüketimini düşürmektedir. Buna karşın sindirilebilirlik ve toplam uçucu yağ asidi üretiminde artmaktadır. Ansari ve ark. (2019)'a göre ise hidroponik yemlerin tek başına kullanımı negatif azot ve mineral dengelerine yol açabilmektedir. Öte yandan, gebe ve laktasyondaki koyunlarda hidroponik buğdayın geleneksel bileşenleri kısmen ikame edebildiği ve performansı olumsuz etkilemediği de belirtilmektedir (Guerrero-Cervantes ve ark., 2016).

Kuzularda optimal katılım düzeylerinin kritik olduğu açık biçimde görülmektedir. Orta düzeylerde hidroponik yem kullanımı büyüme performansını ve rumen mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyebilmektedir (Ma ve ark., 2024; Min ve ark., 2024). Buna karşılık yüksek katılım oranları tüketimi ve canlı ağırlık artışını belirgin biçimde baskılayabilmektedir (Chethan ve ark., 2022).

Kanatlı beslemede hidroponik yem, özellikle yem maliyetlerinin yüksek olduğu sistemlerde alternatif bir strateji olarak ele alınmaktadır. Çimlenme süreciyle birlikte lizinin artması, enzim ve vitaminlerin aktive olması hidroponik yemlerin biyoyararlanım potansiyelini yükseltebilmektedir (Naik ve ark., 2014). Hidroponik yem ilavesinin canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranında iyileşme sağlayabilmektedir (Fa-zaeli ve ark., 2012).

Hindi ve kazlarda yapılan çalışmalar ise, hidroponik yeşil yemlerin büyüme performansı, yaşama gücü ve üreme parametreleri üzerinde olumlu etkiler sağlayabildiğine işaret etmektedir (Khaziev ve ark., 2021; Yasmin ve ark., 2025). Ayrıca yumurta sarısında karotenoid ve vitamin içeriğinin artması ürün kalitesi açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yüksek katılım oranları yem tüketimini azaltabildiğinden, hidroponik yemlerin kanatlılarda takviye niteliğinde kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilmektedir.

Hayvan beslemede hidroponik yemler tam yem değil, takviye yem olarak değerlendirilmelidir. Bir hayvanın günlük hidroponik yem tüketimi, canlı ağırlığının yaklaşık %1-1.5 oranında sınırlandırılmalıdır. Buna göre günlük önerilen hidroponik yem miktarları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Büyükbaş (300-400 kg canlı ağırlık): yaklaşık 3.0-5.0 kg/gün
- Küçükbaş (25-35 kg canlı ağırlık): yaklaşık 0.3-0.5 kg/gün
- Kanatlılar (1-1.5 kg canlı ağırlık): yaklaşık 0.15-0.2 kg/gün

Hidroponik yemlerin sabah erken saatler yerine hayvanların ana yemlemesi sonrasında veya meradan dönüşün ardından verilmesi daha uygun bulunmaktadır. Adaptasyon amacıyla en az 4-5 günlük bir geçiş süreciyle sağlanmalı ve rasyona kademeli giriş yapılmalıdır. Bazı durumlarda yaprak ve kök ayrımı nedeniyle selektif tüketim görülebilmektedir. Bu nedenle hidroponik yemlerin diğer kaba yemlerle karıştırılarak sunulması pratik bir yaklaşım oluşturmaktadır (Naik ve ark., 2014).

Sonuç

Hidroponik yem üretimi, kısa bir üretim döngüsü içinde hayvanlara lezzetli, sindirilebilir ve besleyici bir yem kaynağı sunmayı hedefleyen alternatif bir tarımsal yaklaşımdır. Küresel ölçekte tarım arazilerinin daralması, su kaynakları üzerindeki baskının artması ve iklim değişikliğinin yem bitkisi üretimini daha değişken hâle getirmesi, hidroponik sistemleri hayvancılık açısından yeniden tartışılır kılmaktadır. Bu çerçevede hidroponik yem, yem tedarikine yönelik tam ve evrensel bir çözüm olarak görülmemelidir. Ancak yeşil yem arzının sınırlı olduğu dönem ve bölgelerde tamamlayıcı bir seçenek olarak güçlü bir potansiyel taşımaktadır. Kış aylarında yeşil yem üretiminin durduğu koşullarda veya tarımsal üretim alanlarının kısıtlı olduğu kent çevresindeki işletmelerde, yeşil yem gereksiniminin sürekliliğine katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte başarı yalnızca hızlı biyokütle üretimine bağlı değildir. Uygun tür seçimi, tohum maliyetlerinin etkin yönetimi ve üretim sürecinin ekonomik boyutlarının bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerekir. Tohum maliyetinin toplam giderler içindeki yüksek payı dikkate alındığında, hidroponik yem uygulamalarının yaygınlaşması için yerel koşullara uyarlanmış, düşük maliyetli ve yönetilebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi temel bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- Agius, A., Pastorelli, G., Attard, E. (2019). Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62(2), 517-525.
- Akbag, H.I., Turkmen, O.S., Baytekin, H., Yurtman, I.Y. (2014). Effects of harvesting time on nutritional value of hydroponic barley production. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(Special Issue-2), 1761-1765.
- Akman, M., Guzel, S., Gumus, H. (2021). Comparison of the plant heights and relative feed values of triticale and vetch mixtures produced by a hydroponic system. *Kocatepe Veterinary Journal*, 14(1), 77-82.
- Al Ajmi, A., Salih, A.A., Kadim, I., Othman, Y. (2009). Yield and water use efficiency of barley fodder produced under hydroponic system in GCC countries using tertiary treated sewage effluents. *Journal of Phytology*, 1(5), 342-348.
- Al-Karaki, G.N., Al-Hashimi, M. (2012). Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. *International Scholarly Research Notices*, Article ID 924672, 5p.
- Al-Karaki, G.N., Al-Momani, N. (2011). Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 7(3), 448-457.
- Almuhayawi, M.S., Hassan, A.H., Al Jaouni, S.K., Alkhalifah, D.H.M., Hozzein, W.N., Selim, S., AbdElgawad, H., Khamis, G. (2021). Influence of elevated CO₂ on nutritive value and health-promoting prospective of three genotypes of Alfalfa sprouts (*Medicago sativa*). *Food Chemistry*, 340, 128147.
- Anonymous. (2008). Grass fodder by hydroponics in 8 days. <http://grassfodder.com/hydroponics.php>
- Anonymous. (2012). Moo-ve aside, hydroponics technologies. *The Gomantak Times*. Oct. 11, 2012.
- Ansari, S.T., Ravi, A., Ramana, J.V., Raju, G.G. (2019). Voluntary intake and plane of nutrition of sheep fed hydroponic fodder varieties. *Indian Journal of Animal Research*, 53(8), 1054-1058.
- Atici, K.D. (2012). Hasilmatik eliminates the problem of feed. *Agricultural Agenda Journal*, (9), 96-97.
- Bakshi, M.P.S., Wadhwa, M., Harinder, P.S.M. (2017). Hydroponic fodder production: A critical assessment. *Broadening Horizons*, 1-10.
- Balivo, A., Masucci, F., Parlato, S., Serrapica, F., Romano, R., Di Francia, A., Genovese, A. (2025). Can hydroponic forage affect the chemical and sensory properties of PDO buffalo Mozzarella cheese?. *International Journal of Dairy Technology*, 78(1), e13147.
- Balivo, A., Sacchi, R., Di Francia, A., Masucci, F., Genovese, A. (2024). E-nose analysis of milk to detect the inclusion of hydroponic barley forage in the buffalo diet. *Journal of Food Composition and Analysis*, 131, 106230.

- Baytekin, H. (2015). Need an alternative to fodder. Biga Daily Site.
- Bhattacharya, A., Laxmi, V. (2021). Methods and techniques in plant physiology. New India Publishing Agency, 202p.
- Brownin, D.A. (2017). Hydroponic fodder systems.
- Chavan, J.K., Kadam, S.S., Beuchat, L.R. (1989). Nutritional improvement of cereals by sprouting. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 28(5), 401-437.
- Chethan, K.P., Gowda, N.K.S., Prabhu, T.M., Krishnamoorthy, P., Dey, D.K., Giridhar, K., Anandan, S. (2022). Nutritional evaluation of hydroponic maize (*Zea mays*) grain sprouts as a newer green feed resource in lambs. Indian Journal of Animal Research. 56(4), 434-443.
- Cuddeford, D. (1989). Hydroponic grass. In Practice, 11(5), 211-214.
- Dogrusoz, M.C. (2022). Can plant derived smoke solutions support the plant growth and forage quality in the hydroponic system?. International Journal of Environmental Science and Technology, 19(1), 299-306.
- Dung, D.D., Godwin, I.R., Nolan, J.V. (2010). Nutrient content and in sacco digestibility of barley grain and sprouted barley. Journal of Animal and Veterinary Advances, 9(19), 2485-2492.
- El-Deeba, M., El-Awady, M.N., Hegazi, M.M., Abdel-Azeem, F.A., El-Bourdiny, M.M. (2009). Engineering factors affecting hydroponics grass-fodder production. Misr Journal of Agricultural Engineering, 26(3), 1647-1666.
- Farghaly, M.M., Abdullah, M.A., Youssef, I.M., Abdel-Rahim, I.R., Abouelezz, K. (2019). Effect of feeding hydroponic barley sprouts to sheep on feed intake, nutrient digestibility, nitrogen retention, rumen fermentation and ruminal enzymes activity. Livestock Science, 228, 31-37.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H.A., Shoayee, A.A., Montajebi, N., Mosharraf, S.H. (2011). Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder barley. Journal of Agricultural Science and Technology, 13(3), 367-375.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H.A., Tabatabayee, S.N., Asghari-Tabrizi, M. (2012). Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system. World Applied Sciences Journal, 16(4), 531-539.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H.A., Tabatatbaei, S.N. (2021). Effect of replacing dietary corn silage with hydroponic barley green fodder on holstein dairy cows performance. Iranian Journal of Applied Animal Science, 11(1), 45-47.
- Girma, F., Gebremariam, B. (2018). Review on hydroponic feed value to livestock production. Journal of Scientific and Innovative Research, 7(4), 106-109.
- Guerrero-Cervantes, M., Cerrillo-Soto, M.A., Plascencia, A., Salem, A.Z.M., Estrada-Angulo, A., Rios-Rincón, F.G., Luginbuhl, J.M., Bernal-Barragán, H., Abdalla, A.L. (2016). Productive and reproductive performance and metabolic profiles of ewes supplemented with hydroponically grown green wheat (*Triticum aestivum* L.). Animal Feed Science and Technology, 221, 206-214.

- Gumisiriza, M.S., Ndakidemi, P.A., Mbega, E.R. (2020). Memoir and farming structures under soil-less culture (hydroponic farming) and the applicability for Africa: a review. *Agricultural Reviews*, 41(2), 139-145.
- Heins, B.J., Paulson, J.C., Chester-Jones, H. (2015). Evaluation of forage quality of five grains for use in sprouted fodder production systems for organic dairy cattle. *J Dairy Sci*, 98(2), 64.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. University of California, Oakland, CA, USA.
- Hynd, P. (2019). *Animal nutrition: from theory to practice*. Csiro Publishing, 416p.
- Jemimah, R.E., Gnanaraj, P.T., Muthuramalingam, T., Devi, T., Babu, M., Sundharesan, A. (2015). Hydroponic green fodder production - TANUVAS experience.
- Jemimah, R.E., Gnanaraj, P.T., Muthuramalingam, T., Devi, T., Vennila, C. (2018). Nutritive value of hydroponic yellow maize fodder and conventional green fodders-a comparison. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 6(1), 98-101.
- Jeton, S. (2016). Hydroponic fodder production. 'Feed the future programme' of US Government global hunger and food security initiative in Ethiopia sponsored by USAID.
- Karasahin, M. (2014). Effects of different applications on dry matter and crude protein yields in hydroponic barley grass production as a forage source. *Journal of Suleyman Demirel University Agriculture Faculty*, 9(1), 27-33.
- Kerr, S.C.L., Conway, A. (2014). Fodder for forage: Fact, folly, fable or fabulous. (En línea). Consultado el, 7.
- Khaziev, D., Gadiev, R., Yusupova, C., Kazanina, M., Kopylova, S. (2021). Effect of hydroponic green herbage on the productive qualities of parent flock geese. *Veterinary World*, 14(4), 841-846.
- Kilic, U. (2016). Hydroponic systems in forage production. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(9), 793-799.
- Kumar, R. (2019). Year round green fodder production and conservation for sustainable dairy farming in India. *Sustainable Agriculture*, 38.
- Ma, Y., Guo, T., Zhang, Z., Amat, G., Jing, Y., Tuo, Y., Hou, L. (2024). Effect of feeding hydroponic barley seedlings to lactating ewes on blood biochemical indexes and growth performance of lambs. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1280544.
- Marsico, G., Micera, E., Dimatteo, S., Minuti, F., Vicenti, A., Zarrilli, A. (2009). Evaluation of animal welfare and milk production of goat fed on diet containing hydroponically germinating seeds. *Italian Journal of Animal Science*, 8(sup2), 625-627.
- Mason, J. (1996). *Commercial hydroponics: how to grow 86 different plants in hydroponics*. Kangaroo Press, Australia, 172p.
- Masucci, F., Serrapica, F., Cutrignelli, M. I., Sabia, E., Balivo, A., Di Francia, A. (2024). Replacing maize silage with hydroponic barley forage in lactating

- water buffalo diet: Impact on milk yield and composition, water and energy footprint, and economics. *Journal of Dairy Science*, 107(11), 9426-9441.
- Min, L., Tuo, Y., Li, D., Zang, C., Amat, G., Zhang, Z., Guo, T. (2024). Impact of 5-20% hydroponic wheat sprouts inclusion on growth and metabolic parameters of growing ewes. *Animals*, 14(11), 1630.
- Morgan, L. (2021). *Hydroponics and protected cultivation: a practical guide*. CAB International, 312p.
- Myers, J.R. (1974). Feeding livestock from the hydroponic garden. M. Sci (Doctoral dissertation, Thesis, Arizona State University, p 101, Arizona-USA).
- Naik, P.K. (2014). *Hydroponics green fodder for dairy animals*. Recent Advances in Animal Nutrition, 403.
- Naik, P.K., Dhawaskar, B.D., Fatarpekar, D.D., Karunakaran, M., Dhuri, R.B., Swain, B.K., Chakurkar, E.B., Swain, B.K. (2017). Effect of feeding hydroponics maize fodder replacing maize of concentrate mixture partially on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 87(4), 452-455.
- Naik, P.K., Dhuri, R.B., Karunakaran, M., Swain, B.K., Singh, N.P. (2014). Effect of feeding hydroponics maize fodder on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 84(8), 880-883.
- Naik, P.K., Dhuri, R.B., Singh, N.P. (2011). Technology for production and feeding of hydroponics greenfodder. Extension Folder No. 45/2011, ICAR Research Complex for Goa, Goa.
- Naik, P.K., Dhuri, R.B., Swain, B.K., Singh, N.P. (2012). Nutrient changes with the growth of hydroponics fodder maize. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 29(2), 161-163.
- Naik, P.K., Singh, N.P. (2013). Hydroponics fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production against impending climate change. Model Training Course on Management Strategies for Sustainable Livestock Production Against Impeding Climate Change, 70-75.
- Naik, P.K., Swain, B.K., Singh, N.P. (2015). Production and utilisation of hydroponics fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 32(1), 1-9.
- Ozcan, U. (2015). Production of roughage germinated with soilless agriculture technology. Ondokuz Mayıs University, Institute of Science and Technology. Master Seminar. Samsun.
- Ozdemir, H., Temur, C. (2022). Increasing the feed values of barley, vetch, and safflower mixtures in hydroponic fodder systems. *Research Square*, Preprint.
- Ozkan, S.S. (2022). *Hydroponic fodder production for livestock farming*. International Research in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences - December 2022, ISBN:978-625-6399-25-9, Serüven Publishing, Türkiye, p:173-188.
- Ozkan, S.S. (2023). Comparison of fodder yield and nutritive values of various forage crops grown in hydroponic fodder production system. *Latin*

- America 5th International Conference on Scientific Researches, 17-19 March 2023, Conference Book, Pp:220-226, Medellin/Colombia.
- Ozkan, S.S. (2025). Yield and quality effects of co-cultivating barley and triticale with legumes in hydroponic fodder production. *Legume Research*, 48(3), 414-422.
- Pandey, H.N., Pathak, N.N. (1991). Nutritional evaluation of artificially grown barley fodder in lactating crossbred cows. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 8(1), 77-78.
- Pastorelli, G., Serra, V., Turin, L., Attard, E. (2024). Hydroponic fodders for livestock production-a review. *Annals of Animal Science*, 24(3), 645-656.
- Rajak, S.K., Singh, A.K., Singh, A.K., Rai, A., Gangwar, A. (2024). Assessment of feeding hydroponic fodder on growth and reproduction performance in Black Bengal goat. *Tropical Animal Health and Production*, 56(9), 388.
- Reddy, G.V.N., Reddy, M.R., Reddy, K.K. (1988). Nutrient utilisation by milch cattle fed on rations containing artificially grown fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 5(1), 19-22.
- Reddy, Y.R. (2014). Hydroponic fodder production.
- Roy, A., Shee, A., Saren, A.K., Datta, S., Sarkar, P. (2023). Study on effect of hydroponic maize fodder on performance of Bengal goat. *Journal of Animal Research*, 13(4), 591-595.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. (1992) *Plant physiology*. Wadsworth publishing company, California, USA.
- Shipard, I. (2005). *How Can I Grow and Use Sprouts as Living Food*. Stewart Publishing.
- Shit, N. (2019). Hydroponic fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production in India. *Exploratory Animal and Medical Research*, 9(2), 108-119.
- Sinsinwar, S., Teja, C.K., Kumar, S. (2012). Development of a cost effective, energy sustainable hydroponic fodder production device. Project report, IIT, Kharagpur.
- Sneath, R., McIntosh, F. (2003). Review of hydroponic fodder production for beef cattle. Department of Primary Industries: Queensland Australia, 84, 54.
- Snow, A.M., Ghaly, A.E., Snow, A. (2008). A comparative assessment of hydroponically grown cereal crops for the purification of aquaculture wastewater and the production of fish feed. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(1), 364-378.
- Sulistijo, E.D., Benu, I., Oematan, G., Rosnah, U.S., Hilakore, M.A., Jelantik, I.G.N. (2024). Enhancing nutrient intake, digestibility, rumen fermentation, and blood metabolites in Kacang goats using compost-enriched hydroponic maize fodder. *Tropical Animal Science Journal*, 47(4), 475-482.
- Sulser, A. (2015). Hydroponic barley fodder feed tests on replacement rams and ewes. *Journal of the Nacaa*, 8(2).

- Taiz, L., Zeiger, E. (1998) Plant physiology. Sinauer associates, Inc. publishers. Sunderland, Massachusetts, USA.
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Alcántar-González G. (2007). Elementos benéficos. In: Nutrición de cultivos. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.
- Wang, Q., Zhao, H., Xu, L., Wang, Y. (2019). Uptake and translocation of organophosphate flame retardants (OPFRs) by hydroponically grown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 683-689.
- Wootton-Beard, P. (2019). Producing fodder crops using hydroponics. Farming Connect.
- Wu, Z.H., Du, C., Hou, M.J., Zhao, L.S., Ma, L., Sinclair, L.A., Bu, D.P. (2024). Hydroponic barley supplementation fed with high-protein diets improves the production performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(10), 7744-7755.
- Xia, Q., Tao, H., Li, Y., Pan, D., Cao, J., Liu, L., Zhou, X., Barba, F. J. (2020). Characterizing physicochemical, nutritional and quality attributes of wholegrain *Oryza sativa* L. subjected to high intensity ultrasound-stimulated pre-germination. *Food Control*, 108, 106827.
- Yasmin, K., Rashedi, M.A., Mehta, B.K., Salma, U., Miah, A.G. (2025). Sustainable turkey farming: the role of hydroponic sprouted fodder in feed optimization. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 13(3), 139-145.
- Zang, Y., Richards, A.T., Seneviratne, N., Gutierrez-Oviedo, F.A., Harding, R., Ranathunga, S., McFadden, J.W. (2024). Replacing conventional concentrates with sprouted barley or wheat: Effects on lactational performance, nutrient digestibility, and milk fatty acid profile in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(8), 5529-5541.

Bölüm 8

ESANSİYEL YAĞLARIN BAZI BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KANATLI HAYVAN BESLENMESİNDEKİ ETKİLERİ

Alp ATAY¹

¹ Doç. Dr.

Hakkari Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Laborant ve Veteriner Sağlık Programı. ORCID:0000-0002-9635-71052

Giriş

Bir toplumun sağlıklı bir şekilde yaşamasının sürdürülebilmesi için sağlıklı ve dengeli beslenmesi gerekmektedir (WHO, 2020). Toplumdaki her bireyin sağlıklı ve dengeli bir şekilde beslenmesi durumunda, bireyin hem fizyolojik ihtiyaçları ve hem yaşamını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi için gerekli olan tüm besin maddeleri yeterli miktarda karşılanabilmektedir. (Groppe ve Smith, 2020). Dünya genelinde insan nüfusunun artışı, insanların protein kaynaklarına özellikle hayvansal proteinlere olan ihtiyaçlarını artırmaktadır. Bu nüfus artışı ve bazı diğer sebepler, protein kaynaklarına (özellikle hayvansal proteinlere) erişimin sınırlanmasına ve günümüzde protein tüketiminin yetersizliğine sebebiyet vermektedir (FAO, 2021). Bu sınırlamalar ve yetersizliklerin kısa bir süre içerisinde karşılanmasında, kanatlı hayvan üretiminin taşıdığı kısa üretim süresi, yüksek verimlilik ve düşük maliyet, çevre denetimli yetiştirme sistemi gibi özellikleri sayesinde önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir (Mottet ve Tempio, 2017; FAO, 2023).

Sağlıklı ve güvenilir bir hayvansal protein kaynağının üretilmesi için, hayvanların yeterli ve dengeli bir oranda ihtiyaç duydukları tüm besin maddeleri almaları gerekmektedir (McDonald ve ark., 2011; Aksoy ve Özcan, 2019). Genel olarak kanatlı hayvanlar (özellikle yoğun üretim koşullarında yetiştirilenler), metabolik hızlarının yüksek olması, vücut sıcaklıklarının dengeleme kapasitelerinin düşük olması ve bağışıklık sistemlerinin çevre, fizyolojik, beslenme ve hastalıklar gibi faktörlerden daha çabuk etkilendiklerinden dolayı duyarlı hayvanlar sınıfında yer almaktadırlar. Tüm bu olumsuz etkiler hayvanların hızlı bir şekilde performanslarının düşmesine ve hastalıklara karşı dayanıksız olmalarına yol açmaktadır. Yirminci yüzyılların başından itibaren bakteriyel, viral ve parazitler gibi kanatlı hayvan hastalıkları belirgin bir hal alarak ekonomik kayıplara yol açmıştır (Permin ve Bisgaard, 2000; Swayne, 2013). Bu bağlamda, kanatlı hayvan üretiminde bir yandan bu hastalıklarla mücadele edilmesi, diğer yandan protein taleplerinin artışı ve bu yönde düşük maliyetle yüksek verimlilik elde etmek amacıyla antibiyotikler uzun yıllar boyunca yem katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Castanon, 2007; Zhang ve ark., 2021). Bu konuya benzer olarak, tarımın diğer kollarında da bitkilerin zararlı organizmadan koruma ve ürün verimi ve kalitesini artırmak amacıyla farklı yöntemlerle pestisitler kullanılmaktadır (Torman ve ark., 2025). Ancak bu maddelerin yaygın ve kontrolsüz bir şekilde kullanılması bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Antibiyotiklerin bu şekilde kullanılması zamanla bakterilerin antibiyotiklere karşı direnç kazandırması, hayvan ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler yaratarak gıda güvenliği ve halk sağlığı konularında ciddi bir tehdit haline

gelmektedir (El-Dayem ve ark., 2024; Galgona ve ark., 2023; Laxminarayan ve ark., 2014).

Bu durumdan dolayı, 2006 yılından beri bu maddelerin büyüme faktörü olarak kullanılması Avrupa Birliği tarafından yasaklanmış ve dünya genelinde bu konu ile ilgili düzenlemeler gerçekleştirilmiştir (Castanon, 2007). Bu kısıtlama ve düzenlemelerin yürürlüğe girmesinin ardından, araştırmacılar antibiyotiklerin yerine kullanılabilecek alternatif yem katkı maddeleri üzerine yoğunlaşmış ve son yıllarda bu alanda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma sonuçları esansiyel yağlar, probiyotikler, prebiyotikler, organik asitler gibi çeşitli doğal katkı maddelerinin antibiyotiklere alternatif olabileceğini göstermektedir (Chowdhury ve Roy, 2022; Ayalew ve ark., 2022; Stingelin ve ark., 2023). Özellikle esansiyel yağların içerdiği biyolojik aktif bileşenler sayesinde antibakteriyel, antioksidan ve immünomodülatör özellikler gösterdikleri ve bu özelliklerin de hayvanlarda bağırsak sağlığının korunması, sindirim sisteminin desteklenmesi ve patojen mikroorganizmaların azaltılması gibi olumlu etkiler sağladığı ortaya konulmaktadır (El-Hach ve ark., 2022; Hafız ve ark., 2025; Nowak ve Szymansk, 2025). Bu derleme makalesinde, söz konusu yem katkı maddelerinin bazı biyolojik özellikleri ve kanatlı hayvan beslemedeki kullanım etkileri ele alınmaktadır.

Esansiyel yağ nedir?

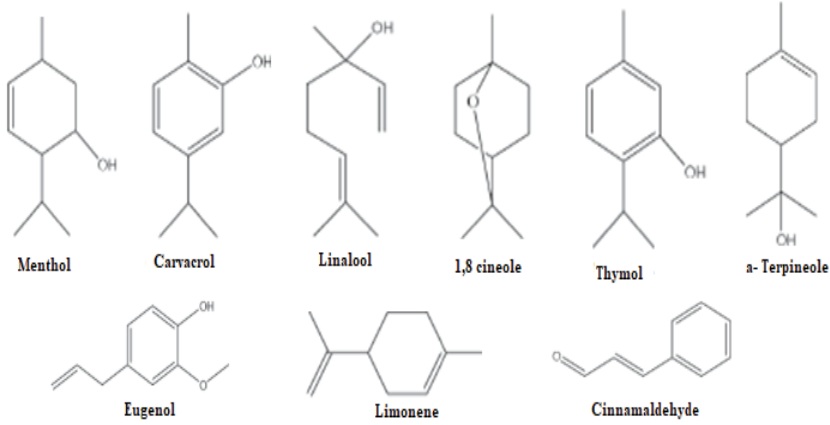
Esansiyel terimi, tarihsel olarak 16. yüzyıla kadar uzanır ve ilk olarak Paracelsus'un quinta essentia teorisi çerçevesinde, yani bitkilerin iyileştirici gücüne dayanarak ortaya atılmıştır (Oyen ve Dung, 1999). Uçucu yağ kavramı ise esansiyel teriminden daha eski bir geçmişe sahip olup, Orta Çağ'da bitkilerden damıtma yoluyla elde edilerek tıbbi, kozmetik ve dini amaçlarla kullanılmıştır (Hay ve Waterman, 1993).

Esansiyel yağlar, tıbbi ve aromatik bitkilerin farklı kısımlarından elde edilen uçucu doğal bileşiklerdir. Her yağın kendine özgü karakteristik bir kokusu bulunmaktadır. Bu yağlar, su buharı distilasyonu, soğuk presleme veya çözücü ekstraksiyon gibi yöntemlerle elde edilmekteler. Lipofilik yapıları nedeniyle suyla karışmazlar ancak alkol ve eter gibi çözücülerde kolayca çözölmekteler (Bakkali ve ark., 2008; Oyen ve Dung, 1999; Gopi ve ark., 2014).

Kimyasal açıdan esansiyel yağlar, terpenler, terpenoidler, fenoller, aldehytler, ketonlar, esterler, alkoller ve oksitler gibi çeşitli bileşenler içermekteler (Toungnuanch ve Benjakul, 2014). Bu bileşenlerin oranı, bitki türüne, yetiştirme koşullarına, hasat zamanına ve elde edilme yöntemine bağlı olarak değışiklik göstermektedir. Esansiyel yağların antibakteriyel,

antioksidan, antifungal ve antiinflamatuvar özellikleri de büyük ölçüde bu bileşenlerden kaynaklanmaktadır (Nazzero ve ark., 2013).

Günümüzde, bu yağlar içerdiği bileşenler sayesinde gıda sektöründe doğal koruyucu ve aroma verici, ilaç sektöründe antimikrobiyel ve anti-inflamatuvar, hayvan beslemede ise yem katkı maddesi olarak kullanılmaktalar (Bassolé ve Juliani, 2012; Brenes ve Roura, 2010). Şekil 1'de bazı esansiyel yağ bileşikler gösterilmiştir.



Adaszyńska ve Szczerbińska (2017)

Esansiyel yağların sınıflandırılması

Esansiyel yağlar bitkilerin farklı bölümlerinden elde edilmekte olup, kendilerine özel kokuya sahip ve lipofilik özelliği gösteren bileşenlerdir. Esansiyel yağlar kimyasal olarak incelendiklerinde, Terpenler (Terpenoidler) ve Fenilpropanoidler (Phenylpropenes) olarak sınıflandırılmaktalar. Bu iki bileşen esansiyel yağların kimyasal yapısını, uçuculuk özelliği ve biyolojik aktivitelerini belirlemekteler (Bakkali ve ark., 2008; Angane ve ark., 2022; Movahedi ve ark., 2024).

Terpenler (Terpenes)

Esansiyel yağların büyük bir kısmını, İzopren (C_5H_8) birimlerinin polimerleşmesiyle oluşan hidrokarbon yapılu bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşenler taşıdıkları karbon sayısına göre Monoterpenler (C_{10}), Seskiterpenler (C_{15}), Diterpenler (C_{20}), Triterpenler (C_{30}) ve Tetraterpenler (C_{40}) olarak alt gruplara ayrılmaktalar (Burt, 2004; Tiring ve ark., 2020). Esansiyel yağların aromatik özellikleri genellikle Monoterpenlerlerden, antioksidan, antibakteriyel ve antiinflamatuvar özellikleri ise bunların oksijen içeren çeşitleri olan terpenoidlerden kaynaklanmaktadır (Gropi ve

ark., 2014; Angane ve ark., 2022). Bu bileşikler sayesinde, zararlı mikro-organizmanın hücre zarı hasar görmekte ve hücre zarının geçirgenliği artmakta, böylece hücre içerisindeki iyon dengesi bozularak hücre ölümü gerçekleşmektedir. Ayrıca bu bileşikler, vücutta olumsuz etkilerden oluşan serbest radikalleri nötralize ederek oksidatif stresi düşürülmekte ve böylece hücrel savunma sistemi desteklenmektedirler (Movahedi ve ark., 2024).

Fenilpropanoidler (phenylpropenes)

Bu bileşenler fenilalanin amino asitinden türeyen kokulu bileşikler olup, bitkilerde doğal savunma mekanizmasının önemli bir kısmını oluşturmaktalar (Bakkali ve ark., 2008). Bu gruba ait başlıca bileşiklerden karanfil yağında olan eugenol, tarçın yağında olan sinnamealdehide ve rezene yağında olan anetol sayılabilmektedir. Fenilpropanoidler, taşıdıkları yüksek antimikrobiyel, antioksidan ve antiinflatuar özellikleri sayesinde bağışıklık sistemini güçlendirmekte, bağırsak sağlığı korunmakta ve yemden yararlanma oranını (kanatlılarda) iyileştirmektedirler (Brenes ve Roura, 2010; Anuranj ve ark., 2022). Son dönemlerde bu konuda yapılan birçok araştırmada, terpenler ve fenilpropanoidlerin antibiyotikler gibi büyüme faktörü olarak etki gösterdikleri ve bu sebepten dolayı da antibiyotiklere alternatif olarak kullanılabilecekleri bildirilmektedir. Bu doğal bileşiklerin kullanım durumunda, antibiyotikler gibi direnç oluşumu veya kalıntı sorunu oluşturulmadan büyüme desteklenecektir. Ayrıca bu maddelerin kullanım durumunda, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, oksidatif stres azalması ve bağışıklık sistemi güçlenmesi gibi mekanizmalar sayesinde hayvanın performansının olumlu yönde etkilendiği bildirilmektedir (Bassole ve Juliani, 2012; Angane ve ark., 2022).

Son yıllarda bu esansiyel yağ bileşenlerinin biyoyararlanmalarını ve stabiliteilerini artırmak amacıyla nanoenkapsülasyon teknolojisi, sprey kurutma, arayüz polimerizasyon gibi farklı kullanım yöntemleri konusunda araştırmalar gerçekleştirilmektedir (Jia ve ark., 2016; Mo ve ark., 2022; Moharreri ve ark., 2022). Bu uygulama sayesinde, kullanılan bileşenlerin kontrollü bir şekilde salınması sağlanarak etkinlikleri ve verimleri önemli ölçüde artırılabilir (Mo ve ark., 2022; Movahedi ve ark., 2024). Esansiyel yağların kanatlı hayvan beslemede kullanımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, mikroenkapsüle edilmiş esansiyel yağlarla beraber palmye yağı, maltodekstrin, hidrojene bitkisel yağlar ve lipozomlar gibi taşıyıcı materyallerin kullanılabileceğini göstermektedir (Wang ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019; Moharreri ve ark., 2022; Meligy ve ark., 2023; Stingelin ve ark., 2023). Esansiyel yağların kullanımında uygulanan farklı yöntemlerin her biri uygulama şekline göre avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır (Sunder ve Parikh, 2023). Örneğin; bazı

yöntemlerde ısıtılmasının zorunlu bir şekilde uygulanması esansiyel yağların uçucu bileşenlerinde kayıplar yol açmaktadır (Cimino ve ark., 2021).

Esansiyel Yağların Kaynakları ve Kimyasal Bileşimi

Esansiyel yağlar, bitkilerin yaprak, çiçek, gövde, kabuk vb. kısımlarından elde edilen uçucu özellikleri ve hoş kokulu bileşiklerdir. Yetiştirme koşulları, bitkinin farklı kısmından elde edilmesi ve bitki türleri bu yağların kimyasal yapı ve biyolojik özelliklerini etkilemektedir (Tongnuanchan ve ark., 2014). Bu sebepten dolayı yağların kimyasal yapıları bu maddelerin etkilerini, fonksiyonlarını ve kullanım potansiyellerini doğrudan etkilemektedir. Aşağıdaki çizelgelerde esansiyel yağ içeren bazı bitki kısımları ve farklı bitkilerden elde edilen esansiyel yağ bileşenleri verilmektedir (Çizelge 1, Çizelge 2)

Çizelge 1. Esansiyel yağ içeren bazı bitki parçaları

Bitki Kısım	Örnek Bitkiler	Bitki Kısım	Örnek Bitkiler
Tohumlar	Anason, Kimyon, Kereviz, Kişniş, Kimyon otu, Dereotu, Rezene	Çiçekler	Papatya, Lavanta, Gül
Yapraklar	Okaliptüs, Paçuli, Nane	Kabuk (meyve kabuğu)	Limon, Misket limonu, Portakal
Kabuklar	Tarçın, Sassafras	Kökler	Melek otu, Zencefil, Kediotu (valerian)
Meyveler	Ardıç, Karabiber	Otlar	Fesleğen, Mercan-köşk, Kekik
Reçineler	Günlük, Mür	Rizomlar (kök gövdesi)	Zencefil, Zerdeçal

(Tongnuanchan ve ark., 2014)

Çizelge 2: Bitkisel esansiyel yağlarda bulunan başlıca bileşikler

Esansiyel yağ	Başlıca Bileşikler	Esansiyel yağ	Başlıca Bileşikler
Lavanta	Linalool, Linalil Asetat	Bergamot	Limonen, Linalool
Nane	Mentol, Menton	Papatya	Bisabolol, Matricin
Okaliptüs	1,8-Sineol, limonen	Sedir ağacı	Cedrol, Widrol
Biberiye	1,8-Sineol, α -pinen	Karanfil	Eugenol
Çay ağacı	Terpinen-4-ol, γ -terpinen	Günnük	α -Pinen, Limonen
Limon otu	Geranial, neral	Zencefil	Gingerol, Zingiberen
Ylang	Linalool, Geranil asetat	Paçuli	Patchoulol
Sandal ağacı	Santalol	Vetiver	Vetivon, Khusimol

(Tongnuanchan ve ark., 2014)

Esansiyel yağların Antibakteriyel etkileri

Günümüzde, yoğun kanatlı üretim sisteminde bakteriyel hastalıklar hayvanların performansını düşürerek ciddi bir sorun oluşturmaktalar. Bu bakteriyel hastalıklar arasında Mikoplazmoz, Salmonelloz, Kolibasiloz, Ornithobacterium veya Clostridia kaynaklı enfeksiyonlar en yaygın olanlarıdır. Son dönemlerde sık görülen Salmonella, Campylobacter cins bakteri ve Escherchia colinin neden olduğu hastalıklar önemli problemlere yol açarak endişe yaratmakta ve bu sebepten dolayı son dönemlerde araştırmacılar esansiyel yağların antibakteriyel özellikleri konusunda çalışmalar yapmaktalar (Venkitanarayanan ve ark., 2013; Petrova ve ark., 2013).

Esansiyel yağ etkileri, yağların içersinde bulunan fenoller, ketonler, alkoller ve aldehitler gibi çeşitli kimyasal bileşenler sayesinde gerçekleşmektedir (Nazzaro ve ark., 2013). Esansiyel yağlarda bulunan bu çeşitli kimyasal bileşenlerinin antimikrobiyal etkileri tek bir etki mekanizmasına bağlı olmayıp belki hücrenin farklı bölgelerinde birçok hedef üzerinde gösterdiği etkilerden kaynaklanmaktadır (Burt, 2004; Nazzaro ve ark., 2013). Esansiyel yağların antimikrobiyal mekanizmaları terpinoidler ve fenolikler tarafından mikroorganizmadaki hücre zarının bozulması, fenoller ve flavonoidler tarafından metal şelasyon, kumarin ve alkaloidlerin

genetik materyali üzerindeki etkiler sayılabilmektedir. Gerçekleşen bu mekanizmalar sonucunda, mikroorganizmanın elektron akışı ve enerji metabolizması engellenmekte, proton pompası durdurulmakta, Adenozin Trifosfat (ATP) birikimi azalmakta ve mikroorganizmanın büyümesi engellenmektedir (Li ve ark., 2019; Turgis ve ark., 2009; Burt ve ark., 2007; Frazoon ve ark., 2018; Gopi ve ark., 2014). Ayrıca Esansiyel yağların yüksek düzeylerde kullanılması, mikroorganizmada hücre zarlarının parçalanması ve sitoplazmik proteinlerin denatürasyonunda yol açarak zararlı mikroorganizmayı yok edebilmektedir (Cowan, 1999; Nazzaro ve ark., 2013). Esansiyel yağların etkileri, pH, kimyasal yapı, konsantrasyon, bireysel biyoaktif bileşik ve etkilenen mikroorganizmaların türü ve popülasyonuna göre değişiklik göstere bilmektedir (Turgis ve ark., 2009; Cowan ve ark., 1999).

Daha öncede denildiği gibi esansiyel yağların etkileri içerdikleri bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu yağların antibakteriyal etkileri içerdikleri bakterisidal maddelere göre değişmektedir (Abres ve ark., 2021). Esansiyel yağlara bakterisidal özelliği kazandıran bileşenlerin birisi karvakroldur. Bu bileşik fenolik bir monoterpenoid olup, kekik, yabani biber otu, yabani bergamot ve mercanköşk gibi bitkilerden elde edilmektedir (Bona ve ark., 2012; Silva ve ark., 2012; Sharifirad ve ark., 2018). Karvakrolun *E. Coli* üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiş olup, bu maddenin *E. Coli* bakterinin hareketini sağlayan protein sentezini engelleyerek bakterinin hareketini ve patojenik etkisini yok etme, ayrıca *Salmonella enterica* ve *Typhimurium* bakteriler üzerinde de antibakteriyel özelliği gösterdiği bildirilmektedir (Burt ve ark., 2007; Severino ve ark., 2015). Esansiyel yağlara antibakteriyel etkisi kazandıran diğer bileşik, kekik ve tıbbi aromatik bitkilerden elde edilen, fenolik bir bileşen olan ve endüstride doğal koruyucu olan timoldur (Meenu ve ark., 2023; Barbosa ve ark., 2020). Timolla ilgili yapılan çalışmalar, timolun *Listeria mo.* ve bazı *Salmonella enterica* üzerine etkili olduğu bildirilmektedir (Bona ve ark., 2012; Meenu ve ark., 2023). Öjenol ve sinemaldehit ise karanfil ve tarçında bulunan ve esansiyel yağlara antibakteriyel ve antifungal etkisi kazandıran diğer bileşiklerdir (Oliveria ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022; Meenu ve ark., 2023; Olivera ve ark., 2023). Sinemaldehitin bakterileri yok etme mekanizması, bakterilerdeki hücre zarlarına hasar vererek oksidatif stresi başlatılmasıyla ilgili olduğu bildirilmektedir (Visvalingam ve ark., 2017).

Esansiyel yağların gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerinde de etkili oldukları görülmektedir. Bu yağlar, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium colinum*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium septicum*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus gallolyticus* gibi gram pozitif bakteriler ve *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Mycoplasma galli-*

septicum, Mycoplasma synoviae, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella enteritidis ve Klebsiella gibi gram negatif olan bakteriler üzerine etkili oldukları bildirilmektedir (Hammer ve ark., 1999; Kulkarni ve ark., 2010; Hulankova ve Borilova 2011., Roofchae ve ark., 2011; Nimbarte ve Kulkarni, 2013; Alali ve ark., 2013; Corisuelo ve ark., 2014., Zengin ve Baysal, 2014). Esansiyel yağların gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerine olan etkileri birbirinden farklılık göstermiş olup, gram pozitif bakteriler üzerine daha etkili olduğu bildirilmektedir (Burt, 2004). Bunun sebebi, gram negatif bakterilerdeki dış hücre duvarlarının lipopoliskarit yapısında olması ve bu duvarında hidrofobik maddelerinin hücreye giriş yapmasını engellemesi olarak açıklanmaktadır (Varra, 1992). Bunun yanı sıra, esansiyel yağların birçok antibiyotiğe karşı direnç geliştiren bakterilere karşı da kullanılabileceği gösterilmektedir (Solorazano ve Miranda, 2012; Rapper ve ark., 2013). Bu bağlamda bazı esansiyel yağların Metisiline dirençli S. Aureus ve vankomisine dirençli Enterokoklar üzerinde güçlü bakteri öldürücü etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Chao ve ark., 2008; Mulyaningsih ve ar., 2010; Sienkiewicz ve ark., 2012). Ayrıca, esansiyel yağlar ve karışımlarının bazı maya ve ipliksel mantarlara karşı (Antifungal) ve aspergillozisinin en yaygın nedeni olan Aspergillus cinsine ait küflere karşı etkili olduğu da gösterilmiştir (Hammer ve ark., 1999; Edris, 2007; Hood ve ark, 2010; Owanagh ve ark., 2010; Esper ve ark., 2014).

Esansiyel yağların Antioksidan özellikleri

Esansiyel yağların diğer bir biyolojik özelliklerinden biride bu yağların antioksidan etkileridir. Bu yağların antioksidan özellikleri içerdikleri fenol (tarçın, fesleğen, kekik, Hindistan cevizi ve mercan köşkünden), flavonoid ve terpenoidlerden kaynaklanmaktadır. Bu bileşiklerin içerdikleri metil kavikol, öjenol, timol ve karvakrol gibi fenolik grupları esansiyel yağların antioksidan kapasitesini belirlemektedir (Yang ve ark., 2009; Amerah ve Ouwehnad, 2016; Wang ve ark., 2017; Mimica ve ark., 2019; Jugreet ve ark., 2020).

Esansiyel yağların yapıları birbiriyle aynı olmayıp, çoğunun ortak olarak hidroksil gruplarını içerdikleri ve bu gruplar sayesinde bir hidrojen atomu vererek serbest radikalleri yok etme etkisi gösterdikleri bildirilmiştir (Krishan ve Narang, 2017). Ayrıca, esansiyel yağların, son dönemlerimizde görülen kanser, kalp hastalıkları,, yaşlanmaya bağlı zihinsel performans azalmasını vücutta DNA, protein ve lipidler gibi önemli maddeleri reaktif oksijeni ortadan kaldırarak, geçiş metali iyollarını şelatlayarak ve hücre oksidatif stresini azaltarak bu olumsuzlukları önleye bildiklerini bildirmişlerdir (Devi ve ark., 2023; Kaur ve ark., 2024; Rungqu ve Oyedeji., 2025).

Kanatlı hayvan üretim alanında doğal antioksidanların yoğun üretim sistemleri, yüksek metabolik hızları, çevresel faktörlerden kaynaklı reaktif oksijen türlerinin oluşması ve buna bağlı olarak DNA, protein ve lipidler, bağırsak sistemi, bağışıklık sistemlerinin olumsuz olarak etkilenmesi sonucu meydana gelen performans düşüşünü önlemek amacıyla kullanılması önem taşımaktadır (Surai, 2016). Ayrıca farklı sebeplerden kaynaklanan sindirim sistemi bozukluklarında, bölgenin tüm hücre epitelinde sürekli olarak hidrojen peroksit sentezlenerek sindirim sisteminde hasarlar oluşmaktadır (Muzquiz ve ark., 2012). Ayrıca sindirim sisteminin Reaktif oksikjene maruz kalması, bu organın tek katmanlı hücre tabakalarında trans-epitelyal elektrik dirençinde düşüşe ve buna bağlı olarak sindirim sisteminin epitel boyunca iyon taşınmasının azalmasına yol açmaktadır (Omonji ve ark., 2019). Sindirim sistemi içerisinde oluşan bu olumsuzluktan dolayı hücre zarının her iki tarafında elektriksel yük artmakta ve böylece sindirim sisteminin savunma mekanizması ortadan kaldırılarak birçok hastalığın oluşumu gerçekleşmektedir. (Lenernäs, 2007).

Son yıllarda kanatlı hayvanlarda farklı sebeplerden dolayı oluşan serbest radikallerin yok edilmesi amacıyla antibiyotiklere alternatif olarak farklı doğal yem katkı maddeleri kullanılmıştır (Fellenberg ve Speisky, 2006; Loetcher ve ark., 2013; Kaur ve ark., 2024). Yapılan araştırmaların birinde, esansiyel yağ karışımı (karvakro, sinemaldehit ve kapsikum) etlik piliçler üzerinde uygulanmış ve bu karışımın hayvanların karaciğerinde karotenoid ve Q10 enzim miktarını yükselttiği bildirilmiştir (Karadas ve ark., 2014). Buna benzer diğer bir araştırmada, karvakrol, kırmızı biber oleorezinini ve sinemaldehit karışımının Q10 ve E enzim miktarlarını artırdığı gözlenmiştir (Pirgozliev ve ark., 2019). Bu antioksidan maddelerinin hayvanın karkasında veya iç organında birikmesi, insanlar tarafından tüketilip sindirim ve emilimleri gerçekleştirildikten sonra antioksidan etkisi gösterdikleri beyan edilmiştir (Adaszyńska ve Szczerbińska, 2017).

Esansiyel yağların immünmodülatör etkileri

Bitkilerin ikincil metabolitlerinden elde edilen esansiyel yağlar taşıdıkları immünmodülatör özelliklerinden dolayı son dönemlerde tıp alanında kullanılmakta olup farklı yollardan bağışıklık sisteminin aktivitesini etkilemekte (Kiczorowska ve ark., 2020). Bu yağlar içerdikleri timol, karvakrol, öjenol, sineol ve mentolün bileşikler sayesinde bağışıklık hücrelerinin aktivitesini artırarak iltihaplanma boyunca savunma sistemini güçlendirdikleri bildirilmektedir (Hashemipour ve ark., 2013; Alagawany ve ark., 2021). Farklı sebeplerden dolayı Reaktif oksijen türlerinin birikmesi ve oksidatif stres olayının gerçekleşmesi bağışıklık sistemi hü-

relerinde hasarlar oluşturmaktadır. Esansiyel yağlarda bulunan fenolik bileşenler serbest radikalleri nötralize ederek hücre hasarlarını düşürüp, hücre savunmasını güçlendirmektedir. Bu sebepten dolayı, esansiyel yağların immünmodölatör etkilerinin bir şekilde bu yağların antioksidan özellikleriyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Yang ve ark., 2011). Ayrıca esansiyel yağlar, vücudun keni ürettiği katalaz, glutamin peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi savunma enzimlerinin aktivitesini artırarak oksidatif dengeyi ve bağışıklık sistem hücrelerinin maksimum düzeyde çalışmasını sağladığı bildirilmektedir (Hashepipour ve ark., 2013). Esansiyel yağların immünmodölasyon sürecinde etkili oldukları başka bir önemli etki, bu yağların sitokinlerin üretimi ve iltihaplanma yanıtının kontrolüdür. Konu ile ilgili yapılan araştırmalar bu yağ bileşiklerinin tümör, nekroz faktörü- α , interlökin-1 β ve interlökin-6 gibi iltihaplanmayı başlatan (Ptoinflamatuvar) sitokinlerin artmasını düşürerek aşırı iltihaplanmayı engellediğini göstermektedir. Ayrıca esansiyel yağlar, IL-2 ve interferon- γ gibi savunma hücrelerini destekleyerek sitokinlerin üretimini artırarak hücresel bağışıklık yanıtını güçlendirmektedir (Tiwari ve ark., 2018). Esansiyel yağların bağırsak üzerine yarattıkları olumlu etkiler sayesinde de iltihap oluşumunu engelledikleri bildirilmiştir. Bu etki, bağırsak ortamında bulunan yararlı bakterileri (*Lactobacillus* spp. ve *Bifdobacterium* spp.) destekleyerek zararlı bakterilerin (*Salmonella* spp. ve *E.Coli*) üremesini engelleyerek gerçekleştirmektedir (Girard ve ark., 2024).

Esansiyel yağların kanatlı beslemede kullanımı

Antibiyotiklerin büyüme uyarıcısı olarak kullanılmasına gelen yasaklamalar ardından bu maddenin yerine kullanılabilecek başka bir yem katkı maddesi arayışına girilmiştir. Esansiyel yağların biyolojik etkilerinden dolayı hayvanların performansını artırabilme potansiyeline de sahip oldukları bildirilmiştir (Zang ve ark., 2015). Özet olarak bu biyolojik özellikler;

1. Esansiyel yağlara antibakteriyel etkisi veren bileşikler sayesinde, bakterilerin hücre zarı bozulmakta ve hücre ölümü gerçekleşerek ortamında patojen mikroorganizmaların çoğalması engellenmektedir ve buna bağlı olarak sindirim etkinliği artmaktadır (Burt, 2004; Windisch ve ark., 2008).
2. Bu yağların antioksidan özellikleri sayesinde, reaktif oksijen türleri nötralize edilerek hücre düzeyinde oksidatif stresi azalmakta ve böylece kas dokularında lipidperoksidasyonu önlenip et kalitesi korunmaktadır (Yang ve ark., 2011).

3. İmmünmodölatör özellikleri sayesinde, bağırsaklarda hücresel ve hormonal etkiler düzenlenmekte, makrofaji aktivitesi, antikor üretimi ve lenfosit sayısı çoğalmakt, böylece hayvanın enfeksiyonlara karşı dayanıklılığı yükselmektedir (Hashemipour ve ark., 2013).

Bu konuda, aşağıda son yıllarda kanatlı hayvanların rasyonlarına yem katkı maddesi olarak ilave edilen farklı esansiyel yağların bazı deneme sonuçları verilmektedir.

Esansiyel yağların performans üzerine etkileri

Khan ve arkadaşları, etlik piliçlerin rasyonlarında 0, 0.15, 0.30 ve 0.40 ml/kg okaliptüs, narinciye, bromoheksin HCL, timol ve kafur karışımı ilavesinin hayvanlardaki canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranlarının etkilendiğini, ancak kümülatif yem tüketimleri ve ölüm oranlarının etkilendiğini bildirmişlerdi (Khan ve ark., 2024). Sevim ve arkadaşları damızlık bıldırcınların rasyonuna portakal kabuğu (300 mg/kg) ve limon kabuğundan (300 mg/kg) elde edilen esansiyel yağ ve karışımlarını (150+150 mg/kg) ilave ederek, hayvanların yem tüketimi, yumurta verimi, yumurta kalitesi ve yumurta kabuk kırılma direncini etkilendiğini, ancak canlı ağırlık, yumurta ağırlığı, yemden yararlanma oranı, kusurlu yumurta oranı, kabuk ağırlığı, kabuk kalınlığı, ak ve sarı indeksi, ve yumurta sarı rengi üzerine herhangi bir etkiye sahip olmadığını gözlemlemişlerdir (Sevim ve ark., 2021). Bir diğer çalışmada, esansiyel yağ asitlerinin Japon bıldırcınların performansı ve yumurta kalitesi üzerine olan etkilerini araştırmak amacıyla hayvanların rasyonuna 0, 25, 50, 100, 200 ve 400 mg/kg düzeylerde esansiyel yağ ilave edilmiş, sonuç olarak yumurta kabuk kalınlığı, yem tüketimi, yumurta ağırlığı, yumurta verimlerinin deneme rasyonlarından etkilendiği, ancak hayvanların canlı ağırlıkları, yemden yararlanma oranı, hasarlı yumurta oranı, kabuk kırılma direnci, ak ve sarı oranı, ak ve sarı indeksi ve Haugh birimlerinin bu yemlerden etkilendiği rapor edilmiştir (Tatlı ve Olgun., 2021). Diğer yandan Badiri ve Saber (2016), Japon bıldırcınlar üzerine yaptıkları bir çalışmada, hayvanların rasyonuna %0, 50, 100 ve 200 mg/kg kekik esansiyel yağı ekleyerek canlı ağırlık kazancının etkilendiğini ancak hayvanların yem tüketimi ve yemden yararlanma oranlarının etkilendiğini bildirilmişlerdir. Şerner ve Cufadar (2023), %0.15, 0.30, 0.45 ve 0.65 düzeylerinde nane yağının Japon bıldırcınların rasyoa ilavesinin hayvanlardaki canlı ağırlık kazancı, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranları üzerine bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Taniazzo ve ark. (2025), etik piliç rasyonlarına 100 g/ton sinamaldehit, karvakrol, timol, 1000 g/ton kaju ve hint yağı, 150 g/ton okaliptüs, karvakrol, sinamaldehit ve kırmızıbiber oleoresi, 300 g/ton organik asitler ve uçucu yağ karışımları ekleyerek bu

yem katlı maddelerin performans üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara göre, hayvanların 0-21 günler arasındaki yem tüketimi, yemden yararlanma oranı ve canlı ağırlık kazançlarının bu deneme rasyonlarından etkilendiği, ancak denemenin 42. gününde bu etkilerin tamamının ortadan kalktığı gözlenmiştir.

Esansiyel yağların karkas özelliğine etkileri

Japon bildirincınlar üzerine yapılan bir araştırmada, % 0, 0.15, 0.30, 0.45 ve 0.65 düzeylerinde nane yağının rasyona ilavesi, hayvanlardaki karkas ağırlığı, karkas randımaı, karaciğer, kalp ve bağırsak uzunluğunu etkilemediğini göstermiştir (Şener ve Cufadar, 2023). Çolak ve Yıldız (2024), yaptıkları bir çalışmada, etkil piliç rasyonuna 0, 50, 100, 150 ve 200 mg/kg lavanta esansiyel yağı ilavesinin hayvanlardaki karkas, but ve göğüs ağırlıklarının etkilemediğini bildirmişlerdir. Diğer yandan Özlem ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada, yerli Türk kazların yemlerine %0, %1 ve %2 oranında Biomin esansiyel yağ ilavesinin hayvanlardaki kesim ağırlığı, karkas yüzdesi, karaciğer ağırlığı, taşlık ve kalp ağırlığı üzerine herhangi bir etki yaratmadığı bildirilmiştir (Özlem ve ark., 2020). Japon bildirincınlarda kekik esansiyel yağının karkas parametreleri üzerine olan etkilerin araştırılması amacıyla hayvanların rasyonlarına %0, 50, 100 ve 200 mg/kg kekik yağı ilave edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, hayvanların karkas, karaciğer, göğüs ve kanat ağırlıklarının bu yemden etkilenmediği ancak but ve boyun ağırlıklarının etkilendiği bildirilmiştir (Badiri ve Saber, 2016). Bir başka araştırmada ise, 34 santigrat derecelik bir sıcaklık stresine maruz bırakılan etlik piliç rasyonlarına 250 ve 300 mg/kg kekikten elde edilen esansiyel yağı ve bu yağın A (15000 IU/kg), C (250 mg/kg) ve E (250 mg/kg) gibi vitaminlerle hayvanların rasyonuna ilavesinin, sıcak karkas, soğuk karkas, but, göğüs, kanat, boyun, karaciğer ve kalp ağırlıklarını etkilemediği bildirilmiştir (Sarıözkan ve ark., 2020).

Esansiyel yağların kan parametreleri üzerin etkileri

İslam ve ark (2025), etlik piliçlerin rasyonuna 300, 400 ve 500 mg/kg kekik esansiyel yağı ilave ederek, bu rasyonların hayvanlardaki kan parametreleri üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu araştırmacıların bulgularına göre kandaki total kolesterol, HDL, LDL ve trigliserid oranlarının bu rasyonlardan etkilenmediği saptanmıştır. Saied ve arkadaşları tarafından (2022), yürütölen bir araştırmada tarçından elde edilen esansiyel yağı 0, 500, 100 ve 1500 mg/kg düzeylerinde etlik piliç yemlerine ilavesi, hayvanlardaki total protein, albümin, globulin, trigliserid, LDL ve HDL oranlarının etkilendiği ancak, albümin globulin oranı ve HDL miktarlarının etkilenmediğini bildirilmişlerdir. Yapılan bir diğer çalış-

mada, etlik piliç rasyonlarına 50, 100, 200 ve 400 mg/kg esansiyel yağ ilavesinin, hayvanlarda malonaldehide, antioksidan kapasitesi ve glutathione peroksidaz miktarlarını etkilemediği, ancak superoksit dismutaz miktarının 200 ve 400 olan gruplarda etkilediğini açıklanmıştır (Tatlı ve ark., 2021). Etlik piliçler üzerine gerçekleştirilen bir başka çalışmada, hayvanların rasyonuna % 0, 500, 750 ve 100 mg/kg esansiyel yağ karışımı (%11 karvakrol ve thymol) ve palygorskite (%89) karışımları ilave edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre hayvanlardaki IgA, IgG, IgM, tümör nekroz faktörü- β , interleukin-2, toplam antioksidan kapasitesi, superoksid dismutaz, glutathione peroksidaz, HDL ve LDL miktarlarının deneme rasyonlarından etkilendiği, fakat, AST, trigliserit, total kolesterol, globolin, albümin, total protein ve glukoz miktarlarının etkilenmediği bildirilmiştir (He ve ark., 2023). Ayrıca Su ve ark (2020), yaptıkları bir çalışmada etlik piliç rasyonlarına 50, 100, 200 ve 400 mg/kg esansiyel yağ ilavesinin, hayvanlarda malonaldehide, antioksidant kapasitesi ve glutathione peroksidaz miktarlarını etkilemediği, ancak superoksit dismutaz miktarının 200 ve 400 olan gruplarda etkilediğini açıklanmışlardır.

Esansiyel yağların bağırsak morfolojisi üzerine etkileri

Arslan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, yumurtacı tavukların rasyonuna 20, 100 ve 200 mg/kg öjenol, nerolidol, piperin, timol, linalool ve geranio karışımları eklenmiş olup, bu esansiyel yağ karışımının duodenum, jejunum ve ileum kısımlarında villus yüksekliği, kript derinliği, villus genişliği, tunika muskularis ve kadeh hücre sayıları üzerine etkili olduğu gözlenmiştir (Arslan ve ark, 2021). Etlik piliçler üzerinde yapılan bir diğer araştırmada ise, hayvanların rasyonuna 100, 200 ve 400 ppm düzeylerinde *Origanum onites* esansiyel yağ ilave edilmesinin, hayvanlardaki jejunumunda villusların yükselmesine sebep olduğu bildirilmiştir (Saraç ve Yörük, 2023). Diğer yansan Salman (2022), yaptığı çalışmada, Lavander yağını toz (% 0.5 ve %1) ve in ovo yöntemiyle (0.05 ve 0.1 ml) kullanmanın, hayvanlardaki villus yüksekliği, kript derinliği, uç genişliği, taban genişliği, kas kalınlığı ve villus kript oranlarını etkilediğini gözlemlemiştir. Yapılan bir diğer araştırmada etlik piliçleri 6 farklı gruba (1: 0.015cc/l esansiyel yağ +0.5cc/l aromatik yağ; 2: 2cc/l aromatik yağ; 3: 0.06 cc/l Esansiyel yağ + 1.5 cc/l aromatik yağ; 4: 0.03 esansiyel yağ + 1cc/l aromatik yağ, G5: 0.12 cc/l esansiyel yağ, 6: katkısız grup) ayırarak hayvanların bağırsak morfolojisi incelenmiş ve hayvanların duodenum, jejunum ve ilum kısımlarında villus uzunluğu, villus kalınlığı ve kript derinliklerinin deneme rasyonundan etkilendiği saptanmıştır (Saed ve ark., 2024).

Sonuç ve Öneriler

Genel olarak, esansiyel yağların gösterdikleri antibakteriyel, antioksidan ve immünmodölatör gibi özellikleri sayesinde hayvanlarda oksidatif stresi azaltmak, bağırsaktaki bakteriyel popülasyonunu dengelemek, iltihaplaşmayı kontrol altına almak mümkün görülmektedir. Bu yüzden, günümüzde antibiyotik kullanımının kanatlı hayvan üretiminde performans üzerine olan etkisi nedeniyle sınırlandırılması ve yasaklanması, alternatif olarak esansiyel yağ kullanımını desteklemektedir.

Esansiyel yağların gösterdikleri etkiler, bu yağların dozaj, karışımları ve uygulama süreçlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu yüzden farklı esansiyel yağlar ve çeşitli esansiyel yağ karışımların etkilerini gösterecek daha fazla uygulama ve araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, esansiyel yağların kullanım sonrası biyoyararlanma ve in ovo uygulamalarındaki etkileri üzerine yapılacak ek deneyler bu yağlar hakkında daha fazla bilgi verilmesi için büyük fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Abers, M., Schroeder, S., Goelz, L., Sulser, A., Rose, T.S., Puchalski, K., & Langland, J. (2021). Antimicrobial activity of volatile substances from essential oils. *BMC. Complement Med. Ther.* 21 (124). <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03285-3>.
2. Adaszyńska-Skwirzyńska, M., & Szczerbińska, D. (2017). Use of essential oils in broiler chicken production-a review. *Annals of Animal Science*, 17(2), 317.
3. Aksoy, T., & Özcan, M. (2019). *Hayvan besleme ve yem bilgisi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
4. Alagawany, M., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., & Dhama, K. (2021). The use of essential oils as a feed additive in poultry nutrition: A review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.1.1.12>
5. Alali W.Q., Hofacre C.L., Mathis G.F., & Faltys G. (2013). Effect of essential oil compound on shedding and colonization of *Salmonella enterica* serovar Heidelberg in broilers. *Poultry Sci.*, 3: 836– 841.
6. Amerah AM, Ouwehand AC. Use of essential oils in poultry production. In: Victor RP, editor. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Elsevier Inc.; 2016. p. 101–10.
7. Angane, M., Swift, S., Huang, G., & Butts, C. A. (2022). Phytogetic feed additives in animal nutrition: Current trends, challenges, and future prospects. *Animal Feed Science and Technology*, 283, 115176.
8. Anuranj, A., Singh, K., & Chauhan, N. (2022). Role of essential oils in animal feed: A review on antimicrobial and antioxidant properties. *Veterinary World*, 15(9), 2247–2256.
9. Arslan, C., Pirinç, A., Eker, N., Sur, E., Ündağ, İ., & Kuşat, T. (2021). Dietary encapsulated essential oil mixture influence on apparent nutrient digestibility, serum metabolic profile, lymphocyte histochemistry and intestinal morphology of laying hens. *Animal bioscience*, 35(5), 740.
10. Ayalew, H., Zhang, H., Wang, J., Wu, S., Qiu, K., Qi, G., ... & Chanie, D. (2022). Potential feed additives as antibiotic alternatives in broiler production. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 916473.
11. Badiri, R., & Saber, S. N. (2016). Effects of dietary oregano essential oil on growth performance, carcass parameters and some blood parameters in Japanese male quail. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 4(5), 17-22.
12. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
13. Barbosa, L.N., Alves, F.C.B., Andrade, B.F.M.T., Albano, M., Rall, V.L.M., Fernandes, A.A. H., Buzalaf, M.A.R., Leite, A.L., Pontes, L.G., Santos, L.D., & Fernandes Junior, A. (2020). Proteomic analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella Enteritidis* submitted to the inhibitory

- effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol. *J. Proteom.* 214 (1). <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103625>.
14. Bassolé, I. H. N., & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006 <https://doi.org/10.3390/molecules17043989>
 15. Bona, T.D.M.M., Pickler, L., & Miglino, L.B. (2012). 'Oleo essencial de orégano, alecrim, canela e extrato de pimenta no controle de *Salmonella*, *Eimeria* e *Clostridium* em frangos de corte. *Pesq. Vet. Bras.* 32 (5). <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012000500009>.
 16. Brenes, A., & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*, 158(1–2), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.007>.
 17. Burt S (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International journal of food microbiology*, 94: 223-253.
 18. Burt, S.A., Zee, R.V.D., Koets, A.P., Graaff, A.M.(2007). Carvacrol induces heat shock protein 60 and inhibits synthesis of flagellin in *Escherichia coli* O157:H7. *Appl. Environ. Microb.* 73 (14), 4484–4490. <https://doi.org/10.1128/AEM.00340-07>.
 19. Castanon, J. I. R. (2007). History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Science*, 86(11), 2466–2471. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00249>.
 20. Cerisuelo A., Marín C., Sánchez - Vizcaíno F., Gómez E.A., delaFuente J.M., Durán, R., & Fernández C. (2014). The impact of a specific blend of essential oil components and sodium butyrate in feed on growth performance and *Salmonella* counts in experimentally challenged broilers. *Poultry Sci.*, 3: 599–606.
 21. Chao, S., Young G., & Nakaoka, K. (2008). Inhibition of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) by essential oils. *Flav. Frag. J.*, 23: 444–449.
 22. Chowdhury, S., & Roy, B. (2022). Potential feed additives as alternatives to antibiotics in poultry nutrition: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 916473. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.916473>.
 23. Cimino, C., Maurel, O.M., & Musumeci, T. (2021). Essential oils: pharmaceutical applications and encapsulation strategies into lipid-based delivery systems. *Pharmaceutics* 13, 327. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13030327>.
 24. Cowan. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Cli. Microbio. Rev.* 12: 564–582.
 25. Çolak, A. B. D. U. L. L. A. H., & Yıldız, A. (2024). The effect of lavender essential oil on performance, carcass characteristics and serum parameters of broilers. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(2), 7485-7492.

26. Devi S., Chauhan S., Mannan A., & Singh, T.G. (2023). Targeting cardiovascular risk factors with eugenol: An anti-inflammatory perspective. *Inflammopharmacology*, December 12.
27. Edris, A.E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review. *Phytother. Res.*, 21: 308–323.
28. El-Dayem, G.A.A., Shalaby, M., & Elkenawy, M.E., (2024). Effects of some essential oils on growth performance and *Campylobacter jejuni* in broilers. *J. Adv. Vet. Res.* 14 (3), 384–389. [〈https://advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/1589〉](https://advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/1589). Available in).
29. El-Hack, M.E.A., El-Saadony, M.T., & Salem, H.M. (2022). Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production. *Poult. Sci.* 101 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101696>.
30. Esper, R.H., Goncalvez, E., Marques, M.O., Felicio, R.C., & Felicio, J.D. (2014). Potential of essential oils for protection of grains contaminated by aflatoxin produced by *Aspergillus flavus*. *Frontiers Microbiol.*, 5: 1–5.
31. Fellenberg, M. A., & Speisky, H. (2006). Antioxidants: Their effects on broiler oxidative stress and its meat oxidative stability. *World's Poultry Science Journal*, 62(1), 53–70. <https://doi.org/10.1079/WPS200584>
32. Food and Agriculture Organization. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>.
33. Food and Agriculture Organization. (2023). FAO Statistical Yearbook 2023. FAO. <https://www.fao.org/statistics>.
34. Frazzon, A. P. G., Correa, M. S., Lauer Júnior, C. M., & Frazzon, J. (2018). Modulation of gene expression by essential oils in bacteria. *Advances in biotechnology & microbiology*. Newbury, CA. Vol. 8, no. 2 (Feb. 2018), 555731, p. 1-3.
35. Galgano, M., Pellegrini, F., & Fracchiolla, G. (2023). Pilot study on the action of *Thymus vulgaris* essential oil in treating the most common bacterial contaminants and *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Derby in poultry litter. *Antibiotics* 12 (3), 436. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030436>.
36. Girard, M., Gauthier, R., & Giannenas, I. (2024). Effects of essential oils on gut microbiota and immunity in broilers challenged with *Salmonella* and *Campylobacter*. *Poultry Science*, 103(2), 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102764>
37. Gopi M., Karthik K., Manjunathachar H.V., Tamilmahan P., Kesavan M., Dashprakash M., Balaraju B.L., Purushothaman M.R. (2014). Essential oils as a feed additive in poultry nutrition. *Adv. Anim. Vet. Sci.*, 1: 1–7.
38. Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2020). Advanced nutrition and human metabolism (7th ed.). Cengage Learning.

39. Hafiz, M. I., Ishaq, W., Usman, M., Ghayas, A., Yameen, R. M. K., Saleem, K., & Ahmad, S. (2025). Non-Antibiotic Growth Promoters in Poultry Nutrition—A Review. *Annals of Animal Science*, 25(4), 1249-1275.
40. Hammer K.A., Carson C.F., Riley T.V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J. Appl. Microbiol.*, 86: 985–990.
41. Hashemipour, H., Kermanshahi, H., Golian, A., & Veldkamp, T. (2013). Effect of thymol and carvacrol feed supplementation on performance, antioxidant enzyme activities, and immune response in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(8), 2059–2069. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02685>
42. Hay, R. K. M., & Waterman, P. G. (1993). *Volatile oil crops: Their biology, biochemistry and production*. London: Longman Scientific & Technical.
43. He, C., Liu, Y., Dai, Y., Yao, Y., Li, M., Xie, J., ... & Deng, Y. (2023). The influence of plant essential oil/palygorskite composite on growth performance, blood parameters and intestinal morphology of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 22(1), 1073-1082.
44. Hood, J.R., Burton, D.M., Wilkinson, J.M., & Cavanagh, H.M. (2010). The effect of *Leptospermum petersonii* essential oil on *Candida albicans* and *Aspergillus fumigatus*. *Med. Mycol.*, 7: 922–931.
45. Hulánková R., & Bořilová G. (2011). In vitro combined effect of oregano essential oil and caprylic acid against *Salmonella* serovars, *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Acta Vet. Brno*, 80: 343–348.
46. Islam, M. S., Mir, D. A., Nazir, M. E., Islam, S., Hossain, S. I., Hasan, M. I., ... & Sultana, S. Effects of Supplementation of Oregano Essential Oil on the Growth Efficiency and Blood Biochemical Parameters of Broiler Chickens.
47. Jia, Z., Dumont, M. J., & Orsat, V. (2016). Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Biosci* 15: 87–104.
48. Jugreet, B.S.; Suroowan, S.; Rengasamy, R.R.K.; Mahomoodally, M.F. Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. *Trends Food Sci. Technol.* 2020, 101, 89–105.
49. Karadas, F., Pirgozliev, V., Rose, S. P., Dimitrov, D., Oduguwa, O., & Bravo, D. (2014). Dietary essential oils improve the hepatic antioxidative status of broiler chickens. *British poultry science*, 55(3), 329-334.
50. Kaur, R., Singh, H., & Devi, S. (2024). Essential oils as natural antioxidants in poultry nutrition: Mechanisms and benefits. *Animal Feed Science and Technology*, 318, 115891.
51. Khan, M. T., Rehman, M. F., Arslan, M., Javaid, A., Farooq, U., Asad, T., ... & Kumar, M. (2024). Effect of Blend of Essential Oils on Growth Performance, Carcass Characteristics, Meat Quality, Intestinal Morphology, Serum Biochemistry, and Immune Response of Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 26(01), eRBCA-2023.
52. Kiczorowska, B., Samolińska, W., & Kiczorowski, P. (2020). The natural feed additives as immunomodulators in poultry – A review. *Annals of Animal Science*, 20(4), 1209–1228. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0037>

53. Krishan, G., & Narang, A. (2014). Use of essential oils in poultry nutrition: A new approach. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 1(4), 156-162.
54. Kulkarni, M., Greiser, U., O'Brien, T., & Pandit, A. (2010). Liposomal gene delivery mediated by tissue-engineered scaffolds. *Trends in biotechnology*, 28(1), 28-36.
55. Laxminarayan, R., Van Boeckel, T., & Teillant, A. (2014). Benefits and risks of antimicrobial use in food-producing animals. *Frontiers in Microbiology*, 5, 288. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00288>.
56. Lennernäs, H. Animal Data: The Contributions of the Ussing Chamber and Perfusion Systems to Predicting Human Oral Drug Delivery In Vivo. *Adv. Drug Deliv. Rev.* **2007**, 59, 1103–1120.
57. Li, Z. H., Cai, M., Liu, Y. S., Sun, P. L., & Luo, S. L. (2019). Antibacterial activity and mechanisms of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis*. *Molecules*, 24(8), 1577.
58. Loetscher, Y., Kreuzer, M., & Messikommer, R. E. (2013). Oxidative stability of meat from broilers receiving diets containing different plant extracts. *Poultry Science*, 92(9), 2431–2437. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03049>
59. McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition* (7th ed.). Pearson Education Limited.
60. Meenu, M., Padhan, B., Patel, M., Patel, R., & Xu, B. (2023). Antibacterial activity of essential oils from different parts of plants against *Salmonella* and *Listeria* spp. *Food Chemistry*, 404, 134723.
61. Meligy, A. M., Abd El-Hamid, M. I., Yonis, A. E., Elhaddad, G. Y., Abdel-Raheem, S. M., El-Ghareeb, W. R., ... & Ibrahim, D. (2023). Liposomal encapsulated oregano, cinnamon, and clove oils enhanced the performance, bacterial metabolites antioxidant potential, and intestinal microbiota of broiler chickens. *Poultry Science*, 102(6), 102683.
62. Mimica-Dukić, N.; Orčić, D.; Lesjak, M.; Šibul, F. Essential oils as powerful antioxidants: Misconception or scientific fact. In *ACS Symposium Series*; American Chemical Society: Washington, DC, USA, 2016; Volume 1218, pp. 187–208.
63. Mo, K., Li, J., Liu, F., Xu, Y., Huang, X., & Ni, H. (2022). Superiority of microencapsulated essential oils compared with common essential oils and antibiotics: effects on the intestinal health and gut microbiota of weaning piglet. *Frontiers in Nutrition*, 8, 808106.
64. Moharreri, M., Vakili, R., & Oskoueian, E. (2022). Evaluation of microencapsulated essential oils in broilers challenged with salmonella enteritidis: a focus on the body's antioxidant status, gut microbiology, and morphology. *Archives of Razi Institute*, 77(2), 629.
65. Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245–256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>.

66. Movahedi, S., Pourmehdi, M., & Alizadeh, M. (2024). Nanoencapsulation of essential oils for improved bioavailability in animal feed applications: A review. *Journal of Applied Animal Research*, 52(3), 431–443.
67. Mulyaningsih, S., Sporer, F., Reichling, J., Wink, M. (2011). Antibacterial activity of essential oils from *Eucalyptus* and of selected components against multidrug-resistant bacterial pathogens. *Pharmaceut. Biol.*, 9: 893–899.
68. Muzquiz, M.; Varela, A.; Burbano, C.; Cuadrado, C.; Guillamón, E.; Pedrosa, M.M. Bioactive Compounds in Legumes: Pronutritive and Antinutritive Actions. Implications for Nutrition and Health. *Phytochem. Rev.* **2012**, 11, 227–244.
69. Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>.
70. Nimbarte S., Kulkarni A. (2013). Comparative phytochemical analysis and resilience pattern exhibited by thyme and tea tree oil against selected poultry isolates. *J. Agri. Vet. Sci.*, 4: 113–117.
71. Nowak, A., & Szymańska, E. (2025). Non-antibiotic growth promoters in poultry nutrition—current status and future perspectives. *Annals of Animal Science*, 25(1), 77–92. <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0008>.
72. Oliveira Filho, J. G. D., Duarte, L. G., Silva, Y. B., Milan, E. P., Santos, H. V., Moura, T. C., ... & Ferreira, M. D. (2023). Novel approach for improving papaya fruit storage with carnauba wax nanoemulsion in combination with *Syzgium aromaticum* and *Mentha spicata* essential oils. *Coatings*, 13(5), 847.
73. Oliveira, G. D. S., Nascimento, S. T., Dos Santos, V. M., & Silva, M. G. (2020). Clove essential oil in the sanitation of fertile eggs. *Poultry Science*, 99(11), 5509-5516.
74. Omonijo, F. A., Liu, S., Hui, Q., Zhang, H., Lahaye, L., Bodin, J. C., ... & Yang, C. (2018). Thymol improves barrier function and attenuates inflammatory responses in porcine intestinal epithelial cells during lipopolysaccharide (LPS)-induced inflammation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(2), 615-624.
75. Ownagh, A. O., Hasani, A., Mardani, K., & Ebrahimzadeh, S. (2010, September). Antifungal effects of thyme, agastache and satureja essential oils on *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus* and *Fusarium solani*. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 1, No. 2, pp. 99-105). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University.
76. Oyen, L. P. A., & Dung, N. X. (1999). *Plant resources of South-East Asia No. 19: Essential-oil plants*. Leiden, Netherlands: Backhuys Publishers.
77. Ölmez, M., Şahin, T., Karadağoglu, Ö., Karadağ Sari, E., Adigüzel Işık, S., Kirmizibayrak, T., & Yörük, M. (2020). The impact of an essential oil mixture on growth performance and intestinal histology in native Turkish geese (*Anser anser*) Yerli türk kazlarında (*Anser anser*) esansiyel yağ karışımının büyüme performansı ve bağırsak histolojisi üzerine etkisi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(5).

78. Permin, A., & Bisgaard, M. (2000). A general review on diseases in poultry in developing countries. The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg, Denmark.
79. Petrová, J., Pavelková, A., Hleba, L., Pochop, J., Rovná, K., & Kačániová, M. (2013). Microbiological Quality of Fresh Chicken Breast Meat after Rosemary Essential Oil Treatment and Vacuum Packaging. *Scientific Papers: Animal Science & Biotechnologies/Lucrari Stiintifice: Zootehnie si Biotehnologii*, 46(1).
80. Pirgozliev, V., Mansbridge, S. C., Rose, S. P., Mackenzie, A. M., Beccaccia, A., Karadas, F., ... & Bravo, D. (2019). Dietary essential oils improve feed efficiency and hepatic antioxidant content of broiler chickens. *Animal*, 13(3), 502-508.
81. Rapper, S., Kamatou, G., Viljoen, A., & van Vuuren, S. (2013). The in vitro antimicrobial activity of *Lavandula angustifolia* essential oil in combination with other aroma-therapeutic oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013(1), 852049.
82. Roofchae, A., Irani, M., Ebrahimzadeh, M. A., & Akbari, M. R. (2011). Effect of dietary oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil on growth performance, cecal microflora and serum antioxidant activity of broiler chickens. *African Journal of Biotechnology*, 10(32), 6177-6183.
83. Rungqu, P., & Oyedeji, O. (2025). Chemical Composition, Analgesic, and Anti-Inflammatory Properties of *Pelargonium odoratissimum* Essential Oils (L.) L'Hérit. *Pharmaceuticals*, 18(10), 1428.
84. Saad, M. H., Hameed, S. S., & Ali, A. J. (2024). Effect of some essential oil and organic acids on blood, lipid profile and intestinal health in broiler chickens. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 55(6), 2006-2011.
85. Saied, A. M., Attia, A. I., El-Kholy, M. S., Reda, F. M., & Nagar, A. E. (2022). Effect of cinnamon oil supplementation into broiler chicken diets on growth, carcass traits, haemato-biochemical parameters, immune function, antioxidant status and caecal microbial count. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 31(1), 21-33.
86. Salman, S. M. (2022). Effect of in ovo injected of lavender (*lavandula angustifolia*) essential oil or dietary supplementation powder on growth performance, gut health and serum biochemical of broiler (Doctoral dissertation).
87. Saraç, H. G. (2023). The Effects of Dietary Supplementation with *Origanum onites* Essential Oil on Growth Performance, Some Blood Parameters, Jejunal Villus Height, and Meat Quality in Broiler Chickens. *Veterinary Sciences and Practices*, 18(2), 76-82.
88. Sariözkan, S., Güçlü, B. K., Konca, Y., Aktuğ, E., Kaliber, M., Beyzi, S. B., & Şentürk, M. (2020). The effects of thyme essential oil and vitamin combinations on performance, carcass quality and oxidation parameters in broilers exposed to heat stress. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 67(4), 357-364.

89. Severino, R., Ferrari, G., Vu, K. D., Donsi, F., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2015). Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella Typhimurium* on green beans. *Food control*, 50, 215-222.
90. Sevim, B., Gökmen, S. A., Curabay, B., Cufadar, Y., & Bahtiyarca, Y. (2021). Damızlık bildircin rasyonlarına portakal ve limon kabuğu esansiyel yağları ve karışımlarının ilavesinin performans, yumurta kalitesi ve kuluçka parametrelerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(11), 1988-1992.
91. Sharifi-Rad, M., Varoni, E. M., Iriti, M., Martorell, M., Setzer, W. N., del Mar Contreras, M., ... & Sharifi-Rad, J. (2018). Carvacrol and human health: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 32(9), 1675-1687.
92. Sienkiewicz, M., Łysakowska, M., Denys, P., & Kowalczyk, E. (2012). The antimicrobial activity of thyme essential oil against multidrug resistant clinical bacterial strains. *Microbial drug resistance*, 18(2), 137-148.
93. Silva, F. V., Guimarães, A. G., Silva, E. R., Sousa-Neto, B. P., Machado, F. D., Quintans-Júnior, L. J., ... & Oliveira, R. C. (2012). Anti-inflammatory and anti-ulcer activities of carvacrol, a monoterpene present in the essential oil of oregano. *Journal of medicinal food*, 15(11), 984-991.
94. Solorzano-Santos, F., & Miranda-Novales, M. G. (2012). Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. *Current opinion in biotechnology*, 23(2), 136-141.
95. Stingelin, G. M., Scherer, R. S., Machado, A. C., Piva, A., Grilli, E., & Penha Filho, R. C. (2023). The use of thymol, carvacrol and sorbic acid in microencapsules to control *Salmonella Heidelberg*, *S. Minnesota* and *S. Typhimurium* in broilers. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1046395.
96. Su, G., Wang, L., Zhou, X., Wu, X., Chen, D., Yu, B., ... & He, J. (2021). Effects of essential oil on growth performance, digestibility, immunity, and intestinal health in broilers. *Poultry Science*, 100(8), 101242.
97. Surai, P. F. (2016). Antioxidant systems in poultry biology: superoxide dismutase. *Journal of Animal Research and Nutrition*, 1(1), 8.
98. Swayne, D. E. (2013). *Diseases of poultry*. John Wiley & Sons.
99. Şener, M., & Cufadar, Y. (2023). Japon Bildircini Rasyonlarına Farklı Seviyelerde Nane (*Mentha piperita* L.) Yağı İlavesinin Performans, Karkas Özellikleri ve Serum Parametrelerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(1), 174-178.
100. Tatlı, Y., & Olgun, O. (2021). Rasyona Lavanta Esansiyel Yağı İlavesinin Yumurtlayan Bildircinlarda Performans, Yumurta Kalitesi ve Serum Parametreleri Üzerine Etkisi. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 10(1), 20-27.
101. Tiring, G., Satar, S., & Özkaya, O. (2021). Sekonder metabolitler. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(1), 203-215.

102. Tiwari, R., Chakraborty, S., Dhama, K., Rajagunalan, S., & Singh, S. V. (2018). Antibiotic resistance: A concern of emerging threats to poultry production and its impacts on human health. *International Journal of Pharmacology*, 14(5), 632–641. <https://doi.org/10.3923/ijp.2018.632.641>
103. Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of food science*, 79(7), R1231-R1249.
104. Toniazzo, G., Ranna, L. F., dos Santos Andrade, T., Pereira, M. F. C., Henz, E. M., Gris, B., ... & Nunes, R. V. (2025). Mistura de óleos essenciais na dieta de frangos de corte sobre o desempenho, saúde intestinal e atividade de enzimas antioxidantes. *Semina: Ciências Agrárias*, 46(4), 1005-1024.
105. Toraman, M. C., Bayat, A., & Karakaya, M. (2025). Determination of Operator Potential Risk Level from Pesticide Applications in Hazelnut Orchards. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(4), 4821-4832.
106. Turgis, M., Han, J., Caillet, S., & Lacroix, M. (2009). Antimicrobial activity of mustard essential oil against *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhi*. *Food control*, 20(12), 1073-1079.
107. Vaara, M. (1992). Agents that increase the permeability of the outer membrane. *Microbiological reviews*, 56(3), 395-411.
108. Venkitanarayanan, K., Kollanoor-Johny, A., Darre, M. J., Donoghue, A. M., & Donoghue, D. J. (2013). Use of plant-derived antimicrobials for improving the safety of poultry products. *Poultry science*, 92(2), 493-501.
109. Visvalingam, J., Palaniappan, K., & Holley, R. A. (2017). In vitro enhancement of antibiotic susceptibility of drug resistant *Escherichia coli* by cinnamaldehyde. *Food Control*, 79, 288-291.
110. Wang, H. F., Yih, K. H., Yang, C. H., & Huang, K. F. (2017). Anti-oxidant activity and major chemical component analyses of twenty-six commercially available essential oils. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(4), 881-889.
111. Wang, H., Liang, S., Li, X., Yang, X., Long, F., & Yang, X. (2019). Effects of encapsulated essential oils and organic acids on laying performance, egg quality, intestinal morphology, barrier function, and microflora count of hens during the early laying period. *Poultry science*, 98(12), 6751-6760.
112. Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of animal science*, 86(suppl_14), E140-E148.
113. World Health Organization. (2020). Healthy diet: Fact sheet. WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.
114. Yang, J., Qu, Z., Xiao, Y. L., Qiu, G. F., Zhang, T., Wu, Z. Y., ... & Hu, X. M. (2011). Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of endemic *Viola tianshanica*. *Natural Product Research*, 25(17), 1635-1640.
115. Yang, Y., Iji, P. A., & Choct, M. (2009). Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal*, 65(1), 97-114.

116. Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of animal science and biotechnology*, 6(1), 7.
117. Zengin, H., & Baysal, A. H. (2014). Antibacterial and antioxidant activity of essential oil terpenes against pathogenic and spoilage-forming bacteria and cell structure-activity relationships evaluated by SEM microscopy. *Molecules*, 19(11), 17773-17798.
118. Zhang, L. Y., Peng, Q. Y., Liu, Y. R., Ma, Q. G., Zhang, J. Y., Guo, Y. P., ... & Zhao, L. H. (2021). Effects of oregano essential oil as an antibiotic growth promoter alternative on growth performance, antioxidant status, and intestinal health of broilers. *Poultry science*, 100(7), 101163.
119. Zhang, S., Shen, Y. R., Wu, S., Xiao, Y. Q., He, Q., & Shi, S. R. (2019). The dietary combination of essential oils and organic acids reduces *Salmonella enteritidis* in challenged chicks. *Poultry Science*, 98(12), 6349-6355.
120. Zhang, Y., Li, X. Y., Zhang, B. S., Ren, L. N., Lu, Y. P., Tang, J. W., ... & Mo, M. L. (2022). In vivo antiviral effect of plant essential oils against avian infectious bronchitis virus. *BMC Veterinary Research*, 18(1), 90.

//

Bölüm 9

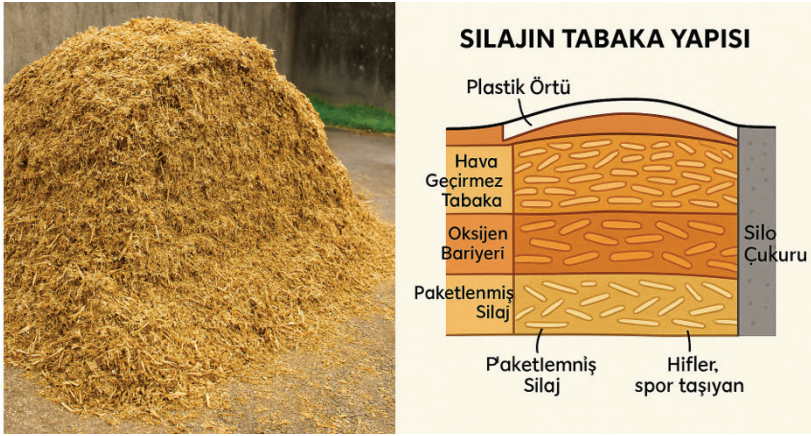
SİLAJ ORTAMINDA MİKROORGANİZMALARIN ROLÜ VE ETKİLERİ

Cemal POLAT¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni
Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-7419-2864.

SİLAJ ORTAMINDA MİKROORGANİZMALARIN ROLÜ VE ET-KİLERİ

Silaj; su bakımından zengin yeşil yemlerin, bazı bitkisel ürünlerin ve endüstriyel-tarımsal artıkların anaerobik (oksijensiz) koşullarda fermentasyona uğratılması ile elde edilen fermente bir kaba yemdir (Şekil 1). Bu süreçte laktik asit bakterileri tarafından üretilen organik asitler sayesinde pH düşer, zararlı mikroorganizmaların gelişimi engellenir ve yem uzun süre bozulmadan saklanabilir (Kızılsimşek, Erol, Dönmez, Katrancı, 2016). Özellikle mısır, sorgum, yonca ve çayır otları gibi yüksek verimli yem bitkileri silaj yapımında tercih edilir. Silaj, yeşil yemlerin turşulaştırılması olarak da tanımlanabilir ve kış aylarında yeşil yem alternatifi sunan tek ekonomik kaynak olarak kabul edilir (Şahin ve Zaman, 2010).



Şekil 1. Silajın yapısını ve kullanımının görselleştirilmesi ve Silaj tabakası (Microsoft Copilot ile görsel oluşturulmuştur)

Silajın Avantajları:

Literatürde silajın avantajları çok yönlü olarak ele alınmıştır:

- Besin madde kaybı kuru ota göre daha düşüktür. McDonald (1981), silajın kuru otlara kıyasla protein ve enerji kaybını minimize ettiğini vurgulamıştır.
- Her işletmede kolaylıkla üretilebilir. Ergül (1997), silajın küçük ve büyük ölçekli işletmelerde düşük maliyetle üretilebildiğini belirtmiştir.
- Hayvan performansını artırır. Woolford (1999), iyi fermente olmuş silajın yem tüketimini ve süt verimini olumlu etkilediğini göstermiştir.

- Aerobik stabilite ve hijyenik kalite, uygun fermentasyonla sağlanır. Silaj mikrobiyasının dengeli olması, laktik asit bakterilerinin baskınlığı ile doğrudan ilişkilidir (Kızılsımsek, Erol, Dönmez, Katrancı, 2016).

Silaj üretiminde başarıyı belirleyen üç temel unsur bulunmaktadır: (1) kullanılacak yem materyalinin özellikleri, (2) silaj yapım tekniği ve amenajmanı, (3) fermentasyon sürecinin yönetimi. Bu unsurlar birbiriyle doğrudan ilişkili olup, yüksek kaliteli ve stabil bir silaj elde edebilmek için her birinin özenle kontrol edilmesi gerekmektedir. Silaj üretimi özünde bir mikrobiyal fermentasyon sürecidir. Bu süreçte çeşitli mikroorganizma grupları aktif rol oynar. Ancak bu mikroorganizmaların etkileri birbirinden farklıdır: bazıları fermentasyonu yönlendirerek silajın korunmasına katkı sağlarken, bazıları ise bozulmaya neden olarak yem kalitesini düşürür. Silaj fermentasyonunda laktik asit bakterileri (LAB) başlıca arzu edilen mikroorganizmalardır. Bu bakteriler, karbohidratları laktik aside dönüştürerek ortam pH'ını düşürür ve zararlı mikroorganizmaların gelişimini baskılar. Bu durum, silajın mikrobiyal stabilitesini ve besin değerini koruması açısından kritik öneme sahiptir.

Buna karşılık, *Clostridium spp.*, *Enterobacteriaceae* familyası üyeleri, mayalar, asetik asit bakterileri, küf mantarları ve *Listeria monocytogenes* gibi mikroorganizmalar silajda istenmeyen gruplar arasında yer alır. Bu türler, proteolitik ve gaz üretici aktiviteleriyle silajın bozulmasına, kötü koku oluşumuna, besin kaybına ve potansiyel patojen riskiyle hayvan sağlığının tehlikeye girmesine neden olabilir. Dolayısıyla, nitelikli bir silajın göstergesi; laktik asit bakterilerinin baskınlığı, buna karşılık maya, küf ve diğer zararlı mikroorganizmaların minimum düzeyde olmasıdır. Bu mikrobiyal denge, hem silajın hijyenik kalitesini hem de hayvan performansını doğrudan etkileyen bir parametredir.

1.SILAJDA BULUNMASI İSTENEN MİKROORGANİZMALAR

Silajda bulunması istenen mikroorganizmalar, silajın fermentasyon sürecini yönlendirerek hem besin değerini koruyan hem de bozulmayı önleyen faydalı bakterilerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Faydalı silaj mikroorganizmaları (Microsoft Copilot ile görsel oluşturulmuştur)

1.1.Süt asidi Bakterileri

Silaj üretiminde konservatif etkileri nedeniyle tercih edilen tek mikro-organizma grubu laktik asit bakterileridir (LAB). Bu bakteriler mikro-aerofilik özellik gösterir, gram-pozitif yapıdadır ve spor oluşturmazlar. Silaj materyalinde doğal olarak bulunan suda çözünebilir karbohidratları (SÇK) metabolize ederek başta laktik asit olmak üzere asetik asit, etanol ve karbondioksit gibi fermentasyon ürünleri meydana getirirler.

Silajda laktik asit oluşumu hiçbir zaman tam verimle gerçekleşmez; ancak bu bakterilerin toplam mikrobiyal popülasyon içinde yaklaşık %75 oranında baskın olması, fermentasyon sürecinin sağlıklı ve kaliteli ilerlediğinin en önemli göstergesidir. Bu durum, silajın hem besin değerinin korunmasını hem de uzun süre bozulmadan saklanabilmesini sağlar.

Silaj fermentasyonunda rol oynayan süt asidi bakterileri, metabolik özelliklerine göre homofermentatif (homolaktik) ve heterofermentatif (heterolaktik) olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir.

- Homofermentatif süt asidi bakterileri

Bu grup, glukoz ve fruktoz gibi heksozları (altı karbonlu şekerler) doğrudan laktik aside dönüştürür. Enerji verimliliği açısından daha avantajlıdır; çünkü 1 mol glukozdan yaklaşık 2 mol laktik asit üretirler ve enerji kaybı minimum düzeydedir.

- Heterofermentatif süt asidi bakterileri

Bu bakteriler, heksozların yanı sıra arabinoz ve ksiloz gibi pentozları da metabolize eder. Laktik asidin yanında asetik asit, etanol ve karbondioksit gibi yan ürünler oluştururlar. Ortaya çıkan etanol, daha sonra oksidasyonla asetik aside dönüşür; ancak bu dönüşümün yalnızca küçük bir kısmı (%0.3–0.5) fermentasyon sürecine katkı sağlar. Enerji verimliliği daha düşüktür; 1 mol glukozdan yalnızca 1 mol laktik asit üretirler ve bu nedenle enerji kaybı daha yüksektir (Menke ve Huss, 1975; Woolford, 1999).

Epifitik Bakteri Popülasyonu

Silajın başlangıç materyali olan yeşil yem bitkilerinde epifitik süt asidi bakterilerinin yoğunluğu genellikle düşük seviyededir. Ancak bitkinin gelişim süreci ilerledikçe bu mikroorganizmaların popülasyonu artış gösterir ve silaj fermentasyonunda daha etkin hale gelir (McDonald, 1981).

Başlangıçta silaj materyalinde süt asidi bakterilerinin (LAB) yoğunluğu oldukça düşük seviyededir. Ancak fermentasyon süreci ilerledikçe bu mikroorganizmaların sayısı 8–9 kat artış göstererek silajın baskın mikroflorasını oluşturur. Hasat ve soldurma işlemleri sırasında da epifitik LAB popülasyonunda belirgin artışlar meydana gelebilmektedir (Henderson ve ark., 1972).

Süt asidi bakterileri yalnızca karbonhidratları değil, aynı zamanda sitrik asit ve malik asit gibi organik asitleri de metabolize edebilir. Örneğin:

- *Enterococcus faecalis* ve *E. faecium* doğrudan sitratı parçalayabilme yeteneğine sahiptir.
- *Lactobacillus brevis* ise sitratı yalnızca ortamda kullanılabilir karbonhidrat kaynağı bulunduğunda değerlendirebilir.
- Buna karşılık *E. faecalis*, *E. faecium*, *Pediococcus* türleri, *Leuconostoc mesenteroides* ve *L. plantarum* gibi bakteriler, ortamda karbonhidrat bulunup bulunmamasına bakılmaksızın malik asidi parçalayabilmektedir.

Silaj fermentasyonunda en kritik rolü üstlenen süt asidi bakterileri ise şu gruplarda toplanmaktadır:

- *Lactobacilli*
- *Streptococci*
- *Pediococci*
- *Leuconostocs*

Bu gruplar, silajın pH düşüşünü sağlayarak zararlı mikroorganizmaların gelişimini engeller ve kaliteli bir fermentasyonun gerçekleşmesinde belirleyici rol oynar.

1.2.Lactobacilli

Silaj fermentasyonunda görev alan mikroorganizmalar genellikle uzun, düz veya kıvrımlı çubuk formunda, spor oluşturmayan, hareketsiz ve çoğunlukla mikroaerofilik ya da anaerobik özellik gösteren bakterilerdir. Bu grupta hem homofermentatif hem de heterofermentatif türler yer almakta olup, fermentasyonun yönü ve verimliliği bu türlerin etkinliğine bağlıdır.

Silajın kalitesi, silo içerisinde gerçekleşen fermentasyonun arzu edilen şekilde ilerlemesine bağlıdır. Bu süreci etkileyen başlıca faktörler şunlardır (Woolford, 1999):

- Bitkinin şeker içeriği (SÇK)
- Tampon kapasitesi (asidifikasyona karşı direnç)
- Kuru madde (KM) düzeyi
- Silo ortamının pH değeri, sıcaklığı ve oksijen varlığı

Silaj materyalinde bulunan suda çözünebilir karbonhidratlar (SÇK), süt asidi bakterileri tarafından hızla parçalanarak laktik aside dönüştürülür. Bu nedenle, silaj yapılacak bitkinin yeterli düzeyde SÇK içermesi kritik öneme sahiptir. Yeterli şeker bulunmadığında süt asidi bakterileri silo içerisinde baskın mikroflora haline gelemeyebilir ve fermentasyon istenen kalitede gerçekleşmez.

Bitki türleri arasında SÇK içeriği bakımından belirgin farklılıklar vardır:

- Yonca: %4-5

- Mısır: %8–30
- Diğer buğdaygil yem bitkileri: %10–20

Bu veriler, silaj materyalinin şeker düzeyinin kuru madde içeriğine göre değiştiğini ve özellikle mısır ile buğdaygil yem bitkilerinin yüksek şeker içerikleri sayesinde silaj için daha uygun olduğunu göstermektedir (Leibensperger ve Pitt, 1987).

Yonca gibi tampon kapasitesi yüksek ve suda çözünabilir karbonhidrat (SÇK) içeriği düşük yem bitkilerinde, silaj fermentasyonu sırasında ortam pH'nın yeterince düşebilmesi için daha fazla asit üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, söz konusu bitkilerin silolanmasında %30–50 kuru madde (KM) oranına kadar soldurma işlemi uygulanması önerilir. Soldurma, hücre suyundaki şeker oranını artırarak tampon kapasitesini azaltır ve özellikle su bakımından zengin, protein içeriği yüksek genç bitkiler için başlangıçta avantaj sağlar. Aynı amaca yönelik olarak, silaj materyaline şeker veya melas ilavesi de fermentasyonu destekleyici bir yöntemdir.

Silaj fermentasyonunun temel aktörleri olan *Lactobacillus* türleri, geniş bir pH aralığında gelişim gösterebilir. Çoğu tür için optimum pH 4.0–6.8 arasında olup, bazı türler 3.5 gibi oldukça düşük pH değerlerinde dahi büyüyebilir. Bu bakterilerin etkinliği için ideal sıcaklık yaklaşık 30 °C'dir.

Laktobasiller yalnızca karbonhidratları değil, aynı zamanda aminoasitler, peptitler, nükleik asit türevleri, vitaminler, tuzlar ve yağ asitlerini de metabolize edebilme kapasitesine sahiptir. Bu geniş metabolik yetenek, onların silaj fermentasyonunda dominant mikroflora haline gelmesini ve silajın besin değerinin korunmasını sağlamaktadır.

1.3. *Enterococci*

Silaj fermentasyonunda rol oynayan mikroorganizmalar arasında *Enterococcus* türleri dikkat çekmektedir. Bu bakteriler gram-pozitif, spor oluşturmeyen, fakültatif anaerob yapıda koklardır. Türlerle bağlı olarak bazıları hareketli iken bazıları hareketsizdir.

Silajda en yaygın olarak karşılaşılan enterokok türleri *E. faecalis* ve *E. faecium*'dur. Bu mikroorganizmalar 10–45 °C sıcaklık aralığında gelişim gösterebilirler. Metabolik faaliyetlerini sürdürebilmeleri için başta glukoz, fruktoz ve laktöz gibi karbonhidratlara ihtiyaç duyarlar. Bunun yanında bazı aminoasitler ve B grubu vitaminleri de büyüme ve çoğalmaları için gerekli besin kaynaklarıdır.

Bu özellikleri sayesinde enterokoklar, silajın mikrobiyal ekosisteminde önemli bir yer tutar; ancak fermentasyonun yönü ve kalitesi, onların diğer mikroorganizmalarla olan etkileşimlerine bağlı olarak değişebilir.

1.4. *Pediococci*

Gıda fermentasyonunda önemli olan *Pediococcus* cinsi bakteriler, gram-pozitif ve mikroaerofilik özellikleriyle tanınır (Çiftçi ve Öncül, 2021). Doğal olarak yeşil bitkilerde, çeşitli gıda ürünlerinde ve özellikle bira gibi fermente içeceklerde yaygın olarak bulunurlar. Silaj ortamında en sık rastlanan türler arasında *P. acidilactici*, *P. cerevisiae* ve *P. pentosaceus* yer almaktadır. Bu mikroorganizmalar metabolik faaliyetlerini sürdürebilmek için neredeyse tüm aminoasitlerden ve belirli B grubu vitaminlerinden yararlanabilmektedir. *Pediococcus* türlerinin gelişim koşulları türe bağlı olarak farklılık gösterse de genel olarak 25–40 °C sıcaklık aralığında optimum büyüme sağlarlar. Ortamın pH değeri 3.5–5.5 arasında olduğunda gelişimleri mümkündür ve en yüksek etkinliklerini pH 5.5 düzeyinde gösterirler. Silaj fermentasyonunda *Pediococcus* türleri, hızlı asit üretimiyle pH'ın düşmesine katkıda bulunarak zararlı mikroorganizmaların gelişimini sınırlar ve silajın stabilitesini artırır (Abdullah, 2023).

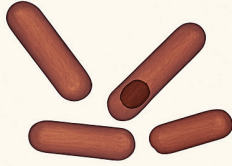
1.5. *Leuconostocs*

Silaj fermentasyonunda rol oynayan mikroorganizmalar arasında *Leuconostoc* türleri önemli bir yer tutar. Bu bakteriler gram-pozitif, hareketsiz, fakültatif anaerob yapıda olup morfolojik olarak kok (küresel) formundadır (Basmacioğlu ve Ergül, 2002). Silajda en sık rastlanan türler arasında *Leuconostoc cremoris*, *L. dextranicum* ve *L. mesenteroides* bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar metabolik faaliyetlerinde hem şekerleri hem de aminoasitleri kullanabilmektedir. Gelişim koşulları türlere göre farklılık göstermekle birlikte, genel olarak 10–30 °C sıcaklık aralığında optimum büyüme gösterirler. Bu özellikleri sayesinde *Leuconostoc* türleri, silajın erken fermentasyon evresinde aktif rol oynar ve ortamın mikrobiyal çeşitliliğine katkıda bulunur.

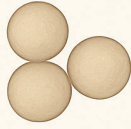
2. SİLAJDA BULUNMASI İSTENMEYEN MİKROORGANİZMALAR

Silajda bulunması istenmeyen mikroorganizmalar, fermentasyon sürecini olumsuz etkileyerek silajın kalitesini düşüren, besin değerini azaltan ve hayvan sağlığına zarar verebilecek türlerdir (Şekil 3).

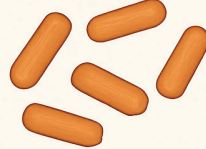
SİLAJDA BULUNMASI İSTENMEYEN MİKROORGANİZMALAR



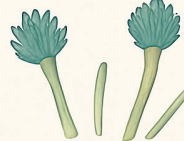
Clostridium
çubuk



Maya
küresel, misel yapılı



Enterobacteriaceae
çubuk



Küf
hifler, spor taşıyan

Şekil 3. Silajda istenmeyen mikroorganizmalar (Microsoft Copilot ile görsel oluşturulmuştur)

2.1. *Clostridia* (Tereyağ asidi Bakterileri)

Clostridia türleri, silaj fermentasyonunda istenmeyen mikroorganizmalar arasında yer alır. Bu bakteriler gram-pozitif, spor oluşturan, genellikle hareketli, çubuk şeklinde ve zorunlu anaerobik özellik gösterirler. Metabolizmaları sırasında şekerleri, organik asitleri ve proteinleri parçalayarak başlıca bütirik (tereyağı) asidi üretirler. Bunun yanında asetik asit, karbondioksit, hidrojen, aseton ve bütir alkol gibi yan ürünler de ortaya çıkar.

Clostridia, silajda süt asidi bakterilerinin kullandığı karbonhidratları tüketerek onların en önemli rakibi haline gelir. Ayrıca aminoasitlerin parçalanması sonucunda yem değerini düşürür, enerji kaybına yol açar ve ortam pH'ını yükseltir. Bu nedenle silaj fermentasyonu açısından zararlı kabul edilirler. *Clostridia* yalnızca silajda değil, toprakta ve hayvan dışkı-sında da bulunur ve yem bitkisine bu yollarla bulaşabilir.

Clostridia Türlerinin Gruplandırılması

- Sakkarolitik *Clostridia* → Karbonhidrat ve organik asitleri parçalar.

- Proteolitik *Clostridia* → Proteinleri parçalar.

Her iki grup da sınırlı düzeyde diğer substratları etkileyebilir. Bu metabolik faaliyetler sonucunda bütirik asit, amonyak ve kötü kokulu ürünler oluşur. Özellikle amonyak, ortam pH'ını nötr hale getirerek silajın bozulmasına neden olur.

İkinci Fermentasyon (*Clostridial* Fermentasyon)

Süt asidi bakterilerinin gerçekleştirdiği primer fermentasyonu takiben *Clostridia*'nın etkinliğiyle ortaya çıkan süreç "ikinci fermentasyon" veya *Clostridial* fermentasyon olarak adlandırılır (Weinberg ve Muck, 1996). Bu aşama silaj kalitesini ciddi şekilde düşürür.

Gelişim Koşulları

Clostridia'nın etkinliği;

- Kuru madde (KM) oranı,
- Suda çözünabilir karbonhidrat (SÇK) içeriği,
- Su aktivitesi,
- Tampon kapasitesi,
- pH ve
- sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır.

Bu mikroorganizmalar pH 7.0–7.4 aralığında gelişir ve asidik koşullara tolerans gösteremezler. Eğer süt asidi bakterileri baskın mikroflora durumuna geçerse pH hızla düşer ve *Clostridia*'nın gelişimi engellenir. Ancak su içeriği yüksek yem bitkilerinde pH düşüşü yetersiz kaldığında, süt asidi bütirik aside, aminoasitler ise amonyağa parçalanır.

Önleme Yöntemleri

- KM oranının %35–40 düzeyinde tutulması, su aktivitesini 0.93–0.94 seviyesinde sabitler ve *Clostridia* gelişimini sınırlar (Pitt ve ark., 1985).
- Soldurma veya kurutma işlemleri, fazla suyun uzaklaştırılmasını sağlar.
- Tuz veya uygun katkı maddeleri ilavesi, su içeriği %70'in üzerinde olan materyallerde *Clostridia* gelişimini engelleyebilir.

Sıcaklık Etkisi

Clostridia için optimum sıcaklık 37 °C'dir. Termofilik türlerde (ör. *Cl. sphenoides*) bu değer 45–50 °C'ye kadar çıkabilir. Araştırmalar, düşük KM içerikli yemlerin 42 °C gibi yüksek sıcaklıklarda silolandığında *Clostridial* fermentasyonun baskın olduğunu; buna karşılık 20 °C'de silolamada süt asidi bakterilerinin hakimiyet sağladığını göstermektedir (McDonald, 1981).

2.2. *Enterobacteriaceae*

Silaj fermentasyonunda *Enterobacteriaceae* familyasına ait bazı türler rol oynar. Bu mikroorganizmalar genellikle gram-negatif, spor oluşturmeyen, fakültatif anaerob, çubuk şeklinde ve hareketli olup çoğu patojen değildir (McDonald, 1981). Laboratuvar çalışmalarında en sık *Klebsiella* sp., *Escherichia coli* ve *Bacterium herbicola* türlerine rastlanmıştır.

Bu bakteriler karbonhidratları parçalayarak başta asetik asit ve formik asit gibi ürünler oluşturur. Formik asit ortamda birikebilir veya hidrojen ve karbondioksit indirgenebilir. Örneğin *E. coli*'de pirüvat metabolizması sonucu hem laktik asit, hem de etanol ve asetik asit gibi yan ürünler ortaya çıkar. Diğer türler ise asetoin ve 2,3-butanediol üretir.

Enterobacteriaceae türleri genellikle fermentasyonun başlangıç evresinde aktiftir. Optimum gelişim koşulları pH $\approx$ 7.0 ve 27–35 °C sıcaklık aralığıdır. Ancak silajda süt asidi bakterileri hızla baskın hale geldiğinde, bu familyanın gelişimi sınırlanır ve fermentasyon istenen yönde ilerler.

2.3. Funguslar

Funguslar ökaryotik hücre yapısına sahip mikroorganizmalardır (Yazdıç, Yazdıç, Kar, Özköse ve Ekinci, 2021). Bu grubun üyeleri gelişim biçimlerine göre ikiye ayrılır:

- Maya: Tek hücreli olarak çoğalan türlerdir.
- Küf mantarları: Çok hücreli, iplikli yapılar oluşturan ve koloni halinde gelişen türlerdir.

Bu mikroorganizmaların büyük kısmı yaşamlarını sürdürebilmek için oksijen varlığına ihtiyaç duyar. Ancak hem mayalar hem de küf mantarlarının bazı türleri, fermentasyon yoluyla enerji üreterek oksijensiz (anaerobik) koşullarda da gelişim gösterebilir.

2.4.Mayalar

Silaj ortamında bulunan mayalar, aerobik mikroorganizmalar grubuna dahildir. Karbonhidratları parçalayarak başta alkol (etanol) olmak üzere karbondioksit ve çeşitli organik asitler üretirler. Bu nedenle silo içerisindeki maya aktivitesi genellikle alkol fermentasyonu olarak tanımlanır. Mayalar geniş bir sıcaklık aralığında gelişim gösterebilir: çoğu tür 0–37 °C arasında büyürken, bazıları 45 °C'nin üzerinde de yaşayabilir. Ancak yüksek sıcaklıklara karşı *Clostridia* türlerine göre daha duyarlı oldukları bilinmektedir (Jonsson, 1989). pH açısından ise 3–8 aralığında etkinlik gösterebilirler; optimum değerleri genellikle 3.5–6.5 arasındadır (Woolford, 1976). Bu özellikleri nedeniyle düşük pH koşulları bile maya gelişimini tamamen engelleyemez. Aerobik koşullarda mayalar, diğer birçok mikroorganizmaya göre organik asitlere daha toleranslıdır. Silajdan izole edilen türlerin laktik, asetik, sitrik, malik, suksinik ve propiyonik asitleri tüketebildiği; ayrıca etanolü de kullanabildikleri bildirilmiştir (McDonald, 1981).

Neden İstenmeyen Mikroorganizmalar?

Silajda maya popülasyonu iki temel nedenle olumsuz etki yapar:

1. Aerobik dayanıklılığı azaltır → Silajın bozulmaya karşı direncini düşürür.
2. Süt asidi bakterileri ile rekabet eder → Ortamdaki karbonhidratları tüketerek bunları çoğunlukla etanole dönüştürür. Etanol, silajın saklanma kalitesine katkı sağlamaz.

Etanol oluşumu silajın tat ve kokusunu iyileştirebilir; ancak aynı zamanda hacim artışı (kabarma), enerji kaybı ve yüksek kuru madde kaybı gibi olumsuzluklara yol açar. Ayrıca silo içerisinde sıcaklık yükselmesine neden olur.

Popülasyon Dinamikleri

- Başlangıçta yem materyalinde maya sayısı, süt asidi bakterilerinden daha fazladır.
- Soldurma işlemi sırasında bu sayı hızla artar. Örneğin, fermentatif mayaların hasatta yaklaşık 200 kob/g KM iken soldurma sonrası 10.000 kob/g KM'in üzerine çıktığı saptanmıştır (Henderson ve ark., 1972; Woolford, 1984; Woolford, 1990).
- Aerobik dönem uzadıkça maya popülasyonu daha da yükselir.

Epifitik mayaların önemli bir kısmı fermentatif olmayan türlerden (*Sporobolomyces*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Torulopsis*) oluşur ve bunların sayıları <10 ile 10^6 – 10^7 kob/g arasında değişebilir (McDonald, 1981). Fermentatif özellikli türler arasında ise *Saccharomyces exiguus*, *Candida krusei*, *Pichia membranaefaciens*, *Candida lambica*, *Candida valida*, *Trichosporon capitatum*, *Candida silvicola*, *Candida boidinii*, *Cryptococcus albidus* ve *Torulopsis glabrata* gibi türler tanımlanmıştır.

Aerobik Bozulmadaki Roller

Mayalar aerobik bozulmada kritik rol oynar ve iki gruba ayrılır (Woolford, 1990):

- Asitleri kullananlar: *Candida*, *Endomycopsis*, *Hansenula*, *Pichia* → Laktik asidi parçalayarak pH'ı yükseltir, küf mantarlarının gelişimine zemin hazırlar.
- Şekerleri kullananlar: *Torulopsis* → Karbonhidratları tüketir.

Başlangıçta düşük düzeyde (<10 kob/g) bulunan mayalar, aerobik bozulmuş silajlarda 10^{12} kob/g'e kadar çıkabilir. Aerobik bozulma açısından kritik eşik değer 10^5 kob/g KM olarak kabul edilmektedir (Jonsson, 1989).

Bitki Türlerine Göre Farklılık

- Mısır silajı: Maya içeriği yüksek → Alkol fermentasyonu daha yoğun gerçekleşir.
- Baklagil silajı: Protein içeriği yüksek → Alkol fermentasyonunu baskılar (McDonald, 1981).

2.5.Küfmantarlar

Silajda küf mantarları istenmeyen mikroorganizmalar arasında yer alır. Gelişimleri için yüksek nem ($> \%13$), sıcaklık (>12.8 °C), oksijen varlığı, pH > 5 ve kullanılabilir besin maddeleri gerekir (Ergül, 1997). Küfler önce karbonhidratları, ardından protein ve süt asidini parçalayarak silajın tat, koku ve yapısında bozulmalara yol açar. Ayrıca selüloz ve hücre duvarı bileşenlerini de metabolize edebilirler. En önemli risk, ürettikleri mikotoksinler nedeniyle hayvan ve insan sağlığını tehdit etmeleridir (Ergül, 2000; Şanlı, 2001). Siloda küf varlığı genellikle hava sızıntısının ve yetersiz sıkıştırma/kapatmanın göstergesidir. Bu nedenle küfler özellikle silo üst ve kenar bölgelerinde yoğun görülür.

Silajda yaygın türler arasında *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* ve *Monilla* bulunur. Örneğin *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *Penicil-*

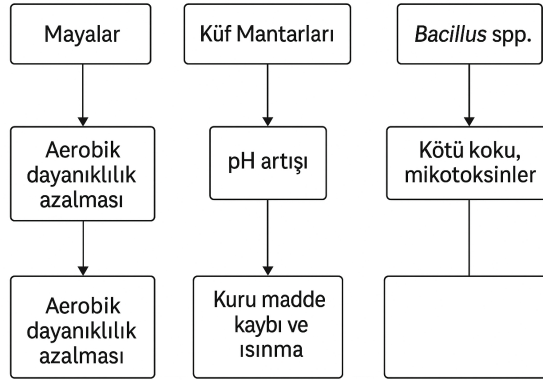
lium roqueforti ve *Mucor pusillus* en sık rastlananlardır. Bazı küfler hasat öncesi tarlada bulaşırken, bazıları silaj koşullarında gelişir.

Küflerin Olumsuz Etkileri

- pH artışı
- Kuru madde kaybı
- Silajda ısınma
- Fiziksel özelliklerin bozulması → hayvan tüketiminde azalma
- Mikotoksin üretimi → sağlık riski

2.6. *Bacilli*

Silaj ortamında *Bacillus* türleri, tıpkı maya ve küf mantarlarında olduğu gibi genellikle aerobik koşullarda gelişim gösterir. Aerobik bozulmaya uğramış mısır silajlarında sıkça karşılaşılan türler arasında *Bacillus cereus*, *B. lentus*, *B. firmus* ve *B. sphaericus* yer almaktadır. Bu mikroorganizmalar hem sakkarolitik (karbonhidratları parçalayan) hem de proteolitik (proteinleri parçalayan) özelliklere sahiptir. Bazı *Bacillus* türleri yalnızca aerobik değil, aynı zamanda anaerobik koşullarda da yaşamlarını sürdürebilir. Ayrıca bu bakteriler, mayalara kıyasla yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır. Bu nedenle silajın bozulması sırasında sıcaklık yükseldiğinde, *Bacillus* türleri ortamda baskın hale gelerek mayaların yerini alabilir. Aşağıdaki şekil, silaj ortamında istenmeyen mikroorganizmaların (mayalar, küf mantarları ve *Bacillus spp.*) neden olduğu bozulma mekanizmalarını özetleyen bir akış diyagramıdır. Her mikroorganizma grubu, kendine özgü metabolik faaliyetleriyle silajın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yapısını olumsuz etkiler. Diyagramda bu etkiler; aerobik dayanıklılığın azalması, pH artışı, kuru madde kaybı, ısınma, kötü koku ve mikotoksin oluşumu gibi başlıklar altında gösterilmiştir. Görsel, silaj kalitesini tehdit eden süreçleri sade ve sistematik biçimde ortaya koyar.



Şekil 4. İstenmeyen mikroorganizmalar → bozulma mekanizmaları akış diyagramı

2.7.Sirke asidi Bakterileri

Aerobik bozulma sürecinde etkili olan mikroorganizmalardan biri de sirke asidi bakterileridir. Özellikle *Acetobacter* cinsine ait türlerin, silajda maya gelişimini baskılayıcı etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Nitekim bu bakterilerle inokulasyon yapılan silajlarda maya gelişiminin engellendiği gözlemlenmiştir (Spoelstra et al., 1988). Sirke asidi bakterileri, silaj ortamında genellikle aerobik bozulmanın erken evresinde aktif hale gelir. Bu dönemde ortamda bulunan oksijen ve besin maddeleri sayesinde gelişim göstererek, silajın mikrobiyal dengesini etkileyebilirler.

2.8.Listeria

Silajda bulunması istenmeyen mikroorganizmalar arasında *Listeria* türleri de yer alır. Bu bakteriler, hem yemin besin değerini ve hijyenik kalitesini düşürür, hem de hayvan ve insan sağlığı için ciddi riskler oluşturur. Silaj örneklerinde en sık rastlanan tür *Listeria monocytogenes*'tir. Bu bakteri spor oluşturmeyen, çubuk şeklinde bir yapıya sahiptir ve silaj dışında çürük meyve-sebzelerde, dışkıda ve toprakta da yaygın olarak bulunur. Hayvanlarda özellikle beyin dokusunda enfeksiyon ve felçlere yol açabilir. *Listeria*, silajda gelişmek için oksijen ve pH > 5.5 koşullarına ihtiyaç duyar. Geniş sıcaklık aralıklarında yaşayabilen bu bakteriler, özellikle kuru madde (KM) içeriği düşük silajlarda daha etkin hale gelir.

3.SONUÇ

Silaj, su bakımından zengin yemlerin oksijensiz ortamda farklı mikroorganizmaların neden olduğu fermentatif madde değişimleri sonucunda oluşur. Bu süreç, birçok çevresel ve biyolojik etkenin kontrolü altında yürütülmelidir; aksi halde reaksiyonlar istenmeyen yönde gelişebilir. Her ne kadar uygun koşullar sağlansa da bazı olumsuzlukları tamamen engellemek mümkün değildir. Örneğin, başlangıçta oksijenin tam olarak uzaklaştırılamadığı durumlarda veya yem materyali gerektiği gibi soldurulmadığında, zararlı mikroorganizmaların etkinliği görülebilir. Silajda mikroorganizmaların faaliyetleri hem oksijenli hem de oksijensiz koşullarda farklı sonuçlar doğurur. Bu faaliyetler, yemlerin kullanılabilirliğini veya kullanılmaz hale gelmesini belirler (Merry ve Davies, 1999; Abel ve ark., 1995). Dolayısıyla, silajda meydana gelen mikrobiyal olaylar ve bunların yeme yansıyan etkileri dikkate alınarak, yüksek kaliteli yem üretimi bilinçli bir hayvan yetiştiricisinin en temel hedefi olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdullah, S. A. A. (2023). *Buğday hasılı silajlarında Lactobacillus plantarum kullanımının silaj kalitesi ve fermentasyon üzerine etkileri* (Master's thesis, Kirsehir Ahi Evran University (Türkiye)).
- Abel, H. J., G. Flachowsky, H. Jeroch, S. Molnar (1995). Nutztierernahrung (Potentiale Verantwortung – Perspektiven). Gustav-Fischer-Verlag Jena-Stuttgart, 519 S.
- Basmacıoğlu, H., ve Ergül, M. (2002). Silaj mikrobiyolojisi. *Hayvansal Üretim*, 43(1), 12-24.
- Çiftçi, M., ve Öncül, N. (2021). Starter Kültürler. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*(14), 1-16.
- Ergül, M. (1997). Yemler Bilgisi ve Teknolojisi. III. Baskı. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No:487,İzmir
- Ergül, M. (2000). Yem Zararlıları ve Etkileri. International Animal Nutrition Congress 2000'4-6 September, Isparta/Türkiye
- Henderson, A.R., McDonald, P. ve Woelford, M.K. (1972). Chemical changes and losses during the ensilage of wilted grass treated with formic acid. *Journal Science Food Agriculture*,23:1079-1087
- Jonsson, A. (1989). The role of yeasts and clostridia in silage deterioration. Swedish University of Agricultural Science, Report 42. Uppsala.
- Kızılsımsek, M., Erol, A., Dönmez, R., Katrancı, B. (2016). Silaj Mikro Florasının Birbirleri İle İlişkileri, Silaj Fermentasyonu ve Kalitesi Üzerine Etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 136-140. <https://doi.org/10.18016/ksujns.35488>.
- Leibensperger, Pitt R.Y.,R.E. (1987). A Model of Clostridial Dominance in Ensilage.*Grass Forage Science* 42:297-317
- McDonald, P. (1981). The Biochemistry of Silage. *John Wiley & Sons. Chalcome Publications*,226 pp.
- Menke, K.H. ve W. Huss (1975). Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag Eugen Ulmer,Stuttgart.
- Merry, R.J. ve D.R. Davies (1999). Propionibacteria and their role in the biological control of aerobic spoilage in silage. *Lait* 79:149-164
- Pitt,R.E.,Muck,R.E. ve Leibensperger, R.Y. (1985). A quantitative model of the ensilage process in lactate silages. *Grass Forage Science*, 40:279-303
- Sanlı,Y. (2001). Yem Küflenmeleri, Mikotoksinlerle Bulaşma Sorunu ve Çözüm Yolları.
- Spaelstra, S.F., M.G. Courtin ve J.A.C. van Beers (1988).Acetic acid bacteria can initiate aerobic deterioration of whole crop maize silage. *Journal Agric. Sci., Camb.*111:127-132
- Şahin, İ. F., ve Zaman, M. (2010). Hayvancılıkta önemli bir yem kaynağı: Silaj. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 15(23), 1-18.

- Weinberg, Z.G.ve R.E. Muck (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiology Reviews 19:53-68 Woolford, M.K.(1976).
- Woolford, M. K. (1976). A preliminary investigation into the role of yeasts in the ensiling process. *Journal of Applied Bacteriology*, 41(1), 29-36.
- Woolford, M.K. (1990).The detrimental effects of air on silage. *Journal Appl., Bact.*, 68:101-116
- Woolford, M.K. (1999). The Science and Technology of Silage Making.Alltech Technical Publ.
- Woolford,M.K.(1984).The Silage Fermentation, Marcel Dekker,Inc.
- Yazdıç, F. C., Yazdıç, F., Kar, B., Özköse, E., ve Ekinci, M. S. (2021). Anaerobik funguslarda hidrojenozomlar: Hidrojen üreten organeller. *Mantar Dergisi*, 12(2), 190-208.

Bölüm 10

HİJYENİK YEM ÜRETİMİ

Cemal POLAT¹, Korcan DENİZHAN²

1 Dr. Öğretim Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-7419-2864

2 Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0000-3299-9582.

GİRİŞ

Hayvancılık, tarımsal üretimin en önemli alt sektörlerinden biri olarak, ülkelerin gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve kırsal istihdam açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yem endüstrisi hayvancılığın gelişmesi, kaliteli ürün elde edilmesi ve üretimin sürdürülebilirliği için kritik bir agro-endüstri kolu olarak öne çıkmaktadır. Türkiye, sahip olduğu hayvancılık potansiyeli ile dünyada önemli ülkeler arasında yer almakta; yem sanayi ise bu potansiyelin etkin şekilde değerlendirilmesinde temel belirleyici unsurlardan biri olmaktadır (Yıldırım, 2005).

Yemler, içerik ve besin değerleri bakımından iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Birim ağırlığında sindirilebilir besin maddeleri düşük, selüloz oranı yüksek olan yemler kaba yem; sindirilebilir besin maddeleri yüksek olan yemler ise karma (kesif) yem olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım, 2005). Karma yemler, evcil hayvanların yüksek miktarda ve kaliteli ürün verebilmesini sağlayan, bileşimi garanti edilmiş organik ve anorganik maddelerin karışımıdır (Ergül, 1994). Kaba yemler ise doğal haliyle hayvana verildiğinde su içeriği %15–20'nin üzerinde veya kuru maddede ham selüloz içeriği %16–18'den fazla olan materyaller olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım, 2005).

Türkiye'de entansif hayvansal üretim sistemlerinde yem giderleri, toplam işletme maliyetlerinin %60–70'ini oluşturmaktadır. Bu oran kanatlı yetiştiriciliğinde %70–80 düzeylerine kadar çıkmakta olup, söz konusu giderlerin tamamı karma yemden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, hayvansal üretimde temel besleme kaynağı olan karma yemlerin önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda dünyada yaşanan çeşitli olumsuzluklar, yem üretiminde kalite ve güvenlik standartlarının yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılmış; özellikle karma yem üretiminde daha güvenilir ve yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesine yönelik yeni düzenlemeler gündeme gelmiştir (Akdeniz, Ak, Boyar, 2005).

Bu çerçevede, yem endüstrisinin gelişimi ve yem türlerinin hayvansal üretimdeki rolünün incelenmesi, hem sektörün mevcut durumunu anlamak hem de geleceğe yönelik stratejiler geliştirmek açısından önem taşımaktadır.

Gıda Güvenliği ve “Çiftlikten Sofraya” Yaklaşımı

Son yıllarda gıdalarla ilgili ortaya çıkan ciddi sorunlar, mevcut denetim uygulamalarına yönelik halk güvenini önemli ölçüde zedelemiştir. Gıda güvenliğine dikkat edilmeksizin gerçekleştirilen üretim süreçleri, gıda kaynaklı tehlikelerin ve hastalıkların kaçınılmaz hale gelmesine yol

açmaktadır. Bu nedenle özellikle Avrupa Birliği (AB) ve gelişmiş ülkelerde, gıda üretim ve tüketim zincirinde risk analizlerine dayalı çalışmalar yoğunlaşmış; bu çalışmaların sonucunda bilimsel temellere dayanan düzenleyici kararlar alınmıştır (AB Bilgi Merkezi, 2007).

Türkiye gıda sektörü de bu kararlar doğrultusunda “Çiftlikten Sofraya” gıda güvenliği yaklaşımını benimsemiştir. Bu yaklaşım, gıda güvenliğini yalnızca üretim veya işleme aşamasıyla sınırlı tutmayıp, çiftlikten sofraya kadar uzanan tüm üretim zincirini kapsayan bütüncül bir anlayışı ifade etmektedir. Burada söz konusu olan gıdalar yalnızca et ürünleri değil; süt, yumurta, balık gibi diğer hayvansal ürünler ile meyve ve sebzeler gibi tüm tarımsal ürünleri de kapsamaktadır (AB Bilgi Merkezi, 2007).

Yeni yaklaşımın uygulanışında gıda denetimi, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi yalnızca kesimhane veya işleme ünitelerindeki kontrollerle sınırlı değildir. Aksine, üretim zincirinin en başından, yani hayvan yemi üretiminden, zincirin en son halkası olan bireysel tüketiciye kadar tüm aşamaların denetlenmesini öngörmektedir (AB Bilgi Merkezi, 2007).

Hayvansal üretimde bu yaklaşımın en kritik unsurlarından biri, zincirin başlangıcında yer alan güvenli yemdir. Güvenli yem, insan ve hayvan sağlığı açısından olumsuzluk yaratmayan; fiziksel, kimyasal ve biyolojik riskleri taşımayan yemler olarak tanımlanmaktadır (Yem Kanunu Tasarısı, 2006). Bu bağlamda, yem güvenliği yalnızca hayvan sağlığının korunması için değil, aynı zamanda nihai tüketiciye ulaşan gıdanın güvenilirliğinin sağlanması açısından da stratejik bir öneme sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Güvenilir gıda zinciri

Yem üretiminin tam olarak izlenip denetlenmesi, fabrikalarda üretilen her parti yemin kayıt altına alınması ve işaretlenmesi önemlidir. Yem fabrikasından tüketiciye kadar olan yol belirlenmiş olmalıdır. Bu şekilde, mümkün olacak, herhangi bir yem kontaminasyonunun belirlenmesi halinde kontamine yemi alan çiftliklerin bulunması ve olaya müdahale edilmesi kolaylaşacaktır. Aynı durum her yem hammadde için de geçerlidir. Her hammadde fabrikaya getirilmeden ve yeme karıştırılmadan önce kontamine olmuş olabilir. Bunun içinde gerekli önlemler alınmalı ve kalite kontrol işlemleri yapılmalıdır. Küresel ölçekte bir standart ve kalitede üretim gerçekleştirilmesi kapsamında; bu amaçla hijyenik yem için yem fabrikalarında HACCP sisteminde güvenli yem üretimine geçilmiştir (AB Bilgi Merkezi,2007).

3.HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) Nedir?

Yem üretiminde gıda güvenliğini sağlamak amacıyla geliştirilen sistematik yaklaşımlardan biri olan Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP), üretim sürecinin tüm aşamalarını daha sistemli biçimde ele alarak olası riskleri önlemeye yönelik bir yöntem sunmaktadır. HACCP sistemi, üretilen ürünlerin güvenliğini tehdit edebilecek potansiyel tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin meydana gelmeden önce önlenmesi veya etkilerinin kritik sınırların altına indirilmesi amacıyla üretim sürecinde kritik kontrol noktalarının tanımlanmasını esas alır (Akbiyık ve Gazioğlu, 2008).

Türkiye’de yem üretimiyle ilgili düzenlemeler, Yem Kanunu Tasarısı kapsamında ele alınmakta olup, özellikle üçüncü bölümde yem hijyeni konusu ayrıntılı biçimde işlenmektedir. Bu kapsamda yem işletmecileri, kendi kontrol alanlarında yer alan üretim tesislerinde gerçekleştirilen üretim, işleme ve dağıtım faaliyetlerinin tüm aşamalarında, ilgili yönetmeliklerde belirtilen hijyen şartlarına uygunluğu sağlamakla yükümlüdür. Gıda üretimi amacıyla yetiştirilen hayvanların beslenmesinde, yetiştiriciler fiziksel, kimyasal ve biyolojik bulaşma risklerine karşı gerekli önlemleri almakla sorumludur. Ayrıca yem işletmecilerinin, HACCP ilkelerine dayalı olarak sürekli yazılı prosedürler geliştirmesi ve bu prosedürleri uygulaması zorunlu kılınmıştır (Yem Kanunu Tasarısı, 2006).

HACCP ilkelerinin yem üretiminde uygulanması, yalnızca hayvan sağlığını değil, aynı zamanda nihai tüketiciye ulaşan gıdanın güvenliğini de doğrudan etkileyen bir sağlık koruma yaklaşımıdır. Bu sistem, biyolojik tehlikeler (örneğin patojen mikroorganizmalar), kimyasal tehlikeler (antioksidanlar, sıcaklık kontrolü, kimyasal kalıntılar) ve fiziksel tehlikeler (yabancı madde kontaminasyonu) gibi risklerin izlenmesi ve doğrulanması için özel prosedürler içerir. Bu prosedürler arasında ısı kontrolü, pastörizasyon, sterilizasyon, kimyasal muhafaza ve dezenfeksiyon gibi uygulamalar yer almaktadır. Her bir riskin hangi noktada kontrol edilebileceği, azaltılabileceği veya tamamen ortadan kaldırılabilceği açık biçimde tanımlanmalı; bu noktaların kontrolü için gerekli sınırlar, uygulayıcıların davranış biçimleri ve olası hata durumlarında izlenecek adımlar önceden belirlenmiş olmalıdır (Akbiyık ve Gazioğlu, 2008).

HACCP planları, ürünün türüne ve üretim olanaklarına göre farklılık gösterebilir. Ancak temel uygulama adımları genellikle şu unsurlara dayanır (Cooke, 2006);

Yem fabrikasının üretim sürecine ilişkin akış diyagramının hazırlanması ve kontrolü,

- Üretim sürecinin aşamalara ayrılması ve her aşamada tehlike analizlerinin yapılması,
- Üretim tanımının detaylandırılması, özellikle ısıtma ve teslimat aşamalarının açıklanması,
- Kullanılan yem hammaddeleri ve katkı maddelerinin listesinin oluşturulması,
- Bulaşmayı önlemeye yönelik mevcut kontrol önlemlerinin sistematik biçimde belgelenmesi.

Bu bütüncül yaklaşım, yem üretiminde hem hijyenik koşulların sağlanmasını hem de gıda güvenliği zincirinin ilk halkasında yer alan yemlerin güvenilirliğini teminat altına almayı hedeflemektedir.

Yem fabrikasındaki üretim süreci beş temel aşamada oluşmaktadır. Bu aşamalar;

1. Dozajlama Bölümü – Hammadde girişinin gerçekleştiği ve uygun oranlarda silolara yönlendirildiği ilk aşama.
2. Kırma Bölümü – Hammaddelerin kırıcıdan geçirilerek küçük parçalara ayrıldığı işlem.
3. Mikser Bölümü – Kırılmış hammaddelerin uygun mikserlerle homojen şekilde karıştırıldığı aşama.
4. Peletleme ve Soğutma Bölümü – Karışımın granül hale getirildiği ve ardından soğutulduğu teknik işlem.
5. Paketleme Bölümü – Peletlenen yemlerin sınıflandırılıp tartılarak paketlenildiği veya doğrudan kamyonlara yüklendiği son aşama (Şekil 2).



Şekil 2. Yem üretim süreci

Yem fabrikalarında etkin bir HACCP sistemi ve kaliteli yem üretimi için mutlaka yem fabrikası akış diyagramlarından yararlanılmalıdır. Yem akış diyagramı hammaddenin fabrikaya girip, yem olarak çıkıncaya kadar yapılan bütün işlemleri gösteren bir krokidir (Balding, 1985). Bu kroki kullanılarak potansiyel sorunların önceden belirlenmesi ve önlemlerin alınması mümkündür.

Yem fabrikalarında bazı alanlar kontaminasyonun fazla olduğu kritik noktalar bulunmaktadır. Bu noktalarda HACCP planı içerisinde özel önlemlerin alınması gerekmektedir (Küçükersan,2007).

Bu yerler:

- Yem ham maddelerinin girdiği yerler,

- Yem maddelerinin depolandığı yerler,
- Yemlerin işlem gördüğü araçlar,
- Pişiriciler,
- Üretilen yemin depolandığı alanlar,
- Üretilen yemlerin boşaltıldığı sistemlerdir.

4.Sağlık Koruma ve Zararlıların Kontrolü Önlemlerinin Uygulanması

Yem üretimi yapılacak fabrikada alınacak bazı temel önlemler ile kaliteyi arttırmak mümkündür. Yem üretim tesisinde sağlık koruma ve zararlı kontrolünde kullanılan yöntemler dikkate alınarak, bunları kısaca dört başlıkta inceleyebiliriz.

- Denetim
- Bakım
- Fiziksel ve Mekanik Yöntemler
- Kimyasal uygulamalar

4.1 Denetim

Yem fabrikasında düzenli bir denetim çok önemlidir. Bu incelemelerde aktif kemirgenlerin olup olmadığı, hammaddelerin böcekler ile bulaşık olup olmadığı ve hammaddedeki istenmeyen kızılsma, bozulma gibi durumlar kontrol edilir. Denetimler sırasında ayrıca potansiyel sorunları belirlemek ve bunlar üzerinde düzenlemeler yapılarak üretimde oluşacak kötü durumların önlenmesi sağlanır. Denetim aşamasında iyi sonuçların alınması için gözlemlere dayalı olan işlemler mutlaka yapılmalıdır. (Pedersen, 1985).

4.2 Bakım

Basit olarak fabrikanın iç ve dış temizliğini ve düzenini ifade eder. Fabrika çevresinin bakımı, temiz ve düzenli olması oldukça önemlidir. Dışarıdan fabrikaya girmesi mümkün olan zararlıların barınabileceği ve saklanabileceği yerlerin ortadan kaldırılması, fabrika çevresinde yabancı otlar ve dökülmüş ürünlerin ve artıkların uzaklaştırılması, uygun drenaj sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Fabrikanın dış çevresinin mümkünse duvarla kaplanması, bahçe kısmının gerekli zamanlarda uygun bir

şekilde ilaçlanması yapılması bakım ve düzen zararlılarına karşı alınacak kontrol yöntemleridir (Pedersen, 1985).

Yem üretim tesisi içerisinde iyi hijyen düzeyinin / belgelenmiş temizlik plan içerisinde koruyucu önlemler alınmalı. Yem üretiminde kullanılan makinelerde mikrop birikimlerinin önlenmesi, yem üretim tesisinde zemin ve duvarların temizlik aşamasında sorun yaratmayacak özelliklerde kaplanmış olması gerekmektedir (Cooke, 2006).

Yem fabrikalarında etkin bir temizlik programı uygulanmalıdır. Yem üretim bölümlerine uygun temizlik şekilleri hazırlanmalı ve belirlenen zamanlarda temizlik işlemleri yapılmalıdır. Böceklerin üremelerinde rol oynayan tozların giderilmesi için fabrikanın üst bölgeleri mutlaka temizlenmelidir. Aktif olarak çalışılan alanların zemin kısımlarının temiz tutulmasına dikkat edilmelidir. Çalışan ekipmanların iç ve dış kısımları bakımlı ve temiz tutmak zararlılara yaşam şansı yaratacak alanlar için önlemler alınmalıdır (Pedersen, 1985).

4.3.Fiziksel ve Mekanik Yöntemler

Sağlık koruma ve zararlıların kontrolünde kullanılan fiziksel yollar, sıcaklık değişimi, rutubetin kontrol altında tutulması ve zararlıların girişinin engellenmesidir. Böceklerin kontrolü için ortam sıcaklıklarının düşürülmesi, depolanmış hammaddelerde ve yemlerde mantarların ve mikroorganizmaların gelişmemesi için ortam nem düzeyinin uygun olan koşullarda tutulması gerekmektedir. Genel olarak % 13 - 14 veya daha az nem kapsayan danelerde mantarların çoğalmasına imkân vermezler (Pedersen, 1985).

Kemirgenlerin, kuşlar gibi zararlıların fabrika bölümlerine ve hammadde depolama kısımlarına girişlerinin önlenmesi fiziksel bir takım engeller ile gerçekleştirilmektedir. Pencere ve diğer açıklıklarının mutlaka kafesli tellerle kapatılmalı ve kanal ağızlarındaki kapaklara ufak delik çaplı sac plakalar takılmalıdır. Yürüyen haşerelerin ve kemirgenlerin kapı altlarındaki ve kenarlarındaki açıklıklardan iç alana girişini engellemek amacıyla kapı altı fırçalıkları kullanılabilir (Pedersen,1985)

Kuşlar ve kemirgenler hem ekonomik, hem de etraflarına verdikleri bulaşma ile hastalık taşıma yönünden zarar yaratmaktadırlar. Yem fabrikalarında serce ve güvercinler yükleme boşaltma yerlerinde hammadde ve yeme ulaşma, fabrikanın çeşitli bölümlerinde ise yuva yapma gibi özellikleriyle bulaşmalara neden olurlar. Kemirgenler hammadde ve üretilen yemlere hastalık ve mikrop taşırlar, fabrika ekipmanlarına ve yem konulacak materyallere zarar verirler. Ayrıca kemirgenlerin dışkı ve idrarları birçok hastalık taşınmasında rol oynamaktadır. Kemirgenlerden olan fa-

relerin taşıdığı bazı hastalıklar, kuduz, şap, *salmonella* vb. verilebilir. Kemirgen ve kuşların fabrikadan uzak tutulması için önlemler alınmalıdır. Fiziksel ve mekanik olarak alınacak yöntemler, kemirgenler için ultrasonik, kuşlar için dönen ısı cihazları ve uçan böcekler için de elektronik ızgaralar verilebilir (Pedersen,1985).

4.4.Kimyasal Uygulamalar

Zararlıların kontrolü için mevcut olan kimyasal bileşiklerin güvenilirlik dereceleri oldukça belirsizdir. Geçmişte kullanılan bazı materyaller üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sonucu bunların kullanılmasının sınırlı olduğu ortaya çıkmış ve kullanımları durdurulmuştur.

Hayvansal yemlerin bulunduğu ortamlara uyum sağlayan 15-20 tür böcek bulunmakla birlikte sıcaklık ve nem koşullarının ayarlanması üremelerini durdurabilir. Ayrıca yem fabrikalarında kontaminasyona neden olan böcekler için kimyasal uygulamalarda yapılmaktadır. Böcekler özellikle tahıl hammaddelerinin iç ve dış kısımlarına zarar verirler bunların sonucunda hammaddelerde istenmeyen diğer durumlarda gözlenmektedir. Yemlerde böcek gibi zararlılara önlem alınması oldukça önemlidir.

Yem fabrikalarında zararlı önlemede halen kullanılan bileşikler, tane koruyucusu, yüzey spreyleri, sis veya duman halinde püskürtülerek kullanılan kontakt insektisitleri, havaya maruz kaldığı zaman zehirli gaz ve buhar oluşturan fungimantlar, akut formda veya büyük dozlarda zehirli olan rodentisitler, toksikanlar, uzaklaştırıcılar şeklinde verilebilir (Pedersen,1985).

4.5 Yem Fabrikası Çalışanları

Yem fabrikasında üretim hattından sorumlu personelin bilerek veya bilmeyerek gerçekleştirdiği hareketler sonucu yemlerde istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Yem fabrikalarında sağlık koruma ile ilgili olarak personelin bilgi ve eğitim verilmesi gerekmektedir. Yeni elemanların etkin ve süratli bir biçimde eğitilmeleri gerekir. Yem fabrikasına giriş ve çıkışların kontrollü yapılması, personelin mutlaka özel çalışma elbisesi giymesi, çalışılacak alanlara girilirken mutlaka hijyen havuzundan geçirilmesi, oluşabilecek bulaşmaları önlemek için genel temizlik kurallarına dikkat etmeleri gereklidir.

5.Mikroorganizmaların Bulaşma Sorunları

Hayvan beslemede yaygın olarak kullanılan hammaddelerin büyük bir kısmı bitkisel kökenli olup mikroorganizmaların yaşaması için iyi

birer ortam oluşturlar. Yemlerdeki mikroorganizmaların en önemli grupları bakteriler, küf mantarları ve mayalardır (Küçükersan,2007).

Bakteriler içerisinde özellikle patojenik bakteri türleri ile endospor oluşturan *Bacillus* ve *Clostridium* türleri yemlerde önemli kontaminasyon unsudur. Ayrıca hayvan yemlerinde yaygın görülen ve ciddi ekonomik kayıplara neden olan *Salmonella* türü bakteriler için yem fabrikalarında ciddi önlemler alınmalıdır (Küçükersan, 2007).

Mantarlar yem fabrikalarında sorun yaratan diğer mikroorganizmalardır. Bulundukları ortamlara metabolik olayları sonucu mikotoksin denilen maddeler salgırlar. Mikotoksinler bulaştıkları yemlerle hayvanlara geçerek sağlık sorunları ve ekonomik kayıplar oluşturlar. Yemlerde, mantar türleri arasında aflatoksin salgılayan *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus* önlem alınması gereken başlıca türlerdir (Küçükersan, 2007).

Yem fabrikalarında hammaddelerin ve üretilen yemlerin kullanılmaz hale gelmesinde etkili olan bir diğer mikroorganizma türü olarak mayalar verilebilir. Mayalar uygun nemde yem hammaddelerinin bozulmasına yol açar. Hayvanlar tarafından aşırı tüketilen maya bulaşmış yemler sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Küçükersan, 2007).

Yukarıda kısaca açıklanmaya çalışılan mikroorganizmaların yarattığı sorunlar, üretilen yemler için tehlike oluşturmaktadırlar. Bu nedenle fabrikanın HACCP planı kapsamında sağlık koruma konusunda mikrobiyal bulaşma riskleri tespit edilmeli ve gerekli işlemler yapılmalıdır. Yem fabrikasında alınacak çeşitli denetim, bakım, temizlik gibi uygulamalar bu sorunu azaltsa da, yem fabrikalarına dışarıdan gelen hammaddeler daima risk taşımaya devam etmektedir. Bu durum içinde gereken sağlık koruma önlemleri alınmalıdır (Pedersen,1985).

Mikrobiyal bulaşmayı en aza indirmek için zararlı/tehlikeli mikrop- ların tespiti oldukça önemlidir. Yem fabrikalarında mikrobiyal açıdan sınıflandırma yapılacak olursa;

a) Kabul edilemez mikroplar

- Hayvan hastalıklarına yol açan mikroplar
- Hayvansal kökenli gıda maddelerinden insanlara geçen zararlı mikroplar (*Salmonella*)

b) Engellenmesi ve kontrol edilmesi gereken mikroplar

- Mayalar ve küfler/küf toksinleri

- Entero bakteriler/zararlı mikropların göstergesi olarak verilebilir (Cooke,2006).

Yem fabrikalarında mikropların artması ve bulaşmalarının önlenmesi için uygulanacaklar için temel gereksinimler: yem üretim tesisinde ve depolama sırasında rutubet düzeyinin ve yoğunlaşmanın kontrolü sağlanmalıdır.

- Ham maddelerin alimi ve depolanmasında,
- Üretim aşamasında,
- Ürünün soğutulması işlemi sırasında kontaminasyon gerçekleşebilir bu açıdan önlemler alınması gerekmektedir (Cooke, 2006).

6.Yem Fabrikalarında Hammadde Alımı

Yem fabrikalarında hammaddeler çok çeşitli olup, kuru ve sıvı maddeleri, premiksleri ve hayvan yemlerinde kullanılan diğer tüm maddeleri kapsamaktadır. Yem üretiminde kullanılacak bitkisel ve hayvansal kökenli yem ham maddelerinin uygun kalitede olması, mikrobiyolojik açıdan temiz olmaları üretilecek yeminde kalitesini etkilemektedir. İşlenmek üzere fabrikaya getirilen hammaddelerin böcekli olup olmadığı, kemirgenler tarafından zarar verilmediği, küf ve mikotoksinlerce bulaşık olmadığı gibi kontrolleri yapılarak alınması gerekir. Hammaddelerde böcek görülmüş ise fumigasyon işlemi yapılabilir. Kemirgen kontaminasyonu muhtemel hastalıkları da beraberinde getirebilecek olduğundan önem taşır. Hammaddelerin mikroorganizma yükleri ve kalitesi kontrol edilmeden fabrika tarafından kabul edilmemelidir (Pedersen,1985)

Çiftlikten sofraya güvenli gıda kapsamında yem fabrikalarının en çok dikkat etmesi gereken aşamalardan biri olan hammadde alimi ve fabrikaya nakil edilmesi üretimde kullanılıncaya kadar mikrobiyal bulaşma yollarının kırılması veya önlenmesi açısından hammadde tedarikçisi ve hammaddenin teslimi aşamaları risk analizlerinin yapılması büyük önem taşır (Cooke, 2006).

Yem fabrikaları hammaddeleri çok farklı yerlerden nakil araçları ile temin etmektedir. Bu nedenle yem fabrikalarına çok fazla nakil aracı girişi ve çıkışı olmaktadır. Burada dışarıdan yem fabrikasına istenmeyen bir bulaşmaya neden olmadan nakil araçlarından gelebilecek zararlılara karşı önlemler alınmalıdır. Fabrika girişinde dezenfeksiyon havuzunun üzerinde dezenfekte edebilmek için uygun spreyleme sistemi ile nakil araçları dezenfekte edilebilir (www.pakpilic.com/, 2009)

Yem fabrikasına taşınacak hammaddenin nakil araçlarına yüklenmeden önce mutlaka taşınacak hammaddeye uygun seçilmesi ve gerekli temizliklerinin yapılması gerekmektedir.

Hammaddeler yem fabrikasına kabul edilmelerinin ardından uygun şekilde depolama alanlarına alınırlar. Yem fabrikalarında hammadde- nin nakil araçlarından en uygun şekilde boşaltılması işlemi yapılabilecek şekilde alanlar dizayn edilmesi oluşabilecek kontaminasyonları da engellemektedir. Hammaddelerinin boşaltılacağı alanların zararlılardan arındırılmış ve uygun temizlik işlemlerinin yapılmış olması kalitenin korunması açısından önem taşır. Ayrıca hammaddelerin depolanmadan önce temizleme işlemlerinden geçirilmesi gerek depolama gerekse üretimi olumlu yönde etkiler. Hammaddelerin taş, toprak, metal, plastik, sap ve saman gibi yabancı maddelerden arındırılması ve temizlenmesi için uygun elek sistemlerinden yararlanılır (Polat, Özduven, 2004).

7.Hammaddenin ve Yemin Depolanması

Hammaddelerin ve üretilen yemlerin depolanması yem fabrikaları için en önemli konulardan biridir. Depolama sırasında hammaddelerin ve yemin kalitesinin korunması iyi bir denetim ve depolama programının yapılması ile gerçekleştirilebilir. Yemin ve hammaddenin depolanması sırasında dikkat edilecek koşullar arasında, ortamın ısı, nem düzeyi, depolama süresi, depolanacak alanın temizliği gelmektedir. Yem ve hammaddelerin bozulmasında en çok etkiyi nem yapmaktadır. Yem hammaddelerinin ve yemlerin % 9'un altında nem içermesi bulaşıklık riskini son derece azaltmaktadır. (Küçükersan, 2007)

Hammaddeler yapılarına uygun olarak dökme olarak depolanmaktadır. Üretilen yemler ise dökme ya da çuvala depolanabilirler. Dökme halinde depolanacak maddelerin zararlılarla kontamine olmaması ve böceklenmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Hammadde ve yem siloları sık kontrol edilmeli, böceklenme ve nem durumu gözden geçirilmelidir. Silolarda küflenmiş, bozulmuş ve yüksek rutubetli maddeler uzaklaştırılması ve fungimasyon yolu ile haşere ve böceklere önlem alınması gerekmektedir (Pedersen, 1985).

Hammadde ve üretilen yemler ambarlarda depo edilecekse uygun istif koşullarına uyulmalıdır. Duvarlar ile maddeler arasında 45-50 cm mesafe bırakılmalıdır. Kemirgen ve zararlılar için gereken önlemler alınmalı, tuzak istasyonları kurulmalıdır. Ambar giriş ve çıkışları kontrol altına alınmalı, denetim, bakım ve temizlik kurallarına uyulmalıdır (Pedersen, 1985).

8. Üretim Tesisi Düzeyinde Önemli Bir Nokta

Yem fabrikalarında yemin üretimi aşamasında mikrobiyal bulaşma özellikle bakım ve temizlik kurallarına uyulmaması sonucu görülmektedir. Yem fabrikalarında hammaddenin boşaltılması ve yem üretimi sırasında oluşan toz üretim hatlarında ve fabrikanın hemen hemen her yerinde birikmektedir, Tozda mikrop bulunma ihtimali, yem veya ham maddede bulunma ihtimalinden 10 kat daha fazladır. Çeşitli mikroorganizmalar bu tozlarda gelişmektedir. Ayrıca tozlu alanlar kemirgen, kuş ve haşere gibi zararlıların temasına açıktır. Toz çeşitli nedenlerle kontamine olabilir ve yem üretimde üretilecek yeme istenmeden karışabilmektedir. Yeme toz karışması özellikle üretilen ürünlerin soğutulması sırasında gerçekleşmektedir. Bulaşma peletleme işleminden sonra gerçekleştiğinden soğutma sistemindeki mikroplar en büyük bulaşıklık riskini oluşturmaktadır. Peletlenmiş yem bulaşma riskine devamlı olarak açıktır. Bu durum ciddi sorunlara yol açmaktadır. Eğer yeme zararlı bulaşmışsa tüm parti bulaşık kabul edilmektedir (Cooke, 2006).

Yem fabrikaları için üretim hattı ve soğutma havası içinde oluşabilecek tozlara mutlaka önlem alınması gerekmektedir. Bunun için yem fabrikalarında jet filtre ve fanlar, havalandırma ekipmanları kullanılmaktadır.

9. Yemlerde Kullanımı Yasak Olan Maddeler

Yem hammaddelerine ilişkin düzenlemeler, yalnızca tarımsal verimliliğin ve üretim sürekliliğinin sağlanması açısından değil; aynı zamanda insan, hayvan ve çevre sağlığının korunması ile hayvan refahının güvence altına alınması bakımından da kritik öneme sahiptir. Son yıllarda insanlarda görülen antibiyotiklere dirençli enfeksiyon vakalarının artışı, tüketici endişelerini artırmakta ve çiftlik hayvanları endüstrisini mevcut üretim tekniklerini gözden geçirmeye zorlamaktadır. Bu bağlamda, hayvansal üretimde sürdürülebilirliği ve yüksek performansı sağlamak amacıyla yeni ve güvenli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Karma yemlere katılması yasaklanan maddelere ilişkin düzenlemeler, çeşitli yasal güncellemelerle netleştirilmiş ve 16 Haziran 2005 tarihli 25847 sayılı, 21 Ocak 2006 tarihli 26056 sayılı ve 3 Mayıs 2007 tarihli 26511 sayılı mevzuatlarla tamamlanmıştır. Bu düzenlemeler, hayvansal ürünlerin üretim süreçlerinde kullanılan yöntemlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini dikkate alarak, yem bileşenlerinde köklü değişiklikler yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Türkiye’de yürürlükte olan mevzuat çerçevesinde, hormonlar ve antibiyotik büyütme faktörlerinin hayvansal yemlerde kullanımı tamamen yasaklanmıştır. Bununla birlikte, bazı hayvan türleri için özel olarak formüle edilen premikslerde ve karma yemlerde, belirli antikoksidial

maddeler ile diğer ilaç kaynaklarının katkı maddesi olarak yasal yollarla kullanımı hâlâ mümkündür (Tuncer, 2006). Bu yaklaşım, hem hayvansal üretimin güvenliğini hem de nihai tüketiciye ulaşan gıdanın sağlık açısından risk taşımasını hedeflemektedir. Dolayısıyla yem hammadde-lerine yönelik düzenlemeler, yalnızca üretim verimliliğini değil, aynı zamanda toplum sağlığını ve çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkileyen stratejik bir alan olarak değerlendirilmektedir.

Kullanımı yasak kimyasallardan ham madde bulaşıklığı, ağır metaller, pestisitler dioksinler ve hayvansal kökenli yasak hammaddelerin yem fabrikasına girişlerinin engellenmesi konusu hijyenik yem üretimi açısından önemli bir olgudur (Şekil 3).



Şekil 3. HACCP sisteminin temelini oluşturan önleyici yaklaşım

10.Yem Üretim Aşamasında

Hijyenik yem üretimi diye adlandırılan yöntem, toz yemin soğutulmadan veya peletlemeden önce etkin bir biçimde sıcaklığa tabi tutulması anlamına geliyor. Günümüzde kabul edilen sıcaklıkla işleme standartlarına göre, hijyenik yem elde etmek için, sıcaklığın 4 dakika süre ile 85 °C’de tutulması ve yem partiküllerinin tamamının aynı işlemde geçmesinin garanti altına alınması gerekmektedir. Bu ikinci koşulu yerine getirmek için de, üretim hattındaki ürün akışının, işleme ilk giren partiküllerin işlemi en önce tamamlamasını sağlayacak şekilde gerçekleşmesi gerekir. Yem fabrikalarında istenen bu koşulları tam olarak yerine getiren HYGIENISER sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca, mevcut üretim hatlarına kolayca adapte olabilecek şekilde tasarlanmış olan bu sistemin müşterilerden ve sahadan gelecek hijyenik yem talebini en ekonomik bir şekilde karşılamaya olanak vermektedir.

Bu sistemin “Hygieniser” olarak adlandırılmasının nedeni, yemin makine içinde kalış süresini uzatarak hijyenik yem elde edilmesinin gerçekleştirilmiş olmasıdır, söz konusu uzun süre sayesinde buhar ve sıvıların yem partikülleri tarafından daha iyi absorbe edilmesini sağlaması, dolayısı ile “süper” bir “tavlanma” yani nişastanın çok iyi jelatinleşmesinin sağlanmasıdır (Budağ, 2011). Son yıllarda karma yem yapım teknolojisinde kullanılmaya başlanmış olan bir diğer hijyenik yem üretim tekniğidir. Bu yöntemin yemlere daha iyi lezzet sağladığı, yağlı tohumlardaki antimetabolitlerin yıkılmasını gerçekleştirdiği, sindirilebilirliği arttırdığı ve böylece yemlerin besleme değerini yükselttiği belirtilmektedir (Koca, 2008). Ekspander makinesinde, ısıl işlem (hidrotermal) ve mekanik basınç altında, geliştirilerek üretilen yemdir. Ekstrüzyon kelime anlamı olarak zorla itip dışarı çıkarma anlamına gelmektedir. Extruder yem, genellikle balık yemleri üretiminde kullanılır ancak belirlenmiş olan daha sağlıklı ve yüksek verimlilik gibi birçok yararından dolayı diğer çiftlik hayvanları için üretilen yemlerde de kullanılması yaygınlaşmıştır (www.ayyem.com/2009).

SONUÇ

Ülkemizde yaşayan insanların, güvenli ve sağlıklı hayvansal ürünlerle beslenmeleri hayvan sağlığının ve hayvansal gıdaların dikkate alınması ile sağlanabilir. Bunun gerçekleşmesinde, çiftlikten sofraya güvenli gıda anlayışının oldukça önemli bir rolü vardır. Hayvansal üretimde bu amaca yönelik en önemli girdinin hayvan yemi olduğu unutulmamalıdır. Çiftlik hayvanlarının hijyenik yemlerle beslenmesi, kullanılan yem hammaddelerinin elde edilişinden, yemlerin üretimi, işlenmesi, hayvanlara sunulması ve üretilen hayvansal ürünlerin insanlara sunulmasına (çift-

likten-sofraya) kadar olan süreçteki güvenlik unsurları içinde daha kaliteli ürünler elde edilmesi sağlamaktadır.

Yem fabrikalarında sağlık koruma ve zararlıların kontrol edilmesine yönelik sistemler ile üretim yapılmasının birçok yararı vardır. Yemlerdeki zararlı bulaşma sorunun çözülmesi için yem fabrikalarında HACCP sisteminin uygulanması yasal bir gereksinim değil üretilen yemin güvenilirliği içinde önemli bir olgudur. Avrupa Birliğinde hijyenik yem üretim oldukça dikkat edilen bir kavramdır. Ülkemiz gıda ve hayvancılık sektörü için hijyenik özelliğe sahip hayvan yemlerin üretilmesine özen gösterilmelidir. Ülkemizdeki fabrikaların teknolojilerini hijyenik yem üretimine göre yapılandırmaları hem ülke içinde hem de ülke dışında rekabet gücü yüksek güvenli yem üretilmesi açısından gereklidir.

KAYNAKLAR

- AB Bilgi Merkezi, (2007). Avrupa Birliğinde Gıda Güvenliği, <http://www.abveteriner.org> (04.03.2009)
- Akbiyık, Y. Gazioğlu Z. (2008). Eğitim Dökümanı Gıda Güvenliği, Türkiye Esnaf ve Sanatkarları Konfederasyonu
- Akdeniz, C. Ak, I. Boyar, S. (2005). Türkiye Karma Yem Endüstrisi ve Sorunları, İzmir
- Anonim, 2009, www.google.com
- Balding J. (1985). Yem Fabrikasının İşlem Akış Diyagramları I 61. Kısım 573-580 Yem Sanayi Teknolojisi-III Yem Sanayiciler Birliği Yayın No: 11, Ankara
- Budağ, C. (2011). Yem fabrikalarında hijyen sorunu ve zoonoz hastalıklar. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(2), 141-154.
- Cooke, B. (2006). Yem Fabrikası Düzeyinde HACCP Yaklaşımı ve İzlenebilirlik Sistemlerinin Pratik Etkileri HACCP' a dayalı yem güvenliği garanti sisteminin yönetilmesi için bir durum çalışması, FEFAC, İngiltere
- Ergül, M. (1994). Karma Yemler ve Karma Yem Teknolojisi Ders Kitabı Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 384. II. Basım. Bornova-İzmir
- <http://fisheries.ege.edu.tr/~balikbesleme/yem.htm> erişim tarihi, 04.04.2009
- <http://www.ekolgida.com/makale/1/mikroorganizma-sayilari> erişim tarihi, 04.04.2009
- <http://www.expel.com.tr/erisim> tarihi, 04.04.2009
- http://www.kirsehirtarim.com/Sayfa_Modul.asp?nedir-sayfa&id=96 erişim tarihi, 04.04.2009
- <http://www.megamakina.com/index.shtml> erişim tarihi, 04.04.2009
- http://www.newageindustries.com/enewsltr01_main.asp, erişim tarihi, 04.04.2009
- <http://www.protekpest.com/yalitim.htm> erişim tarihi, 04.04.2009
- <http://www.yemmakineleri.com/Projeleme.htm> erişim tarihi, 04.04.2009
- Koca Bahadır S. (2008). Extruder Yem Yapım Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Isparta
- Küçükersan, S. (2007). Yem Hijyeni, Bölüm: 4 200-229 Yemler-Yem Hijyeni ve Teknolojisi Ankara
- Pedersen, J. (1985). Sağlık Koruma ve Zararlı Yönetimi 43. Kısım 440-453 Yem Sanayi Teknolojisi-III Yem Sanayiciler Birliği Yayın No: 11, Ankara
- Polat C. Özduven M. (2004). Karma Yem Sanayi Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Zootehni Bölümü, Tekirdağ
- Tuncer, H. (2006). Karma Yemlerde Kullanımı Yasaklanan Hormon, Antibiyotik, Antikoksidiyal ve İlaçlar (Derleme), Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg. 2007, 47(1) 29-37 Ankara
- www.ayyem.com/ Yem Üretiminde Türkiye'de Bir İlk: Ekspander Yem erişim tarihi, 04.04.2009

www.drtarsa.com erişim tarihi,04.04.2009

www.interkim.com.tr/icerik/katkiservisbulten/pdf/broyler/2006_Br10.pdf
erişim tarihi,04.04.2009

www.pakpilic.com/KusGribiGercegi.pps erişim tarihi,04.04.2009

Yem kanun tasarısı (2006). [www.zmo.org.tr/resimler/ekler/cdf14d1e3699d61_ek.doc?tipi=37&turu = X&sube=0](http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/cdf14d1e3699d61_ek.doc?tipi=37&turu=X&sube=0)-(30,04.2009)

Yıldırım,T.(2005).Yem Sanayi Sektör Profil Arastırması, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul

Bölüm 11

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA HAYVAN REFAHI VE STRES YÖNETİMİ KRİTERLERİ

Duygu KAŞIKÇI¹, Elif Rabia ŞANLI²

1 Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Isparta, Türkiye ORCID: 0000-0003-4574-3660

2 Dr. Öğr. Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Isparta, Türkiye ORCID: 0000-0002-6862-6048

1. GİRİŞ

Toplumlara göre farklı anlamlar taşıyabilen ‘refah’ terimi, günlük hayatta sık kullanılmaktadır. İnsanlarda refah kapsamında, hem fiziksel hem de zihinsel sağlık yer almaktadır. Hayvanlarda refahı ise literatürde farklı bakış açılarıyla tanımlanmış ve zaman içerisinde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

İngiltere’de entansif yetiştirilen çiftlik hayvanlarında hayvan refahının incelenmesi nedeni ile kurulan Brambell Komitesi, hayvanın hem zihinsel hem de fiziksel olarak iyi olma halini ifade etmeye çalışmıştır. Bu nedenle hayvan refahı değerlendirilirken hayvanların morfolojik yapıları, duyguları ve davranışları bir bütün olarak değerlendirilmelidir.

Hayvan refahı, hayvanın çevresi ile uyum içerisinde olduğunun zihinsel ve fiziksel hali olarak tanımlarken; bazı araştırmacılar ise hayvanın bulunduğu çevrede rahatsızlık duymadan (acı çekmeden) yaşayabilme hali şeklinde yorumlamışlardır (Hughes, 1976; Carpenter, 1980). Bu tanımlara göre, hayvanların çevreye ne derece uyum sağlayabildiği, hayvan refahının belirlenmesinde temel bir derecelendirme olarak kabul edilmektedir. Dawkins (1980) bu tanımlamaları dikkate alarak, hayvan refahının tam bir tanımının yapılamayacağını savunmuştur (Fraser, 2013).

Tüm bu tanımlamalar dikkate alındığında hayvan refahı, **hayvanlara doğal davranışlarının tümünü gösterebilecekleri imkân verecek şartların sağlanması**” olarak tanımlanabilir.

Brambell Komitesi hayvan refahı kapsamına giren durumları sistematik olarak sınıflandırmış ve bunları acı, korku, sinirlilik ve yorgunluk başlıkları altında ele almıştır. Dawkins (1980) ise rahatsızlık veya acı-âğrı çekmeyi, hayvanda duygusal olarak hoşnutsuzluk uyandıran durumlar olarak ifade etmiştir.

Hayvan refahı, temel olarak hayvanın yaşam kalitesini yansıtan bir kavramdır. Hem zihinsel hem de fiziksel sağlık durumunu ve yaşam kalitesi gibi özellikleri içermektedir. Geniş anlamda hayvan refahı şöyle ifade edilebilir: **“Çiftlik, pet, egzotik, laboratuvar ve vahşi hayvanların bakımı, beslenmesi, barındırılması, yetiştirilmesi, nakliyesi, kesimi, tedavisi ya da bilimsel araştırmalarda kullanımı sırasında ağrı, acı ve ızdıraptan uzak, sağlık, mutluluk ve iyilik hallerinin sağlanmasıdır.”** (Antalyalı, 2007).

İnsan davranışları, insan biyolojisinin ötesinde kültürel ve ahlaki değerler tarafından şekillenmektedir. Felsefeciler insanların çevreleri ve diğer canlılarla ilişkilerinde ahlaki değerler oluşturması gerektiği konusunda genel bir benzer düşüncelere sahip olmakla birlikte, bu değerlerin

nasıl temellendirileceği konusunda farklı yaklaşımlar ileri sürmektedirler. Ahlak sistemleri insanlara özgü olduğu ve insanlar tarafından anlaşılabildiği dikkate alındığında, insanların hayvanlara yönelik düşünce ve davranışlarının da bu ahlaki çerçeve içinde değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Türker, 2009).

Hayvana karşı davranışlara ilişkin, farklı dini, etnik, siyasi ve kültürel yapılarda oldukça farklı değişkenlik görülebilmekte, bu yaklaşımlar *antroposentrizm* ve *fizyosentrizm* olarak temelde iki şekilde tanımlanmaktadır.

Antroposentrizm, insan merkezli bir yaklaşımı ifade eder. İnsan dışı canlıların değeri, insana sağladıkları yarar üzerinden değerlendirilmektedir. *Antroposentrizm* de insan ile çevresi arasındaki etik değerler oluşturulurken, temel gereksinim bakımından insanın doğayla iç içe olduğu, doğanın estetik görüntüsü nedeniyle insanın mutlu olmasını sağladığı ve insan-insana ile insan-doğaya saygılı olması ile ilgili konularda eğitici olduğu şeklinde üç yaklaşımı ele almaktadır (Anonim, 2007).

Temeli Aristoteles'e (M.Ö. 384 – 322) kadar uzanan fizyosentrizmde ise ahlaki durum farklı derecelerde doğaya yansımaktadır. *Antroposentrizm* insanı merkeze alan etik anlayışı temsil ederken, *fizyosentrizm* de doğayı merkeze alan bir felsefi yaklaşımı temsil etmektedir (Seifert, 2007).

Fizyosentrizmin bir ucunda yer alan *patosentrizm* de acı ve ıstırap duyabilme yeteneğini etik değer kazandıran temel özellik olarak kabul edilmektedir. *Biyosentrizm* ise bütün canlılara doğuştan “haysiyet” dayandırmaktadır. Bu etik bakış açısı ile “**canlı olmanın onuru**” ifadesi anlam kazanmaktadır (Körtner, 2003; Mayr, 2003; von den Berg, 2005a; b; Luy, 2006).

Yahudilik, Hristiyanlık ve Müslümanlık gibi Dünya dinlerinin, hayvanlara bakış açısının genel olarak antroposentrik bir düşünce tipine sahip olduğu ileri sürülmektedir (Kasapoğlu, 2005; Weish, 2006; Freundt, 2006). Ayrıca, Özdemir (2006) “*Kuran’a Göre Çevre*” başlıklı çalışmasında, Kuran’ın diğer semavi dinlere göre hayvanlara farklı ve olumlu bir şekilde yaklaştığını ifade etmiştir. Enam suresinin 38. ayetinde “yürüyen ve uçan” hayvanların ümmet oldukları bildirilmektedir. Bu durumun aksine Yahudi-Hristiyan geleneğinde, insanın Tanrı tarafından yeryüzündeki tüm canlılar üzerinde hükmetme yetkisi almışlardır (Weish, 2006).

Hinduizm ve Budizm gibi Dünya dinlerinde ise insan ve hayvan arasında her hangi bir özsel farklılık olmadığına, hem duygulara hem de ölümsüz bir ruha sahip olduğu düşünülmektedir (Freundt, 2006). Benzer bir yaklaşım, Kızılderili Reisi Seattle’nin 1855 yılında ABD Başkanı’na

yaptığı konuşmada da hissetmek mümkündür: “ ... rüzgar çocuklarımıza da ruh vermeli... Hayvanlar olmadan insan nedir ki?... Bizim çocuklarımıza öğrettiğimizi sizler de çocuklarınıza öğretin: Dünya bizim anamızdır” (Anonim, 2008).

2. HAYVAN REFAHININ TARİHÇESİ

Hayvan hakları konusu ile ilgili tartışmalar, 1960’lı yıllardan itibaren başlayan ve bu süreçte hayvanların yalnızca insan yararına hizmet eden canlılar değil, kendi başlarına ahlaki ve hukuki değere sahip canlılar olduğu görüşü giderek güçlenmektedir. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak 15 Ekim 1978 tarihinde Hayvan Hakları Evrensel Bildirisi ilan edilmiştir. Bu bildiri, 1989 yılında Hayvan Hakları Birliği tarafından yeniden düzenlenmiş, 1990 yılında UNESCO Genel Direktörü ile paylaşılmış ve o yıl içerisinde kamuoyuna bildirilmiştir.

Hayvan Hakları Evrensel Beyannamesi’nin giriş bölümünde bildirinin etik ve felsefi dayanakları açıklanmıştır. Buna göre, yaşamın tek ve bütüncül olduğu, tüm canlıların ortak bir kökenden geldiği ve türlerin evrimsel süreçler sonucunda farklılaştığı kabul edilmektedir. Yaşayan tüm canlıların doğal haklara sahip olduğu, özellikle sinir sistemine sahip hayvanların kendilerine özgü haklarının bulunduğu vurgulanmaktadır. Bu doğal hakların göz ardı edilmesi, doğaya kayda değer bir şekilde zarara yol açacağı ve insanın hayvanlara zarar vermede zemin hazırlayacağı ifade edilmektedir. Farklı türlerin bir arada bulunmasının, insanın diğer hayvan türlerine yaşama hakkı tanımasını gerektirdiği; hayvanlara gösterilen saygının, insanların birbirlerine gösterdikleri saygıdan ayrı düşünülemezceği belirtilerek bildirinin ilan edildiği ifade edilmektedir.

Hayvan refahı alanındaki ilk yasal düzenlemeler, dönemin yapısı itibarıyla Avrupa Ekonomik Topluluğu (AET)’nin kuruluş belgesi olan 1957 tarihli Roma Anlaşması’na dayanmaktadır (Antalyalı, 2007).

Roma Anlaşması ile başlayan bu süreç, zaman içinde yapılan düzenli gözden geçirme ve değişikliklerle geliştirilerek hayvanları ilk kez ‘duyarlı canlılar’ olarak tanımlayan ve hayvan refahı ile ilişkili olarak bağlayıcı hükümler içeren bir protokol olan Amsterdam Anlaşması, Ekim 1997’de imzalanarak Mayıs 1999’da yürürlüğe girmiştir (Antalyalı, 2007; Köseman, 2009).

Hayvan davranışları bilimi, zootekni alanında temel araştırmaların yürütüldüğü bir bilim dalı olmasının yanı sıra, davranışın kökenine ilişkin bilimsel bir merakın sorgulanmasında önemli bir araçtır. Bu alandaki çalışmalarda, mevcut yöntemde bir diğer adı “karşılaştırmalı davranış bilimi” olan etolojiden faydalanılmaktadır. Etoloji bilim dalı, 20. yüzyılın

ortalarında gelişmeye başlamasıyla birlikte, insanın hayvan davranışlarına gösterdiği ilginin bilimsel bir çerçeveye oturtulmasına yönelik çalışmalar 19. yüzyılda başlamıştır.

Söz konusu dönemde, hayvan davranışlarının değerlendirilmesinde çoğunlukla *antroposantrizmin* hakim olduğu bir süreç olarak ifade edilebilir (Immelmann vd., 1996). Bu yaklaşım, hayvan davranışlarının ve bilişsel süreçlerin insanlar gibi işlediği yönünde varsayımların toplumda yaygınlaşmasına zemin hazırlamıştır. Erken dönem hayvan davranış çalışmaları, bu çerçevede şekillenmiş ve literatürde sıklıkla dikkat çeken araştırmalar yer almaktadır.

Hayvan davranışlarının evrimsel temelleri ve yaşamını sürdürme üzerine etkileri konusunda düşüncelerini ilk kez ortaya koyan bilim insanlarından birisi **Charles Darwin'dir** (1809-1882) (Darwin, 1990). Darwin'den kısa bir süre sonra, **J. Henri Fabre (1823-1915)**, yaban arıları üzerine yaptığı gözlemler sonucunda böcek davranışlarının karmaşıklığını vurgularken, C. Lloyd Morgan (1852-1936) hayvan davranışlarının, insana özgü psikolojistik süreçler temelinde açıklanabileceğini savunmuştur (Tinbergen, 1979).

I. P. Pavlov'un (1849-1936), neredeyse bütün psikoloji kitaplarında yer alabilecek "koşullu tepki" terimini ortaya koyduğu deneysel çalışmaları, hayvan davranışlarının incelenmesinde deneysel yaklaşımın gelişmesine ve davranış bilimlerine dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Todes, 2003; Dawkins, 2004).

3. HAYVANLARDA DAVRANIŞ STRES VE STRES FAKTÖRLERİ

Günlük konuşmalarda sık sık kullanılan stres, genellikle "baskı" ve ya "gerginlik" kavramlarıyla ifade edilen bir terimdir. Bilimsel anlamda ise, yalnızca endişe ve sıkıntı anlamına gelmemektedir. Stres; bireyin veya organizmanın karşılaştığı yeni, zorlayıcı ve alışılmamış durumlar karşısında, ruhsal ve bedensel sınırlarının zorlanması sonucunda ortaya çıkan uyum süreci olarak tanımlanmaktadır. Organizma bu yeni duruma uyum sağlayabilmek için bir dizi fizyolojik ve davranışsal tepki geliştirir; bu tepkiler stres yanıtı olarak adlandırılmaktadır (Moberg ve Mench, 2000).

Günlük kullanımda sıklıkla stres ile eş anlamlıymış gibi kullanılan endişe ve sıkıntı kavramları ise, gerçekte organizmanın stres etmenleriyle başa çıkamadığı durumlarda ortaya çıkan psikik değişiklikleri ifade etmektedir. 1950'li yıllara kadar stres, organizmada fizyolojik ya da fizyopatolojik değişikliklere yola açan bir uyaran olarak değerlendirilirken, Hans Selye 1952 yılında stresi, uyaranlara verilen tepkiden ziyade,

bu uyaranlara karşı vücudun vermiş olduğu yanıt olarak ifade edilebilir. Bu bağlamda birey üzerinde strese neden olan etmenler ‘stresörler’ olarak tanımlanmaktadır (Yurdakoş, 2005). Stresörler;

1. Fiziksel: Travma, şiddetli egzersiz, gürültü, aşırı sıcak veya soğuk, nem, çevre kirliliği, besin kısıtlaması, cerrahi girişimler gibi faktörler.

2. Sosyal: Bireyin çevresi ile olan ilişkilerinde yaşadığı çatışmalar, sosyal uyumsuzluklar ve grup içi etkileşim sorunları.

3. Psikolojik: Fiziksel ve sosyal etmenlerin sonucu olarak ya da kendiliğinden ortaya çıkan, genellikle tekrarlanan durumlar, hayal kırıklığı, izolasyon vb. faktörler.

Stresin sınıflandırılması konusunda da çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Selye (1952), stresi hoş giden etmenlerin oluşturduğu “eustress” ve hoş gitmeyen etmenlerin oluşturduğu “distress” diye ikiye ayırmıştır. Daha sonra klinik, fizyolojik ve farmakolojik temelli farklı sınıflamalar yapılmış olmakla birlikte, bugün en sık kullanılan stres sınıflamasına göre anlık (Brief stress), akut kontrol edilebilen, akut kontrol edilemeyen ve kronik kontrol edilemeyen stres olarak 4 farklı şekilde tanımlanmaktadır (Yurdakoş, 2005).

Birey, karşı karşıya kaldığı stresörün türü ne olursa olsun, bu etmene bir yanıt verme durumundadır. Bu yanıt, Selye (1952), tarafından “genel adaptasyon sendromu (GAS)” ya da “biyolojik stres sendromu” olarak ifade edilmiştir (Yurdakoş, 2005).

Stres hormonlarının fizyolojik etkileri, hipotalamus ve hipofiz bezinin ön lobundan salgılanan hormonlar tarafından düzenlenmektedir. Stresörlerin etkisiyle hipotalamustan kortikotropin serbestleştirici faktör (CRF) salgılanmakta ve bu hormon hipofiz bezinin ön lobunu uyarak adrenokortikotropik hormon (ACTH) salgılanmasına neden olmaktadır. Normal koşullar altında düşük düzeylerde sürekli olarak salgılanan ACTH’nın salınımı, stresör etkisi altında yaklaşık 20 kat artmaktadır. Artan ACTH düzeyleri ise Böbreküstü bezinin korteksini uyarak kortizol salgısında belirgin artışa yol açmaktadır (Yurdakoş, 2005). Kortizolun Genel Fizyolojik Etkileri aşağıda verilmiştir.

1. Glikojenoliz artırarak kan glikoz düzeyinin yükselmesine katkı sağlamaktadır.
2. Karaciğer dışında protein sentezini azaltıp protein yıkımını artırmaktadır. Buna karşılık karaciğere, aminoasitlerin girişini kolaylaştırmaktadır. Karaciğere giren bu aminoasitler glikoneogenez ve protein sentezinde kullanılmaktadır.

3. Yağ depolarından serbest yağ asitlerinin mobilizasyonunu artırarak enerji teminine katkıda bulunmaktadır.
4. Yüksek dozlarda, lökosit diapedezini azaltarak iltihabı bloke etmektedir.
5. Eosinofil ve lenfosit sayısını azaltırken, eritrosit sayısını yükseltmektedir. Lenfoid dokuda atrofiye neden olarak antikor sentezini azaltmaktadır ve bağışıklık yanıtını baskılamaktadır.
6. Histamin salınımını azaltarak allerjik iltihapları bloke etmektedir.
7. Kan basıncını arttırmaktadır. Bu etkisini, damarların adrenaline duyarlılığını ve karaciğerde angiotensin sentezini arttırarak göstermektedir.
8. Gastrik sekresyonu artırarak hipersekresyon ve hiperasidiye neden olmaktadır.
9. Mental aktiviteyi ve uyanıklık düzeyini arttırmaktadır.

Böbrek üstü bezinden salgılanan katekolaminler, aynı zamanda adrenerjik sinir uçlarında da sentezlenmektedir. Ancak, noradrenalin adrenaline çeviren enzim medullada yüksek konsantrasyonda bulunması nedeniyle adrenalın sentezinin büyük bir kısmı böbrek üstü bezinden gerçekleşmektedir.

Noradrenalinin, etkisini çoğunlukla alfa-adrenerjik reseptörler üzerinden periferik damar direnci ve dolaşımı düzenlemektedir. Buna karşılık, adrenalın beta 1 ve beta 2 reseptörler üzerinden metabolizma ve kalp üzerine etkilidir. Beta 1 reseptörler, kalbin uyarılması ve lipoliz sorumluyken, beta 2 reseptörler ise bronkodilatasyondan sorumludur. Stres etmenlerinin etkisi ile aktif hale gelen otonom sempatik sinir sistem, böbrek üstü bezi medullasını uyararak adrenalın salgılanmasını arttırmaktadır. Adrenalinin genel fizyolojik etkileri aşağıda belirtilmiştir.

1. Kalp kasının kasılma gücünü artırarak, kalp atım hızı ve uyarı-iletim hızını yükseltmektedir.
2. Bronkodilatasyona neden olarak solunum yollarının genişlemesini sağlamaktadır.
3. Böbreklerde vasokonstriksiyona bağlı olarak glomerüler filtrasyon hızını azaltmakta ve buna bağlı olarak reninangiotensin-al-dosteron sistemi aktive olmaktadır. Ayrıca, aldesteron salınımının artmasıyla vücutta tuz ve su tutulumu artmaktadır.

4. Karaciğerde glikojenolizi hızlandırarak kan glikoz düzeyinin yükselmesine katkıda bulunmaktadır.
5. Yağ dokularından serbest yağ asitlerinin mobilizasyonunu artırmaktadır.
6. Metabolik hızın artmasına bağlı olarak beden ısısı yükselmektedir.
7. Solunum derinliği ve hızında artışa neden olmaktadır.
8. Pupilla dilatasyonuna (midriyazis) neden olmaktadır.
9. Mental aktiviteyi uyuşukluk düzeyini artırmaktadır.
10. Yüzeyel deri damarlarında vazokonstriksiyona neden olarak periferik kan akımını azaltmaktadır.

Stres hormonları diye adlandırılan adrenal ve kortizolün salgılanmasındaki artış ile bu hormonların genel fizyolojik etkileri, vücudun direnç döneminde stres etmeni ile başa çıkma çabasının temelini oluşturmaktadır.

Birey, yaşam sürecinde genel adaptasyon sendromunun ilk iki evresi olan alarm ve direnç dönemlerine birçok kez girmektedir. Ancak, stres etmeninin gününün çok yüksek olması ya da çok uzun bir süre devam etmesi durumunda, başka bir deyişle vücut direnç döneminden tükenme dönemine geçer. Bu evrede, psikosomatik hastalıklar ya da ölüm gerçekleşebilir.

Organizmada direnç dönemini sonlandırarak tükenme dönemini başlatan temel neden, stres hormonlarının organizma üstündeki uzamış ve devam eden etkileridir. Bu durum, stres yanıtının başlangıçta koruyucu ve uyum sağlayıcı olan etkilerinin, kronikleştiğinde organizma için zararlı hale dönüştüğünü göstermektedir.

4. KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA HAYVAN REFAHI KRİTERLERİ

İngiltere hükümeti tarafından kurulan çiftlik hayvanları refah komitesi, 1993 yılında hayvanlar için 5 temel özgürlük belirlemiştir (Gonyou, 1994). Bu maddelerde hayvanların aç, susuz bırakılmamaları, uygun barınak ve çevre koşullarının sağlanması, çarpma, yaralanma ve hastalıklardan korunmaları, normal davranışlarını sergileyebilmeleri ile korku ve stresten korunmaları gerektiği belirtilmiştir (Farm Animal Welfare Council, 1993).

Küçükbaş hayvanlarda hayvan refahı kriterleri değerlendirildiğinde Hayvan Refahı Komitesinin belirttiği **'Beş Temel Özgürlük'** kriterlerine oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

4.1. Yem ve Su

4.1.1. Yem

- a. Küçükbaş hayvanlar kendi türüne uygun beslenmeli, sağlıklarını korumak için yeterli miktarda yem verilmeli ve besin ihtiyaçları karşılamalıdır.
- b. Hayvanın her gün yeme erişimi sağlanmalıdır.
- c. Yetiştiricilerin, hayvanlara verilen yem bileşenleri ve yem katkı maddelerini düzenli olarak kayıt altına almaları gerekmektedir.
- d. Süt ve süt ürünleri hariç, hayvansal kaynaklı proteinli yemlerin kullanımına izin verilmez.
- e. Küçükbaş hayvanlarda vücut kondisyon skorundaki değişiklikler ve üreme kapasiteleri dikkate alınarak besin madde gereksinimleri planlanmalıdır.
- f. Yemlerin cinsi ve kalitesindeki ani değişikliklerden kaçınılmalı, gerekli durumlarda geçişler kademeli olarak yapılmalıdır.
- g. Küçükbaş hayvanların geviş getirme davranışlarını sürdürebilmeleri için yeterli ve uygun nitelikte selüloz içeren yemler kullanılmalıdır.
- h. Çevresel koşullar nedeniyle besin yetersizliği varsa, hayvanlar bu ortamda 24 saatten fazla tutulmamalıdır.
- i. Yemlik alanı, hayvanların canlı ağırlıkları, boynuzlu olup olmamaları ve sürüdeki hayvan sayısına göre hesaplanmalıdır.
- j. Yemlikler temiz olmalı, bayat, küflenmiş veya bozulmuş yemlerin bulundurulmasına izin verilmemelidir.
- k. Otomatik yemleme sistemleri, en az haftada bir temizlenmelidir.
- l. Sıvı besinlerin verilmesinde kullanılan ekipmanlar günlük olarak temizlenmeli ve sterilize edilmelidir.
- m. Depolanan yemler (örneğin silajlar vb.), kediler, kemirgenler ve diğer zararlı canlılardan korunmalı ve iyi kalite-hijyen sağlanmalıdır.

- n. Hayvanlara sunulan yemlerle hastalıkların yayılımı kontrol altına alınmalıdır.
- o. Hayvana verilen yemlerde, zehirli bitkiler veya hayvan sağlığı açısından uygun olmayan besin maddeleri bulunmamalıdır.
- p. Sütçü ırk olmayan kuzular, 5 haftalıktan önce kesinlikle süttten kesilmemelidir (FAO, 2011; EFSA, 2014; OIE, 2019).

4.1.2. Su

- a. Küçükbaş hayvanların, her gün yeterli miktarda, taze ve temiz içme suyuna sürekli erişimi sağlanmalıdır.
- b. Yüksek kuru madde içeren yemlerle beslenen hayvanlar için, her 20 hayvan başına en az 1 su içme alanı (suluk) temin edilmelidir.
- c. Hayvanlar için içme suyu sürekli, sınırsız ve serbest olarak sağlanmalıdır.
- d. Doğal su kaynaklarına erişimin sınırlı veya mümkün olmadığı durumlarda, içme suyu uygun suluk sistemleri aracılığıyla sağlanmalıdır.
- e. Donma, kuraklık, altyapı arızaları vb. olağanüstü durumlar için, kullanılabilecek acil su kaynağı ve depo sistemi oluşturulmalıdır.
- f. Suluklar her zaman temiz tutulmalı, kirlenme, yosunlaşma ve mikrobiyal kontaminasyon düzenli olarak kontrol edilmelidir.
- g. Suluklar, kuzuların boğulma riskini önleyecek yükseklikte ve yapıda olacak şekilde yerleştirilme ve tasarlanmalıdır.

4.2. Çevre

4.2.1. Barınaklar

- a. Hayvan refahını esas alacak şekilde barınaklar önceden planlanmış, gereksinimlere göre geliştirilebilir ve iyileştirilebilir yapıda olmalıdır.
- b. Ağılarda, barındırılan küçükbaş hayvan sayısına göre yeterli dinlenme alanı, gezinti alanı ve türün davranışlarına uygun kullanım alanları belirlenmelidir.
- c. Tüm elektrik tesisatı; hayvanların erişemeyeceği biçimde, iyi yalıtımlı, kemirgenlere karşı korunmuş olmalı ve en az yılda 1 kez kontrol edilmelidir.

- d. Barınak iç mekanı, kolaylıkla temizlenebilir, dezenfekte edilebilir ve gerektiğinde kolaylıkla onarılabilir ve değıştirebilir malzemeden yapılmış olmalıdır.
- e. Barınak ortamında hayvanlara zarar verebilecek ya da yaralanma, korku ve stres oluşturabilecek herhangi bir unsur bulunmamalıdır.

4.2.2. Termal Ortam/ Havalandırma/ Koruma

- a. Barınak içi sıcaklık, hayvanlara ısı stresi veya soğuk stresi oluşmayacak şekilde olmalı, ne aşırı sıcak ne de aşırı soğuk koşullara izin verilmelidir.
- b. Binalar, yüksek nemi önleyecek ve zararlı gaz birikimini engelleyecek şekilde etkin bir havalandırma sistemine sahip olmalıdır.
- c. Gezinti alanlarında her hayvan için yeterli gölgelik alan bulunmalıdır.
- d. Ortam sıcaklığının kritik alt sıcaklığın altına düşmesi durumunda, özellikle genç hayvanlar için acilen ısıtma ortamı oluşturulmalıdır.

4.2.3. Gezinti Avlusu

- a. Hayvanların sürekli olarak ağıl içinde tutulmasını önlemek için gezinti avluları bulunmalıdır.
- b. Gezinti avlularında alan hesabı en az $1\text{m}^2/\text{hayvan}$ olacak şekilde yapılmalı; gebe hayvanlar için bu alan $1.5\text{m}^2/\text{hayvan}$ olmalıdır.
- c. Gezinti avlusu, tüm hayvanların rahatlıkla hareket edebileceği genişlikte ve düzenlemeye olmalıdır.
- d. Avlu zemini, ot ya da samanla kaplı, iyi drenajlı ve kuru olmalıdır.

4.2.4. Aydınlatma

- a. Tüm barınaklarda, kolaylıkla kontrol edilebilen sabit veya taşınabilir yeterli aydınlatma bulunmalıdır.
- b. Barınaklar, mümkün olduğunca gün ışığından yararlanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

4.2.5. Çevresel Tehlikeler

- a. Özellikle kuzuların, kanalizasyon boşlukları vb. açıklıklardan zarar görmesini önlemek amacıyla, kanalizasyon sistemleri dikkatle planlanmalı ve gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.
- b. Hayvanların kayarak düşmesine ve yaralanmasına neden olabilecek tüm riskler en aza indirilmelidir.
- c. Hayvanlar, sel ihtimali bulunan alanlardan uzaklaştırılmalıdır.

4.2.6. Çit

- a. Tüm çitlerin düzenli kontrolü ve bakımı yapılmalıdır.
- b. Elektrikli çitler, hayvanlara zararı vermeyecek ve huzursuz etmeyecek şekilde uygun teknik kriterlere göre planlanmalıdır.
- c. Elektrik örgülü çitler, boynuzlu hayvanlar için kullanılmamalıdır.

4.3. Yönetim

4.3.1. Yöneticiler

- a. Onaylanmış tesisin yönetiminden sorumlu yetkili personel belirlenmeli, görev tanımları açıkça yapılmalı ve resmi olarak kayıt altına alınmalıdır.
- b. Yöneticiler aşağıdaki sorumlulukları yerine getirmelidir;
 - Bakıcılar için düzenli güncellenen, mesleki gelişimi destekleyen uygun eğitim programları geliştirmeli, uygulamalı ve bu eğitimleri kayıtlarını tutmalıdırlar.
 - Veteriner Sağlık Planı'nın etkin bir şekilde uygulandığından, düzenli olarak güncellendiğinden ve ilgili tüm bilgilerin düzenli olarak kayıt edildiğinden emin olmalıdır.
 - Ürün bilgileri ve ilaç kullanım kayıtlarını düzenli olarak tutulmalı; bu kayıtlar giden ve gelen stokların belgelenmesinin yanı sıra kullanılan ilaçların türü, miktarı ve kullanım tarihlerini içermelidir.
- c. Yöneticiler, yangın, sel, su ve enerji kesintileri gibi acil durumlara yönelik plan ve önlemler geliştirilmeli ve kolay erişilebilir bir noktada acil eylem panosu bulundurulmalıdır. Acil eylem panosu aşağıdaki bilgileri içermelidir;

- Acil durumlarda izlenecek prosedürler,
- Yangın söndürme ekibi tarafından kullanılacak su kaynaklarının yerleri,
- İşletmenin konumunu gösteren yerleşim referanslı harita ve posta kodu

4.3.2. Bakıcılar

- a. Bakıcılar, hayvanın sağlık problemi yaşamaya meyilli olduğu dönemleri ve şartları iyi bilmeli aynı zamanda bu problemleri tanımlama ve kısırlaştırma sırasında ortaya çıkabilecek sonuçlar hakkında bilgi sahibi olmalıdır.
- b. Sürü üremesinden sorumlu bakıcılar, doğum, enjeksiyon uygulamaları, oral dozlama, kuyruk kesimi ve kısırlaştırma sırasında ortaya çıkabilecek sonuçlar hakkında bilgi sahibi olmalıdır.
- c. Kuzuların bakımından sorumlu bakıcılar, ağız sütünü ne zaman vereceğini bilmeli ve doğum sonrası yavrusunu tanımama sendromunu nasıl engelleyeceğini bilmelidir.
- d. Bir çiftlik hayvanının sağlığından sorumlu olmadan önce bakıcılar;
 - Düzenli olarak eğitim almalıdırlar,
 - Normal ve anormal davranışlar ile korku belirtilerini ayırt edebilmelidir.
 - Yaygın hastalıkların belirtilerini tanımalı, koruyucu önlemleri bilmeli ve ne zaman veteriner hekim desteği alınması gerektiğini ayırt edebilmelidir.
 - Vücut kondisyon skoru değerlendirmesi yapabilmelidir.
 - Normal bir ayağın fonksiyonel anatomisini, bakımını ve tedavisini bilmelidir.
 - Gerekli olduğunda doğuma yardımcı olabilmeli ve yeni doğan kuzunun bakımını sağlayabilmelidir.
- e. Bakıcılar;
 - Hayvanlara pozitif, sakin ve şefkatli bir şekilde yaklaşmalı.

- Enjeksiyon, kısırlaştırma gibi acıya neden olabilecek işlemlerde yeterli bilgi ve beceriye sahip olduğunu göstermelidir.

4.3.3. Üreme Prosedürleri

- a. Suni tohumlama, sadece bir veteriner tarafından ya da veteriner hekimin gözetiminde, eğitilmiş ve yetkin kişiler tarafından yapılmalıdır.
- b. Transservikal veya intrauterin (laparoskopik) suni tohumlama uygulamalarına izin verilmemelidir.
- c. Koçlarda elektroejakülasyon kullanılmasına izin verilmemektedir.

4.3.4. Tedavi

- a. Tüm üreticiler, rutin tedavi ve sürü yönetimi için uygun tesis ve ekipmanlara sahip olmalıdır.
- b. Tedavi sistemleri, stresi ve yaralanma riskini en aza indirecek şekilde tasarlanmalı, inşa edilmeli ve düzenli olarak muhafaza edilmelidir.
- c. Tedavi alanları ve sistemleri, mevcut hayvan sayısına ve uygulanacak prosedürlerin niteliğine uygun olmalıdır.
- d. Hayvanın tedavisi sırasında
 - İşlemler sessiz ve sakin bir şekilde yapılmalıdır.
 - Hayvanın zaptıraptı sadece güvenlik ve kontrol altında tutmak amacıyla yapılmalıdır.
 - Hayvana gereksiz acı ve stres verilememelidir.
- e. Elektrikli şok cihazları kullanılmamalıdır.
- f. İleri gebelik dönemindeki hayvanlar, gerekmedikçe tedaviye alınmamalıdır.

4.3.5. Çoban Köpekleri

- a. Çoban köpekleri iyi eğitilmiş olmalıdır.
- b. Tüm köpekler her zaman kontrol altında olmalıdır.
- c. Çobanlar, köpeklerin bakımı, beslenme, sağlık ve refah ihtiyaçlarını karşılamakla yükümlüdür.

d. Köpeklere düzenli iç parazit tedavisi uygulanmalıdır.

4.4. Sağlık

- a. Hayvanlar, hastalık belirtilerinin erken tespiti amacıyla düzenli ve sürekli olarak izlenmelidir.
- b. Hasta ve sıkıntılı hayvanlar,
 - Sağlıklı hayvanlardan hemen ayrılmalı,
 - Gecikmeden tedavi edilmeli,
 - Tedaviye cevap vermeyen veya iyileşme olasılığı bulunmayan durumlarda kesime gönderilmelidir.
- c. Sürü performansı verileri, hastalıkların ve üretim bozukluklarının erken tespiti amacıyla sürekli izlenmeli ve kayıt altına alınmalıdır.
- d. Topallık gibi yaralanmamaların olmaması için gerekli önleyici tedbirler alınmalıdır.
- e. Boynuz köreltme, boynuz kesme, kuyruk kesme gibi uygulamalardan kaynaklanabilecek ağrı ve stresin önlenmesine dikkat edilmelidir.
- f. İç ve dış parazitleri önlemek ve kontrol altına almak için etkili koruyucu önlemler alınmalıdır.
- g. Topallık tespit edilen hayvanlar, uygun koşullarda gecikmeden tedavi altına alınmalıdır.
- h. Kullanılan ilaçların etiketlerinde; içeriği, uygulama dozu, uygulama şekli ve bekleme süresi açıkça belirtilmiş olmalıdır.
- i. İlaçlar; hayvanların, çocukların ve kuşların güvenliği açısından kilitli ve güvenli depolarda muhafaza edilmelidir.
- j. İlaç depoları, insan ve hayvan gıdalarından ayrı yerlerde bulundurulmalıdır.

4.5. Taşıma

4.5.1. Dağıtım/ Yükleme/ İndirme

- a. Tüm dağıtım ve yönlendirme sistemleri; küçükbaş hayvanların doğal hareketlerini engellemeyecek ve gürültü seviyesini en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.
- b. Hayvanlar, çıkış ve yönlendirme yolları açık olmadan sürülmemelidir.
- c. Yükleme tesislerinde kullanılan rampaların eğimi %20 den fazla olmamalıdır.
- d. Tüm yükleme rampaları ve arka kapaklar, koyunların kaymasını ve düşmesini engelleyecek şekilde tasarlanmalı ve muhafaza edilmelidir.
- e. Tüm arka kapaklar, takozlara düzgün ve güvenli bir şekilde oturmalıdır.
- f. Eğer yükleme rampası yenilenmiş veya yeni yapılmış ise, arka kapak sistemiyle uyumu sağlanmalıdır.
- g. Kulvarlar ve kapılar, koyunların hareketini engellemeyecek şekilde tasarlanmalı ve organize edilmelidir.
- h. Kapı ve geçitlerin açılıp kapanması sırasında, koyunları korkutabilecek ani ve yüksek seslerin oluşması önlenmelidir.

4.5.2. Taşıma

- a. Taşıma zamanının planlaması, nakliyecisi, üretici ve mezbaha arasında koordinasyon sağlayacak şekilde yapılmalı; hayvanların bekletilme ve transfer süresi en aza indirilmelidir.
- b. Tüm nakliyeciler, taşıma sürecinde uygulanacak yazılı standart operasyon ve acil durum prosedürlerine sahip olmalıdır.
- c. Koyunlar, mezbahaya ulaştığında derhal indirilmelidir.
- d. Nakliye süresi, ilk koyun yüklenmesinden son koyunun indirilmesine kadar geçen süre dikkate alındığında 8 saati aşmamalıdır.
- e. Koyunlar taşıma sırasında;
 - Kendi çiftlik gruplarıyla nakledilmeli (en az bir hafta önceden oluşturulmuş olmalıdır).

- Mezbahada başka gruplarla karıştırılmamalıdır.
- Yükleme noktasında suya erişimleri sağlanmalıdır.
- Kamyona yüklenmeden en az 4 saat önce yemlenmiş olmalıdır.
- f. Tüm taşıma araçları, hayvanların rahatlığı için yeterli miktarla yataklık materyali ile kaplanmalıdır.
- g. Taşıma sırasında meydana gelen ciddi yaralanmalar ve ölümler, sürücü, nakliyecisi, mezbaha yetkilisi ve çiftlik yöneticisi tarafından kayıt altına alınmalı; tekrar oluşmasını önleyici önlemler alınmalıdır.
- h. Yaralanma ve ölüm vakaları incelenmeli ve incelemenin sonuçları raporlanmalıdır.
- i. Her taşıma aracında, hayvan taşıma kapasitesini gösteren belgelerin bulunması gerekmektedir.
- j. Kamyona yüklenen hayvanların aynı büyüklük ve yaş grubunda olmasına dikkat edilmelidir.
- k. Hayvanlar, mümkün olduğunca işletmeye en yakın kesimhanelere sevk edilmelidir.

4.6. Kesim

4.6.1. Kesim Öncesi Hazırlık

- a. Hayvanlar, sessiz, sakin ve elle yakalanmalı; gereksiz korku, heyecan ve stres oluşması engellenmelidir.
- b. Mezbahalarda hayvanların ilerletilmesi amacıyla elektrik şok cihazlarının kullanımı yasaklanmıştır.
- c. Mezbahada kullanılan zeminler, kaygan olmamalı ve düşme riskini artıracak unsurlar bulundurulmamalıdır.
- d. Hayvanların mezbaha içinde ilerleyişini kolaylaştıracak şekilde, yeterli genişlikte ve engellerden arındırılmış alanlar sağlanmalıdır.

4.6.2. Kesim Ekipmanları

- a. Tüm kesici aletler ve ekipmanlar, her kullanım sonrasında uygun şekilde temizlenmeli ve hijyenik koşullarda muhafaza edilmelidir.

- b. Tüm aletler kullanımdan önce kontrol edilmeli, çalışmayan veya hasarlı parçalar tamir edilerek ya da yenilenerek kullanıma hazır hale getirilmelidir.
- c. Kesimde kullanılan tüm ekipmanların onay ve kayıt işlemleri yapılmış olmalıdır.
- d. Acil durumlarda kullanılmak üzere yedek ekipmanlar, kesimhanesinde hazır ve ulaşılabilir durumda bulundurulmalıdır.
- e. Yedek ekipmanların çalışır durumda olup olmadığı en az haftada bir kontrol edilmelidir.
- f. Yedek ekipmanlar için de onay ve kayıt işlemleri yapılmalıdır.

4.6.3. Kesim ya da Öldürme Yöntemleri

Kesim işlemi, mümkün olan en kısa sürede, hayvanın acı, korku ve stresini en aza indirecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kesim sırasında, diğer hayvanların işlemi görmesi engellenmeli ve refahı olumsuz etkileyecek uygulamalardan kaçınılmalıdır.

5. SONUÇ

Hayvan refahı akımı, hayvanların insanlar tarafından gıda, iş gücü veya bilimsel araştırmalarda kullanımının tamamen ortadan kaldırılmasını değil, bu kullanımın mümkün olan en düşük düzeye indirilmesini ve belirli etik ilkelere bağlı kalınarak gerçekleştirilmesini savunmaktadır. Bu yaklaşım, zaman zaman hayvanların hiçbir şekilde kullanılmamasını ve tamamen özgür bırakılmasını savunan hayvan özgürlüğü akımı ya da bazı vejetaryen ve vegan yaklaşımlar ile karşılaştırılabilmektedir. Oysa hayvan refahı anlayışı, hayvanlardan yararlanılmasına bütünüyle karşı çıkmamaktadır ve aksine bu yararlanmasının etik sınırlar, bilimsel gereklilikler ve refah kriterleri çerçevesinde gerçekleştirilmesini talep etmektedir.

Türkiye’de, hayvan hakları ve hayvanların korunmasına yönelik yasal düzenlemeler, 2004 yılında yürürlüğe giren 5199 sayılı Hayvanları Koruma Kanunu ile güvence altına alınmıştır. Bu yasa ile hayvanların, doğuştan sahip oldukları yaşama haklarının korunması amaçlanmış; hayvanların kötü muamele edilmesini, acı ve ıstırap çektirilmesini önlemeye yönelik hükümler çerçeveye alınmıştır. Ayrıca söz konusu hükümlerin ihlali durumunda uygulanacak idari ve cezai yaptırımlar açıkça tanımlanmıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, hayvan refahı kavramının yalnızca barınma ve beslenme koşullarıyla sınırlı olmadığı, davranışsal, fizyolojik ve duygusal bileşenleri kapsayan çok boyutlu bir yapı olduğu açıkça ortaya konmuştur. Özellikle stres fizyolojisi alanındaki araştırmalar, kortizol, katekolaminler ve davranışsal göstergelerin, hayvan refahının değerlendirilmesinde güvenilir biyobelirteçler olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Hayvanların yalnızca acıdan uzak olmalarının yeterli olmadığı, aynı zamanda doğal davranışlarını rahat sergileyebilmeleri ve olumlu duygusal durumlar yaşayabilmelerinin refahın temel unsurları arasında yer aldığı düşünceleri giderek artmaktadır. Bazı uluslararası kuruluşlar, kronik stresin bağışıklık sistemi baskılanması, üreme performansında düşüşü ve üretim kayıplarıyla doğrudan ilişkili olduğu belirtilmekte, bu nedenle stresin önlenmesinin hem etik hem de ekonomik açıdan zorunlu olduğu ifade edilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında, hayvan refahı ve stres konusunun modern hayvancılık sistemlerinde bilimsel temellere dayalı, ölçülebilir ve sürdürülebilir bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Büyükbaş ve kanatlı yetiştiricilik sistemleri ile karşılaştırıldığında küçükbaş hayvanların yetiştirme koşullarına beş temel özgürlük kriterleri değerlendirildiğinde diğer yetiştiriciliklere göre uygulanması daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, küçükbaş hayvanlarda refahın iyileştirilmesine yönelik olarak bilimsel temelli ve uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle yetiştiricilik sistemlerinde, stresin erken dönemde tespit edilebilmesi için biyobelirteçlerin ve davranışsal gözlemlerin birlikte değerlendirilmesinin yaygınlaştırılması önerilmektedir. Bunun yanı sıra, yetiştiriciler ve saha personeli için hayvan davranışı, stres belirtileri ve refah uygulamaları konularında düzenli eğitim programlarının oluşturulması, refah standartlarının etkin biçimde uygulanmasını destekleyecektir. Ulusal mevzuatın uygulanabilirliğinin artırılması için denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi, iyi refah uygulamalarını benimseyen işletmelerin ise teşvik edici desteklerle ödüllendirilmesi önerilmektedir. Son olarak, hayvan refahı kriterlerinin üretim verimliliği ve ürün kalitesi ile olan ilişkisini ortaya koyan çok disiplinli bilimsel çalışmaların artırılması, hem etik hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir hayvancılık politikalarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Antalyalı, A. (2007). Hayvan Refahı ve Etik Yaklaşımlar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Anonim (2007). Hayvan refahı ve çevre etiği üzerine temel yaklaşımlar. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Darwin, C. (1990). The expression of the emotions in man and animals. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Dawkins, M. S. (1980). Animal suffering: The science of animal welfare. Chapman and Hall, London.
- Dawkins, M. S. (2004). Using behaviour to assess animal welfare. *Animal Welfare*, 13(S1), 3–7.
- EFSA (European Food Safety Authority). (2014). Scientific opinion on the welfare risks related to the farming of sheep and goats. *EFSA Journal*, 12(12), 3933. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3933>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). Guide to good animal welfare practices for sheep and goats. FAO Animal Production and Health Guidelines. Rome: FAO.
- Farm Animal Welfare Council (FAWC). 1993. Second Report on Priorities for Research and Development in Farm Animal Welfare. MAFF Tolworth, United Kingdom.
- Fraser, D. (2013). Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 55(Suppl 1), S1. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-S1-S1>
- Gonyou HW, 1994. Why the study of animal behavior is associated with the animal welfare issue. *J. Animal. Sci.* 72: 2171-2177.
- Immelmann, K., Barlow, G. W., Petrinovich, L., & Main, M. (1996). Behavioral ecology and evolution. New York, NY: Oxford University Press.
- Körtner, U. H. J. (2003). Tierethik aus theologischer Perspektive. *Zeitschrift für Evangelische Ethik*, 47, 161–175.
- Köseman, A. (2009). Avrupa Birliği'nde hayvan refahı mevzuatının gelişimi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 80(3), 45–52.
- Luy, J. (2006). Animal welfare and animal ethics in Germany. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19, 45–61.
- Mayr, E. (2003). What makes biology unique? Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Moberg, G. P., & Mench, J. A. (2000). The biology of animal stress: Basic principles and implications for animal welfare. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- OIE (World Organisation for Animal Health). (2019). Terrestrial animal health code: Animal welfare. Paris: OIE.
- Seifert, J. (2007). Physiocentrism and environmental ethics. *Environmental Ethics*, 29, 37–52.
- Tinbergen, N. (1979). The study of instinct. Oxford University Press, Oxford.

- Türker, M. (2009). Hayvan hakları ve etik yaklaşımlar. *Felsefe Dünyası*, 50, 85–98.
- von den Berg, H. (2005a). Animal dignity in ethical theory. *Ethics and the Environment*, 10(1), 27–44.
- von den Berg, H. (2005b). The moral status of animals revisited. *Journal of Applied Philosophy*, 22(3), 281–295.
- Yurdakoş, K. (2005). Stres fizyolojisi ve genel adaptasyon sendromu. *Tıp Bilimleri Dergisi*, 25(2), 113–121.

Bölüm 12

HAYVAN ISLAHINDA GENETİK ÇEŞİTLİLİK VE VERİM İKİLEMİ: GEÇMİŞTEN GELECEĞE PERSPEKTİF

İsa YILMAZ¹, Ömer Faruk YILMAZ²

1 Doç. Dr.:Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Hayvansal Üretim ve Teknolojileri Bölümü. isa.yilmaz@alparslan.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6796-577X

2 Arş. Gör.; Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü. omer.yilmaz@omu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1411-7897

1. Giriş

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), ekonomik açıdan Lamiaceae familyasının en önemli bitkilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Kostas vd., 2022). Biberiye; herdem yeşil, çok yıllık ve demet oluşturan tıbbi ve aromatik bir çalı türü olup, dik veya yatık gelişme gösterebilmekte ve genellikle 1,8 m boya ulaşabilmektedir (Shahhoseini vd., 2015; González-Minero vd., 2020). Kökeni Akdeniz Havzası olmasına rağmen geniş bir çevresel koşul aralığında yetiştirilebilen tür, kuraklık, don ve tuzluluk stresi gibi olumsuz çevresel koşullara karşı yüksek tolerans göstermektedir. Biberiye yetiştiriciliğinden ise uçucu yağ ile taze ve kuru yapraklar olmak üzere üç temel ürün elde edilmektedir (German vd., 2016). Yemeklerde baharat olarak kullanılmasının yanı sıra, sahip olduğu biyolojik ve fonksiyonel özellikler sayesinde peyzaj tasarımları başta olmak üzere gıda, kozmetik ve tıp alanlarında yaygın biçimde değerlendirilmektedir. (De Mastro vd., 2004; Carrubba vd., 2006; De Baets vd., 2007; Lagouri ve Alexandri, 2013; Shahhoseini vd., 2015; Andrade vd., 2018; Nunziata vd., 2018; De Macedo vd., 2020). Tohum, çelik, daldırma veya kök ayırma gibi yöntemlerle biberiye üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Kiuru vd., 2015; Mehrabani vd., 2016; Hammer ve Junghanns, 2020). Biberiye tohumları, 3–4 haftaya kadar uzayabilen yavaş çimlenme süresi ve %10–20 gibi düşük çimlenme oranları nedeniyle üretimde nadiren kullanılmaktadır (Kiuru vd., 2015). Bu nedenle, türün üretilmesinde çoğunlukla çelikle üretim gibi vejetatif yöntemler kullanılmaktadır (Paradiković vd., 2013; Kostas vd., 2022).

Eşeyli (generatif) ve eşeysiz (vejetatif) bitki üretim yöntemleri, bitki türlerinin çoğaltılmasında yaygın olarak kullanılan temel üretim yaklaşımlarıdır. Vejetatif üretim yöntemi, üretim materyalinden kısa sürede yeni bitkilerin elde edilmesine olanak tanırken, klonal seleksiyonların genetik özelliklerinin korunmasını ve piyasa talebinin karşılanmasını da mümkün kılmaktadır (Hartmann vd., 2011). Yüksek çoğaltım kapasitesi ve genetik bütünlüğün sürdürülebilmesi gibi avantajlarıyla öne çıkan çelikle üretim, büyük ölçekli vejetatif üretim için en uygun tekniklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Siqueira vd., 2020). Bu yöntem, bahçe bitkilerinin, süs bitkilerinin ve koruma altında bulunan ya da nesli tehlike altındaki bitki türlerinin üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir (Baul vd., 2011; Jiang vd., 2017; Siqueira vd., 2020). Gövde çelikleriyle gerçekleştirilen vejetatif üretimde, büyüme döneminde alınan otsu, yumuşak ve yarı odunsu çeliklerde ya da büyüme dönemi sonrasındaki dinlenme döneminde alınan odunsu (sert) çeliklerde, yapraklı (ve bazı durumlarda yapraksız) gövde parçaları üzerinde adventif kök oluşumunun teşvik edilmesi esas alınmaktadır (Hartmann vd., 2011).

Çelikle bitki üretiminde adventif kök oluşumu birçok faktörden et-

kilenmektedir (Da Costa vd., 2013; Bayraktar vd., 2025). Bunlardan biri olan oksinler, bitkilerde çok sayıda işlevi yerine getiren önemli bir fitohormon olup, bitki hücre bölünmesi, hücre uzaması, iletim (vasküler) doku farklılaşmasının uyarılması, kök oluşumunun başlatılması ve yaprak yaşlanmasının geciktirilmesi gibi süreçlerde rol oynamaktadır (Davies, 2010). Normal koşullarda, indol-3-asetik asit, bitkilerin sürgünlerindeki apikal meristematik bölgelerden, tomurcuklardan ve kök ucundan sentezlenmektedir. Bitkilerde oksinlerin etkisi, büyük ölçüde konsantrasyonlarına bağlı olup, yüksek oksin düzeyleri kök uzamasını baskılayabilirken, düşük konsantrasyonlar ise kök uzamasını teşvik edebilmektedir (Madhaiyan vd., 2007). Ayrıca, oksinin etilen ile sinerjistik olarak etkileşime girdiği ve bu etkileşimin kök tüyü oluşumu ile kök uzaması süreçlerini desteklediği; buna karşılık antagonistik etkileşimin ise bitkilerde hipokotil uzaması ve yan kök oluşumu ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Gloria ve Castellanos, 2012). Çelikle bitki üretiminde de çeliklerin köklenmesini artırmak ve canlılıklarını kaybetmelerini önlemek amacıyla sentetik oksin kullanımı önerilmekte (Galavi vd., 2013; Daskalakis vd., 2018) ve bu uygulamanın köklenme üzerindeki olumlu etkileri birçok çalışmada bildirilmektedir (Bayraktar vd., 2018a; Yıldırım vd., 2020; Güney vd., 2021a; Kumar vd., 2021; Bayraktar vd., 2022; Kostas vd., 2022; Güney vd., 2023).

Köklendirme ortamı da üretim sisteminde önemli bir diğer faktör olup, doğrudan köklenme yüzdesini ve oluşan köklerin kalitesini etkilemektedir (Kostas vd., 2022). Uygun bir köklendirme ortamı; bitkilere su ve besin maddelerini sağlamalı, köklerden ve köklere gaz alışverişine olanak tanımalı ve aynı zamanda bitkilere mekanik destek sunmalıdır (Riaz vd., 2008; Kumar vd., 2019; 2021). Genel olarak torf ya da turba ile perlit veya her ikisinin farklı oranlardaki karışımları, ticari amaçla çelikle üretimde kullanılan yetiştirme ortamlarının temel bileşenleridir (Hartmann vd., 2011). Perlit, genellikle obsidyenin hidrasyonu sonucu oluşan, nispeten yüksek su içeriğine sahip amorf bir volkanik camdır. İşlendikten sonra düşük yoğunluk kazanması nedeniyle perlit, endüstriyel bir mineral ve ticari bir ürün olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bitkisel üretim uygulamalarında perlit, yüksek havalanma kapasitesi ve iyi drenaj özellikleri sayesinde kök bölgesinde havalanmayı artırırken, suyu sınırlı düzeyde tutarak kök çürüklüğü riskini azaltan bir köklendirme ortamı olup, çeliklerin köklendirilmesinde tek başına yetiştirme ortamı olarak kullanılabilir (Babashpour vd., 2012; Seyedi vd., 2012; Asghari, 2014; Wei vd., 2017; Kumar vd., 2019). Köklendirme masalarına alttan ısıtma uygulamalarının gerçekleştirilmesi ile de köklenme teşvik edilebilmekte ve köklenme başarıları artırabilmektedir (Luna, 1949; Hartmann vd., 2011; Güney vd., 2016; Bayraktar vd., 2018b; Çelik, 2020).

Bu çalışmanın amacı, peyzaj uygulamalarında yaygın olarak

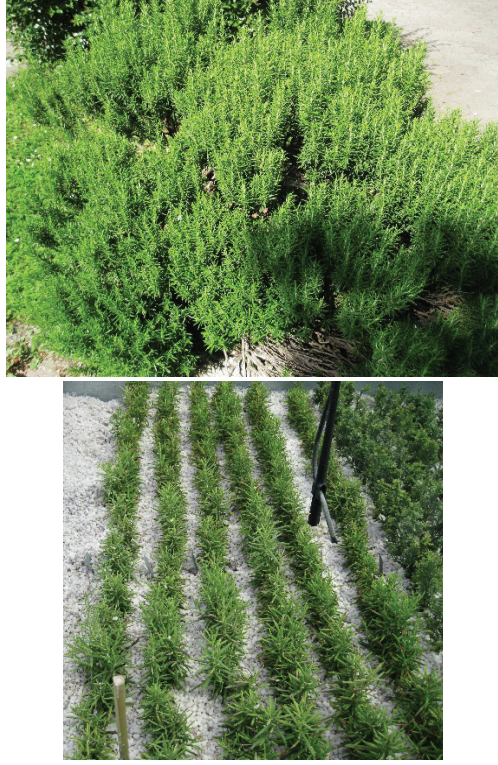
kullanılan *R. officinalis* ‘Pyramidalis’ kültivarında, oksin uygulamaları ve köklendirme masası sıcaklıklarının köklenme başarısı ile kök sistemi özellikleri (kök boyu ve kök sayısı)  zerindeki etkilerini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi’nde bulunan Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası’nda y r t lm ş olup, peyzaj düzenlemelerinde yaygın olarak kullanılan ve aromatik özellikleriyle  ne çıkan *Rosmarinus officinalis* L. ‘Pyramidalis’ k ltivarının gövde çelikleriyle köklendirme denemeleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, köklenme başarısını etkileyebilecek çevresel faktörler ile oksin grubu fitohormon uygulamalarının etkileri birlikte değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı köklendirme masası sıcaklıkları altında hormon uygulamalarının köklenme performansı üzerindeki etkileri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Araştırmanın yürütüldüğü sera, çevresel koşulların otomasyon sistemi ile kontrol edilebildiğ  modern bir altyapıya sahiptir. Sera ortamında hava sıcaklığı ve bağıl nem düzeyleri otomatik olarak ayarlanabilmekte olup, köklendirme masalarında alttan ısıtma sistemi bulunmaktadır. *R. officinalis* ‘Pyramidalis’  eliklerinin köklenme tepkilerini karşılaştırmak amacıyla iki farklı sera ortamı kurgulanmıştır. Her iki ortamda da hava sıcaklığı 20 ± 2  C ve bağıl nem 70 ± 2 düzeyinde sabit tutulmuş; ortamlar arasındaki temel farklılık köklendirme masası sıcaklığı üzerinden oluşturulmuştur. Buna göre birinci ortamda köklendirme masası sıcaklığı 25 ± 2  C, ikinci ortamda ise 20 ± 2  C olarak ayarlanmıştır. Çelikler, belirlenen sera ortamlarına dikilmeden hemen önce köklenmeyi teşvik etmek amacıyla oksin grubu fitohormonlarla muamele edilmiştir. Bu kapsamda, indol-3-b trik asit (IBA), indol-3-asetik asit (IAA) ve α -naftalin asetik asit (NAA) kullanılmış; her bir fitohormonun 3000 ve 5000 ppm dozları hazırlanmış ve çalışma kapsamında kullanılmıştır. Fitohormon uygulamalarının etkilerini karşılaştırabilmek amacıyla herhangi bir hormon uygulanmayan kontrol çelikleri de denemeye dâhil edilmiştir.

Denemede kullanılan  elik materyali, KTÜ Kanuni Yerleşkesi’nde bulunan sağlıklı ve iyi gelişmiş anaç bireylerden mart ayında temin edilmiştir. Sürgünlerde meydana gelebilecek su kaybını en aza indirmek amacıyla örnekleme işlemi günün erken saatlerinde gerçekleştirilmiş, toplanan materyaller seraya ulaştırılınca kadar soğutucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Aynı gün içerisinde, yaklaşık 10-12 cm uzunluğunda hazırlanan sert çelikler, yüksek su tutma kapasitesi ve yeterli havalanma sağlaması nedeniyle köklendirme ortamı olarak tercih edilen perlite dikilmiştir. Anaç bitkiye ve çeliklerin köklendirme ortamına

aktarılmasına ilişkin görseller Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. *R. officinalis* 'Pyramidalis' kùltivarına ilişkin anaç (solda) ile dikilen çeliklere (sağda) ilişkin görseller

Deneme, tesadüfi bloklar deneme desenine göre planlanmış olup, her bir sera ortamında yedi farklı işlem (IBA 3000, IBA 5000, IAA 3000, IAA 5000, NAA 3000 ve NAA 5000 ppm ile kontrol) uygulanmıştır. Her işlemde 10 adet çelik kullanılmış ve çalışma, rastlantı blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bu doğrultuda, her bir sera ortamında 210 adet olmak üzere toplam 420 adet çelik köklendirme denemelerinde değerlendirilmiştir. Köklenme süreci boyunca çelikler düzenli aralıklarla kontrol edilmiş ve ilk kök oluşumunun gözlemlendiği zaman kayıt altına alınmıştır. Çalışma kapsamında, köklenme performansını ortaya koymak amacıyla köklenme yüzdesi, kök boyu ve kök sayısı parametreleri kullanılmıştır. Köklenme yüzdesi, kök oluşturan çeliklerin toplam çelik sayısına oranının yüzdesel karşılığı olarak hesaplanmıştır. Kök boyu, köklendirme ortamından sökülen çeliklerde oluşan en uzun kökün uzunluğu üzerinden belirlenmiş; kök sayısı ise her bir çelikte meydana gelen ana köklerin sayısı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca, kök boyu ve kök sayısına ilişkin kontrol çeliklerine kıyasla fitohormon

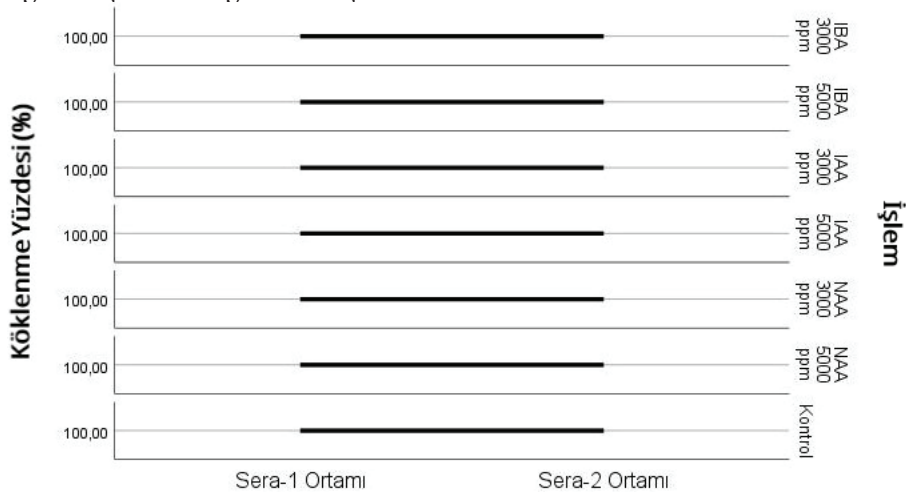
uygulamalarında elde edilen sonuçların yüzdesel değişimi ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\% \text{Değişim} = \frac{(\text{İşlem Ortalaması} - \text{Kontrol Ortalaması})}{\text{Kontrol Ortalaması}} \times 100$$

Elde edilen veriler, IBM SPSS Statistics 27 yazılımı kullanılarak istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Sera ortamı, işlem ve bu iki faktörün etkileşimlerinin kök boyu ve kök sayısı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Genel Doğrusal Model (General Linear Model) kapsamında varyans analizi (univariate) uygulanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı farklılıkların belirlendiği karakterlerde, her iki sera ortamına ait veriler birlikte değerlendirilmiş ve işlem grupları Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak sınıflandırılmıştır.

3. Bulgular

Rosmarinus officinalis 'Pyramidalis' kültivarının sert çelikler kullanılarak köklendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada, dikimden itibaren 41 günlük süre köklenme için yeterli olmuştur. Her iki sera ortamında da ilk kök oluşumları IAA 3000 ppm işleminde meydana gelmiştir. Sera-1 ortamında 17 gün sonunda gerçekleşen bu oluşum, sera-2 ortamında 19 gün sonunda gerçekleşmiştir. *R. officinalis* 'Pyramidalis' kültivarında çalışma kapsamında uygulanan tüm işlemlerde elde edilen köklenme yüzdesi değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. *Rosmarinus officinalis* 'Pyramidalis' kültivarına ilişkin köklenme yüzdesi değerleri

IBA, IAA ve NAA fitohormonlarının 3000 ve 5000 ppm dozların-

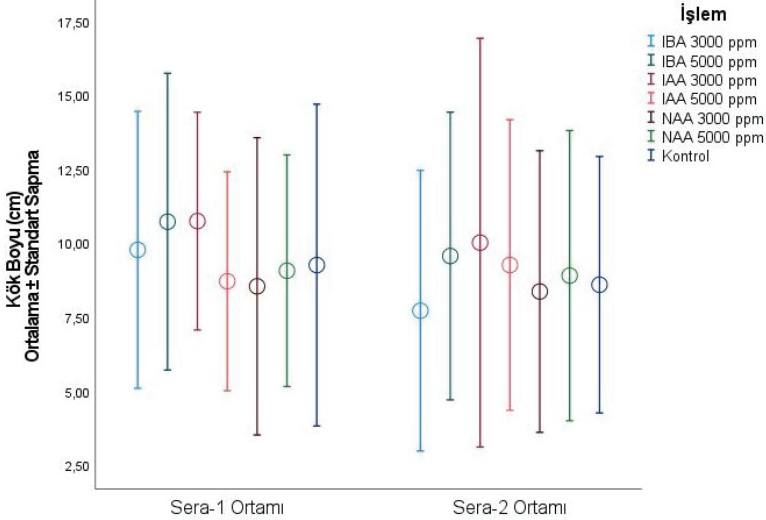
daki tüm işlemlerde ve kontrol çeliklerinde %100 köklenme başarısı elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ölçümü gerçekleştirilen kök boyu ve kök sayısı karakterlerine ilişkin varyans analizi (univariate) analizi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kök boyu ve kök sayısına ilişkin varyans analizi (univariate) sonuçları

Morfolojik Karakter	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Kök Boyu	Sera Ortamı	41,517	1	41,517	7,084	0,008**
	İşlem	192,938	6	32,156	5,487	<0,001**
	Sera Ortamı	62,119	6	10,353	1,767	0,105
	× İşlem					
Kök Sayısı	Sera Ortamı	0,771	1	0,771	0,093	0,760
	İşlem	306,962	6	51,160	6,179	<0,001**
	Sera Ortamı	27,762	6	4,627	0,559	0,763
	× İşlem					

** $p < 0,01$: %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır.

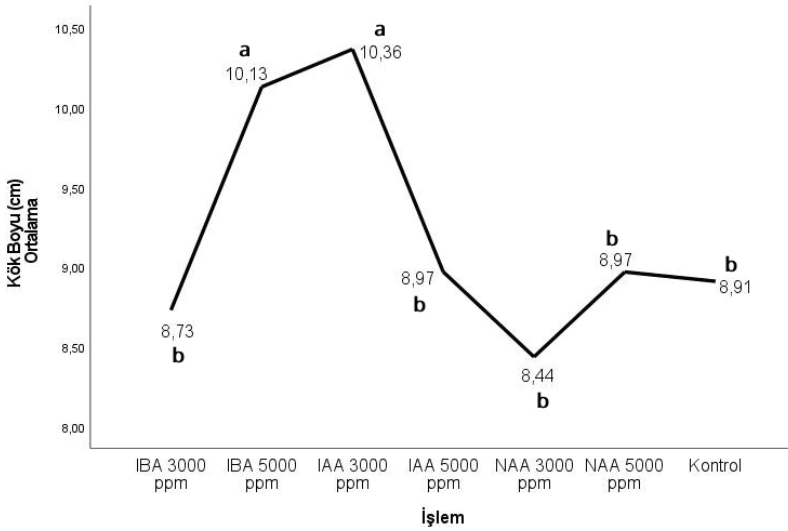
Tablo 1’de yer alan sonuçlar incelendiğinde, sera ortamı ve işlem açısından %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşurken, sera ortamı × işlem etkileşimi açısından istatistiksel olarak bir farklılık meydana gelmemiştir. Kök sayısı açısından ise yalnızca işlem açısından %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık ortaya çıkmıştır. Kök boyu açısından sera ortamlarındaki tüm işlemlerde elde edilen değerler Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Kök boyuna ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri

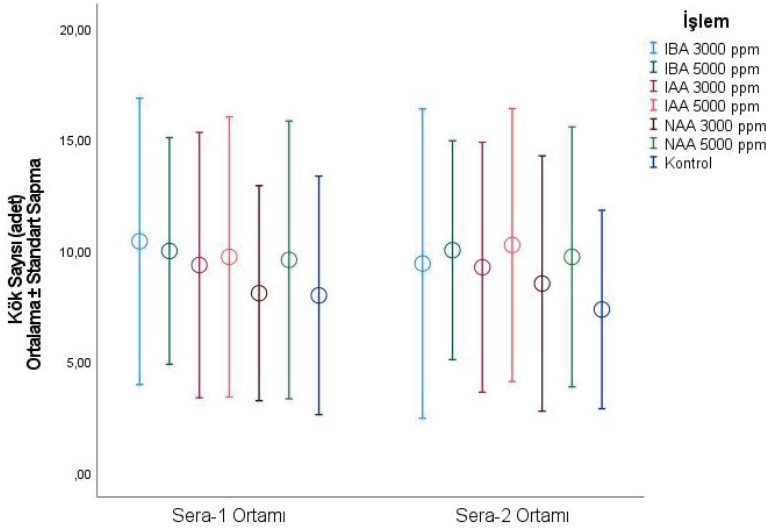
Kök boyu açısından en yüksek ortalama değer 10,73 cm ile sera-1 ortamındaki IAA 3000 ppm işleminde 10,73 cm olarak elde edilmiştir. Bu değere en yakın değer 10,71 cm ile yine aynı sera ortamındaki IBA 5000 ppm işleminde ortaya çıkmıştır. Sera-1 ortamındaki tüm işlemlerde elde edilen ortalama değer 9,53 cm olurken, en düşük ortalama kök boyu ise 8,52 cm ile NAA 3000 ppm işleminde oluşmuştur. Kontrol çeliklerinde

ise 9,24 cm'lik ortalama kök boyuna karşılık, IBA 3000 ppm işleminde bu değer 9,76 cm, NAA 5000 ppm işleminde 9,05 cm ve IAA 5000 ppm işleminde 8,69 cm olarak elde edilmiştir. Sera-2 ortamındaki en yüksek ve en düşük ortalama kök boyu değerleri sırasıyla 10,00 cm ile IAA 3000 ppm işleminde ve 7,70 cm ile IBA 3000 ppm işleminde oluşmuştur. Sera-2 ortamındaki ortalama kök boyu değeri 8,90 cm olarak tespit edilmiştir. Buna ek olarak, bu sera ortamındaki ortalama kök boyu değerleri IBA 5000 ppm işleminde 9,55 cm, IAA 5000 ppm işleminde 9,24 cm, NAA 5000 ppm işleminde 8,89 cm, kontrol çeliklerinde 8,58 cm ve NAA 3000 ppm işleminde 8,35 cm olarak elde edilmiştir. Kök boyuna ilişkin iki sera ortamındaki değerler birlikte değerlendirilerek işlemler arasında oluşan Duncan testi sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir.



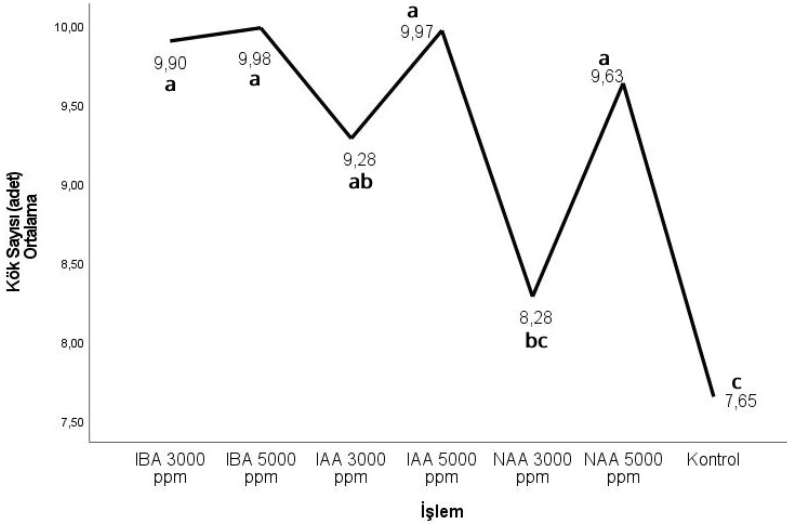
Şekil 4. Kök boyuna ilişkin Duncan testi sonuçları

Duncan testi sonuçları incelendiğinde, kök boyu açısından işlemler arasında iki farklı grup meydana gelmiştir. En yüksek ortalama değerler ile IBA 5000 ppm ve IAA 3000 ppm işlemleri birlikte ilk grubu oluştururken, IBA 3000 ppm, IAA 5000 ppm, NAA 3000 ppm, NAA 5000 ppm işlemleri ile kontrol çelikleri birlikte ikinci grubu oluşturmuştur. Kök sayısına ilişkin ortalama ve standart sapma değerlerine ilişkin grafik Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kök sayısına ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri

Şekil 5 incelendiğinde, en yüksek ortalama kök sayısı 10,40 adet ile sera-1 ortamındaki IBA 3000 ppm işleminde, en düşük kök sayısı ise 7,33 adet ile sera-2 ortamındaki kontrol çeliklerinde ortaya çıkmıştır. Kök sayısı bakımından sera-1 ve sera-2 ortamlarının genel ortalamaları sırasıyla 9,29 adet ve 9,20 adet olarak hesaplanmıştır. Sera-1 ortamındaki kontrol çeliklerinde ortalama kök sayısı 7,97 adet iken, aynı ortamdaki ortalama kök sayısı IBA 5000 ppm işleminde 9,97 adet, IAA 5000 ppm işleminde 9,70 adet, NAA 5000 ppm işleminde 9,57 adet, IAA 3000 ppm işleminde 9,33 adet ve NAA 3000 ppm işleminde ise 8,07 adet olarak tespit edilmiştir. Sera-2 ortamındaki ortalama kök sayısı değerleri en yüksekten en düşüğe olacak şekilde sırasıyla IAA 5000 ppm (10,23 adet), IBA 5000 ppm (10,00 adet), NAA 5000 ppm (9,70 adet), IBA 3000 ppm (9,40 adet), IAA 3000 ppm (9,23 adet) ve NAA 3000 ppm (8,50 adet) işlemlerinde elde edilmiştir. Kök sayısına ilişkin Duncan testi sonuçları Şekil 6'da yer alan grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6. Kök sayısına ilişkin Duncan testi sonuçları

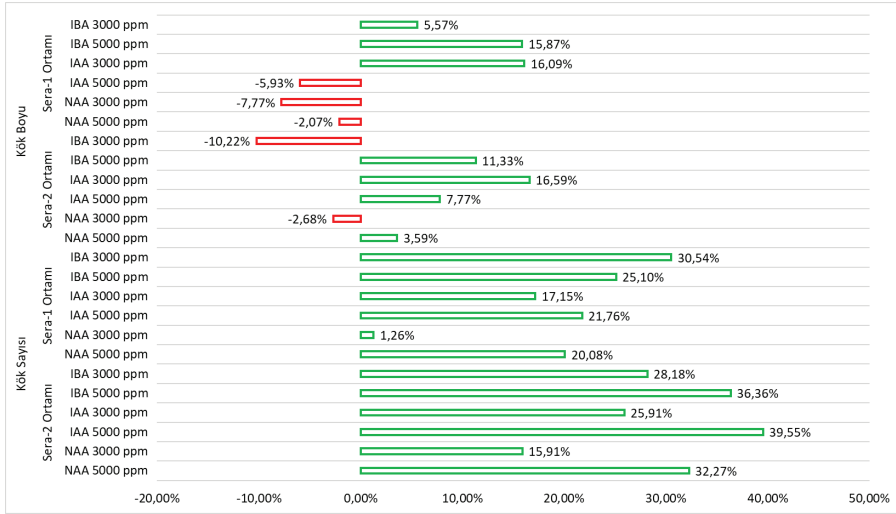
Çalışmada yer alan işlemler arasında dört farklı grup ortaya çıkmıştır. Buna göre; IBA 3000 ppm, IBA 5000 ppm, IAA 5000 ppm ve NAA 5000 ppm işlemleri ilk grupta yer alırken, IAA 3000 ppm işlemi ikinci grubu ve NAA 3000 ppm işlemi ise üçüncü grubu oluşturmuştur. Kontrol çelikleri ise tek başına dördüncü ve son grupta yer almıştır. İlk grupta çoğunlukla 5000 ppm dozundaki fitohormon uygulamalarının yer alması, daha yüksek miktarda kök sayısı açısından yüksek doz fitohormon uygulamalarının gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Köklenme sürecini tamamlayarak köklendirme ortamından sökülen *R. officinalis* 'Pyramidalis' çeliklerine ilişkin görseller aşağıda verilmiştir (Şekil 7).





Şekil 7. Köklendirme ortamından sökülen çeliklere ilişkin köklenme durumları

Kök boyu ve kök sayısı karakterlerine ilişkin çalışma kapsamındaki tüm fitohormon uygulamalarının kontrol çeliklerine kıyasla yüzdesel değişimleri Şekil 8’de yer alan grafikte ortaya konmuştur.



Şekil 8. Kök boyu ve kök sayısı bakımından çalışma işlemlerinin kontrol çeliklerine göre yüzdesel değişimleri

Fitohormon uygulamalarının, kök boyu ve kök sayısı bakımından kontrol çeliklerine kıyasla genel olarak olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Kök sayısı açısından tüm işlemlerin pozitif yönlü etkilerine rağmen, kök boyu açısından sera-1 ortamındaki IAA 5000, NAA 3000 ve NAA 5000 ppm işlemleri ile sera-2 ortamındaki IBA ve NAA 3000 ppm işlemlerde negatif yönlü etkiler tespit edilmiştir. Kök boyuna ilişkin en fazla artış %16,59 ile sera-2 ortamındaki IAA 3000 ppm işleminde gerçekleşirken, en fazla düşüş ise yine aynı sera ortamındaki IBA 3000

ppm işleminde gerçekleşmiştir. Kök sayısı bakımından fitohormon uygulamalarının etkisinin daha belirgin olduğu ortaya konmuştur. Özellikle 5000 ppm dozundaki fitohormon uygulamaları gerçekleştirilen işlemlerde yaklaşık %40'a varan artışlar meydana gelmiştir. Buna göre; sera-2 ortamındaki kontrol çeliklerine kıyasla IAA 5000 ppm işleminde %39,55 olan artış oranı, IBA 5000 ppm işleminde %36,36 ve NAA 5000 işleminde de %32,27 olmuştur. Genel olarak, fitohormon uygulamalarının kök sayısı üzerinde kök boyuna kıyasla daha etkili olduğu ortaya konmuştur.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, *Rosmarinus officinalis* 'Pyramidalis' sert çeliklerinde oksin uygulamaları (IBA, IAA, NAA; 3000 ve 5000 ppm) ile iki farklı köklendirme masası sıcaklığının (20 ± 2 °C ve 25 ± 2 °C) köklenme başarısı ve kök sistemi özellikleri (kök boyu ve kök sayısı) üzerine etkileri birlikte değerlendirilmiştir. Araştırma koşullarında, dikimden itibaren 41 günün köklenme için yeterli olduğu ve ilk kök oluşumunun en erken 17. günde sera-1 ortamındaki IAA 3000 ppm işleminde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu sonuç, IAA'nın köklenmenin başlama zamanını öne çekebileceğine işaret etmekte; pratik uygulamada üretim süresinin kısaltılması açısından önem taşımaktadır. Öte yandan, çalışmanın en dikkat çekici sonucu ise tüm oksin uygulamalarında ve kontrol çeliklerinde %100 köklenme başarısı elde edilmesidir. Bu durum, *R. officinalis* 'Pyramidalis' kùltivarının çalışmada kullanılan koşullarda (sert çelik, perlit köklendirme ortamı ve uygun nem/sıcaklık yönetimi) yüksek köklenme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu materyalde oksin uygulamalarının ana katkısı köklenme yüzdesini artırmaktan çok, kök sisteminin nicel karakterlerinden olan kök boyu ve özellikle kök sayısını iyileştirmek yönünde ortaya çıkmıştır. Nitekim kontrolle kıyaslandığında kök sayısında yaklaşık %40'a varan artışlar görüldüğü; buna karşın kök boyunda özellikle sera-2 ortamındaki IBA 3000 ppm gibi bazı işlemlerde ise negatif yönlü etkiler oluşabildiği belirlenmiştir. Kök boyu bakımından en yüksek ortalama değerlerin sera-1 ortamındaki (köklendirme masası sıcaklığı 25 ± 2 °C) IAA 3000 ppm (10,73 cm) ve IBA 5000 ppm (10,71 cm) işlemlerinde elde edilmesi ve Duncan testinde bu iki işlemin ilk grupta yer alması, kök uzaması hedeflendiğinde bu iki uygulamanın öne çıktığını göstermektedir. Kök sayısı bakımından da yine en yüksek ortalama değer, sera-1 ortamındaki IBA 3000 ppm işleminde 10,40 adet ile elde edilmiştir. Ayrıca, Duncan testi sonuçlarına göre IBA 5000 ppm, IAA 5000 ppm ve NAA 5000 ppm işlemlerinin de aynı istatistiksel grupta yer alması, kök sayısı açısından 3000 ppm IBA dozunun yeterli ve etkin bir uygulama olduğunu, daha yüksek dozların ise benzer etki göstermekle birlikte ek bir avantaj sağlamadığını göstermektedir. Buna ek olarak, hava sıcaklığından yakla-

şık 5 °C daha yüksek olacak şekilde alttan ısıtma uygulanan köklendirme masasının bulunduğu sera-1 ortamının, incelenen tüm parametreler bakımından en yüksek sonuçların elde edildiği ortam olması, köklendirme sürecinde kök bölgesi sıcaklığının belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Biberiyenin çelikle üretimi üzerine yapılan çalışmalarda, türün iyi bir köklenme yeteneğine sahip olduğu ve oksin kullanımının hem köklenme yüzdesi hem de kök sistemi gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (Abu-Zahra vd., 2013; Shahhoseini vd., 2015; Koleva-Gudeva vd., 2017). Biberiye çeliklerinde optimum köklenmenin sağlanmasına yönelik çalışmalarda farklı oksin türleri, dozlar ve uygulama koşullarına dayalı çeşitli yaklaşımlar önerilmektedir. Örneğin, Abu-Zahra vd. (2013) tarafından biberiye (*R. officinalis*) çeliklerinde yapılan çalışmada, NAA hormonunun 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 ppm konsantrasyonları kullanılmış olup, 6-8 haftalık köklenme süreci sonunda en yüksek köklenme yüzdesi ve kök sayısı sırasıyla %58,75 ve 3,88 adet ile NAA 3000 ppm işleminde, en uzun kök boyu ise 2,04 cm ile NAA 1000 ppm işleminde elde edilmiştir. Shahhoseini vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, biberiyenin (*R. officinalis*) yarı odunsu çeliklerinde farklı IBA ve NAA konsantrasyonlarının köklenme performansı ve kök kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; oksin uygulamalarının köklenme yüzdesi, kök sayısı, kök boyu ile kök yaş ve kuru ağırlıkları gibi parametreler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Çalışmada en yüksek köklenme yüzdesinin 1000 mgL⁻¹ NAA (%84) ve 5000 mgL⁻¹ IBA (%66) uygulamalarında elde edildiği, buna karşılık 4000 mgL⁻¹ IBA konsantrasyonunun yarı odunsu çeliklerde kök kalitesi açısından en uygun işlem olduğu vurgulanmıştır. Biberiye (*R. officinalis*) çeliklerinde oksin uygulamalarının etkilerini nicel verilerle ortaya koyan Koleva-Gudeva vd. (2017), tüm işlemlerdeki 100 günlük köklenme süreci sonunda kontrol çeliklerindeki %86'lık köklenme yüzdesine karşılık, IBA 5 ppm işleminde (sıvı solüsyona 5 saniyelik daldırma) köklenme oranının %92 ile en yüksek değere ulaştığını bildirmiştir. IAA ve NAA 5 ppm işlemlerinde sırasıyla köklenme yüzdesi değerleri %76 ve %78 olurken, IBA içeren ticari bir köklendirme ürününün %0,003'lük çözelti hâlinde uygulanması ile de %84 köklenme yüzdesi değeri elde edilmiştir. Aynı çalışmada en yüksek ortalama kök sayısının NAA 5 ppm işleminde 25,33 adet olarak elde edildiği rapor edilmiştir. Buna karşılık kök boyu bakımından kontrol (5,57 cm) ve ticari ürün (6,10 cm) uygulamalarında daha uzun kökler oluşurken, IAA 5 ppm işlemindeki 5,10 cm, IBA 5 ppm işlemindeki 3,10 cm ve NAA 5 ppm işlemindeki 2,80 cm'lik değer ile daha kısa kökler oluşmuştur. Uygulanan oksinin formu da köklenme başarısında kritik öneme sahip olabilmektedir (Kostas vd., 2022). Paradiković vd. (2013), biberiyenin yumuşak çeliklerle

üretiminde oksinin toz formunun kullanılmasının özellikle önerilebilir olduğunu belirtmiştir. Öte yandan Vârban vd. (2018), turba ve perlitin eşit orandaki (1:1) karışımını, biberiye gövde çeliklerinin köklenmesi için en etkili ortam olarak bildirmiştir. Kiuru vd. (2015) ise, vermikülit, üst toprak-ahır gübresi-kum karışımı (10:3:1), üst toprak ve kum olmak üzere dört farklı yetiştirme ortamını test etmiş ve kumun en etkili ortam olduğunu ortaya koymuştur. Çeliklerin alındığı mevsim açısından ise Silva ve Pedras (1999), kış sonunun en uygun dönem olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, çelikle üretimde köklendirme masası sıcaklığının hava sıcaklığından yaklaşık 5 °C daha yüksek olmasının köklenme üzerindeki olumlu etkilerini belirten çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Luna, 1949; Hartmann vd., 2011; Çelik, 2020; Güney vd., 2021b; 2024).

R. officinalis 'Pyramidalis' kùltivarına ait sert çeliklerin kullanıldığı bu çalışmada elde edilen yüksek köklenme başarısı ve kök sistemi gelişimine ilişkin bulgular, literatürde farklı çelik tipleri, oksin tür ve dozları, oksin uygulama formları ile köklendirme ortamları altında rapor edilen sonuçlarla genel olarak uyumlu olmakla birlikte, uygun ortam koşulları ile oksin uygulamaları neticesinde köklenme potansiyelinin belirgin biçimde artırılabilirdiğini göstermektedir. Çalışma sonuçlarından hareketle, biberiye (*R. officinalis* 'Pyramidalis') sert çeliklerinin köklendirilmesinde perlit köklendirme ortamı, 20±2 °C hava sıcaklığı ile 20 ya da 25±2 °C köklendirme masası sıcaklığı ve %70±2 bağıl nem düzeyi sağlanması durumunda fitohormon uygulamasından bağımsız olarak tüm çeliklerin köklenebildiği ifade edilebilir. Bu ortam koşulları altında köklenme sürecinin de literatür çalışmalarına kıyasla çok daha kısa sürede tamamlandığının da altı özellikle çizilmelidir. Öte yandan, alttan ısıtma uygulamasının yapıldığı ve köklendirme masası sıcaklığının hava sıcaklığından 5 °C daha yüksek olduğu ortamın kök boyu ve kök sayısı açısından daha yüksek değerlere sahip olarak kaliteli kök sistemi için uygun olduğu belirtilebilir. Ayrıca, kök boyu ve kök sayısı bakımından en yüksek ortalama değerlerin sırasıyla IAA ve IBA 3000 ppm işlemlerinde elde edilmesinden hareketle, bu kök karakterlerinin maksimize edilmesi amacıyla IAA ve IBA hormonlarının pudra formda ve 3000 ppm dozunda uygulanmasının daha uygun olabileceği ifade edilebilir.

Kaynaklar

- Abu-Zahra, T. R., Al-Shadaideh, A. N., Abubaker, S., & Qrunfleh, I. (2013). Influence of auxin concentrations on different ornamental plants. *International Journal of Botany*, 9, 96–99.
- Andrade, J. M., Faustino, C., Garcia, C., Ladeiras, D., Reis, C. P., & Rijo, P. (2018). *Rosmarinus officinalis* L.: An update review of its phytochemistry and biological activity. *Future Science OA*, 4(4), FSO283. <https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0124>
- Asghari, R. (2014). Effects of growth medium and planting density on growth and flowering characteristics of carnation. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, 23(2), 28–33.
- Babashpour, A. M., Shakueefar, S., & Valipour, V. (2012). Effects of indole-3-butyric acid on the rooting ability of semihardwood *Bougainvillea* sp. cuttings. *Modern Applied Science*, 6(5), 121–123. <https://doi.org/10.5539/mas.v6n5p121>
- Baul, T. K., Hossain, M. M., Mezbahuddin, M., & Mohiuddin, M. (2011). Vegetative propagation of *Litsea monopetala*, a wild tropical medicinal plant: Effects of indole-3-butyric acid (IBA) on stem cuttings. *Journal of Forestry Research*, 22, 409–416. <https://doi.org/10.1007/s11676-011-0111-x>
- Bayraktar, A., Atar, F., Yıldırım, N., & Turna, İ. (2018b). Effects of different media and hormones on propagation by cuttings of European yew (*Taxus baccata* L.). *Şumarski list*, 142(9–10), 509–516. <https://doi.org/10.31298/sl.142.9-10.6>
- Bayraktar, A., Güney, D., & Chavoshi, S. H. (2022). Kırmızı yapraklı Japon akçağacının çelikle üretilmesinde farklı sera ortamları ile oksinlerin etkileri. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9, 84–90. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1090286>
- Bayraktar, A., Güney, D., Atar, F., & Turna, İ. (2025). Evaluation of rooting responses in *Lagerstroemia indica* L. cuttings under different greenhouse settings, rooting media, and phytohormonal applications. *Şumarski list*, 149(5–6), 255–263. <https://doi.org/10.31298/sl.149.5-6.4>
- Bayraktar, A., Yıldırım, N., Atar, F., & Turna, İ. (2018a). Effects of different rooting media and hormones on propagation by softwood cuttings of *Elaeagnus umbellata*. *Proceedings of the 4th Non-Wood Forest Products Symposium* (p. 7), 4–6 Ekim, Bursa, Türkiye.
- Carrubba, A., La Torre, R., Piccaglia, R., & Grandi, S. (2006). Chemical and botanical characterization of a *Rosmarinus officinalis* biotype from Sicily. *Acta Horticulturae*, 723, 197–202.

- Çelik, H. (2020). Maviyemiş odun çeliklerinde köklenme üzerine alttan ısıtma sıcaklığı ve ortamların etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(2), 167–174.
- Da Costa, C. T., de Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Schwambach, J., Maraschin, F. S., & Fett-Neto, A. G. (2013). When stress and development go hand in hand: Main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133.
- Daskalakis, I., Biniari, K., Bouza, D., & Stavrakaki, M. (2018). The effect that indole-3-butyric acid (IBA) and position of cane segment have on the rooting of cuttings from grapevine rootstocks and from Cabernet franc (*Vitis vinifera* L.) under conditions of a hydroponic culture system. *Scientia Horticulturae*, 227, 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.024>
- Davies, P. J. (2010). The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones*. Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_1
- De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A., Barberá, G. G., & Navarro, J. A. (2007). Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff. *Plant and Soil*, 294, 169–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9244-2>
- De Macedo, L. M., Santos, É. M. D., Militão, L., Tundisi, L. L., Ataide, J. A., Souto, E. B., & Mazzola, P. G. (2020). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., syn *Salvia rosmarinus* Spenn.) and its topical applications: A review. *Plants*, 9(5), 651. <https://doi.org/10.3390/plants9050651>
- De Mastro, G., Ruta, C., Mincione, A., & Poiana, M. (2004). Bio-morphological and chemical characterization of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) biotypes. *Acta Horticulturae*, 629, 471–482.
- Galavi, M., Karimian, M. A., & Mousavi, S. R. (2013). Effects of different auxin (IBA) concentrations and planting beds on rooting grape cuttings (*Vitis vinifera*). *Annual Review & Research in Biology*, 3, 517–523.
- German, T., Mengesha, B., Philippos, M., & Mekonnen, M. (2016). *Rosemary production and utilization* (pp. 1–24). Addis Ababa, Ethiopia: Ethiopian Institute of Agricultural Research.
- Gloria, A. M., & Castellanos, J. (2012). Desafíos y bendiciones: A multiperspective examination of the educational experiences and coping responses of first-generation college Latina students. *Journal of Hispanic Higher Education*, 11(1), 82–99. <https://doi.org/10.1177/1538192711430382>
- González-Minero, F. J., Bravo-Díaz, L., & Ayala-Gómez, A. (2020). *Rosmarinus officinalis* L. (Rosemary): An ancient plant with uses in personal healthcare and cosmetics. *Cosmetics*, 7, 77. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040077>

- Güney, D., Bayraktar, A., & Turna, İ. (2024). *Podocarpus macrophyllus* var. *maki* Siebold & Zucc. çeliklerinin köklendirilmesinde farklı ortam sıcaklıkları ile fitohormon uygulamalarının etkileri. İçinde: İ. Bolat, Ü. Ayata, & G. Ulay (Editörler), *Orman Mühendisliği Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler* (ss. 51–64). Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı.
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Turna, I. (2021b). The effects of different factors on propagation by hardwood cuttings of some coniferous ornamental plants. *Şumarski List*, 145(9–10), 467–477. <https://doi.org/10.31298/sl.145.9-10.5>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Turna, İ. (2021a). Açelya (*Azalea* sp.) çeliklerinin köklendirilmesi üzerine farklı fitohormonların etkileri. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8(1), 80–87. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.796508>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., Chavoshi, S. H., & Turna, İ. (2023). The effects of different rooting temperatures and phytohormones on the propagation of boxwood cuttings. *Baltic Forestry*, 29(1), Article id 593. <https://doi.org/10.46490/BF593>
- Güney, D., Chavoshi, S. H., & Bayraktar, A. (2016). *Magnolia liliiflora* türünün çelik ile köklendirilmesi üzerine farklı sera ortamı ve hormonların etkisi. *Tam Metin Bildiriler Kitabı*, VI. Süs Bitkileri Kongresi (s. 19). 19-22 Nisan, Antalya, Türkiye.
- Hammer, M., & Junghanns, W. (2020). *Rosmarinus officinalis* L.: Rosemary. In J. Novak & W.-D. Blüthner (Eds.), *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants* (Vol. 12, pp. 501–521). Cham, Switzerland: Springer.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Jr., & Geneve, R. L. (2011). *Hartmann & Kester's plant propagation: Principles and practices* (8th ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Jiang, L., Dunn, B. L., Wang, Y., & Goad, C. L. (2017). Responses to propagation substrate and rooting hormone products to facilitate asexual propagation of *Silene chalcedonica* and *Silene coronaria*. *Journal of Environmental Horticulture*, 34, 80–83. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-34.3.80>
- Kiuru, P., Muriuki, S. J. N., Wepukhulu, S. B., & Muriuki, S. J. M. (2015). Influence of growth media and regulators on vegetative propagation of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *East African Agricultural and Forestry Journal*, 81, 105–111. <https://doi.org/10.1080/00128325.2015.1120522>
- Koleva-Gudeva, L., Trajkova, F., Mihajlov, L., & Troiciki, J. (2017). Influence of different auxins on rooting of rosemary, sage and elderberry. *Annual Research & Review in Biology*, 12, 1–8.
- Kostas, S., Kaplani, A., Koulaouzidou, E., Kotoula, A. A., Gklavakis, E., Tsoulpaha, P., ... & Economou, A. (2022). Sustainable exploitation of Greek *Rosmarinus officinalis* L. populations for ornamental use through propaga-

- tion by shoot cuttings and in vitro cultures. *Sustainability*, 14(7), 4059. <https://doi.org/10.3390/su14074059>
- Kumar, S., Malik, A., Yadav, R. D., & Yadav, G. (2019). Role of different rooting media and auxins for rooting in horticultural crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7, 1778–1783.
- Kumar, S., Prakash, S., Malik, S., & Dhyani, B. P. (2021). Effect of different rooting media treatments on rooting and growth of stem cuttings in pomegranate (*Punica granatum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10, 475–479.
- Lagouri, V., & Alexandri, G. (2013). Antioxidant properties of Greek *O. dictamnus* and *R. officinalis*: Methanol–HPLC determination of phenolic acids. *International Journal of Food Properties*, 16, 549–562. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.535185>
- Luna, T. (1949). Vegetative propagation. In R. K. Dumroese, T. Luna, & T. D. Landis (Eds.), *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries* (pp. 153–175).
- Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., & Sa, T. (2007). Characterization of 1-amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase containing *Methylobacterium oryzae* and interactions with auxins and ACC regulation of ethylene in canola (*Brassica campestris*). *Planta*, 226(4), 867–876. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0532-0>
- Mehrabani, V. L., Kamran, R. V., Hassanpouraghdam, M. B., Kavousi, E., & Aazami, M. A. (2016). Auxin concentration and sampling time affect rooting of *Chrysanthemum morifolium* L. and *Rosmarinus officinalis* L. *Azarian Journal of Agriculture*, 3(1), 11–16.
- Nunziata, A., Cervelli, C., & De Benedetti, L. (2018). Genotype confidence percentage of SSR HRM profiles as a measure of genetic similarity in *Rosmarinus officinalis*. *Plant Gene*, 14, 64–68. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2018.04.006>
- Paradiković, N., Zeljković, S., Tkalec, M., Vinković, T., Dervić, I., & Marić, M. (2013). Influence of rooting powder on propagation of sage (*Salvia officinalis*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) with green cuttings. *Poljoprivreda*, 19, 10–15.
- Riaz, A., Arshad, M., Younis, A., Raza, A., & Hameed, M. A. (2008). Effects of different growing media on growth and flowering of *Zinnia elegans* cv. Blue Point. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1579–1585.
- Seyedi, N., Torkashvand, A. M., & Allabyari, M. S. (2012). The impact of perlite and cocopeat as the growth media on liliun. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 3(3), 502–505.

- Shahhoseini, R., Moghaddam, M., Kiani, D., & Mansori, R. (2015). Effect of different concentrations of IBA and NAA on rooting of semi-hardwood cuttings of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(4), 574–586.
- Silva, C., & Pedras, J. (1999). Early rooting in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) cuttings under the influence of chemical treatments and collecting time. *Acta Horticulturae*, 502, 213–217. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.502.34>
- Siqueira, J., Bruxel, F., Orlandi, C. R., Avrella, E. D., Fior, C. S., & de Freitas, E. M. (2020). Vegetative propagation of an endemic species of the Pampa biome. *Ciência e Natura*, 42, e68. <https://doi.org/10.5902/2179460X39235>
- Vârban, D. I., Vârban, R., Ghețe, A., Odagiu, A., & Czako, R. Ș. (2018). The influence of some products on the rooting of *Rosmarinus officinalis* L. cuttings. *Hop and Medicinal Plants*, 26, 94–100.
- Wei, G., Tang, N., Wei, M., Yan, H., & Han, Y. (2017). Effects of different substrates on root development of carnation cuttings. *Journal of Qinghai University*, 2, 7.
- Yıldırım, N., Bayraktar, A., Atar, F., Güney, D., Öztürk, M., & Turna, İ. (2020). Effects of different genders and hormones on stem cuttings of *Salix anatolica*. *Journal of Sustainable Forestry*, 39, 300–308. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1638274>
- Yıldırım, N., Bayraktar, A., Atar, F., Güney, D., Öztürk, M., & Turna, İ. (2020). Effects of different genders and hormones on stem cuttings of *Salix anatolica*. *Journal of Sustainable Forestry*, 39, 300–308. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1638274>

Bölüm 13

FARKLI KÖKLENDİRME MASASI SICAKLIKLARI İLE OKSİN UYGULAMALARININ *ROSMARINUS* *OFFICINALIS* ‘PYRAMİDALİS’ ÇELİKLERİNDE KÖKLENME ÜZERİNE ETKİLERİ

Deniz GÜNEY¹, Fahrettin ATAR², İbrahim TURNA³

1 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0001-7222-6162, d_guney@ktu.edu.tr

2 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0003-4594-8148, fatar@ktu.edu.tr

3 Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0003-4408-1327, turna@ktu.edu.tr

1. Giriş

Hayvan ıslahı, besin güvenliği ve ekonomik verimlilik hedefleri doğrultusunda insanlık tarihinin erken dönemlerinden itibaren uygulanmaktadır. Arkeolojik ve zooarkeolojik bulgular, Mezopotamya ve çevresinde sığır ve koyun gibi türlerin Neolitik dönemde evcilleştirildiğini ve bu süreçte erken seleksiyon uygulamalarının başladığını göstermektedir (Vigne, 2011). Yaklaşık 10 bin yıl önce evcilleştirme ile başlayan ıslah faaliyetleri, verim özelliklerinin çok sayıda gen tarafından kontrolünün anlaşılmasıyla, moleküler temelli yaklaşımlara evrilmiştir. Günümüzde genomik seleksiyon kapsamında SNP çip teknolojileri kullanılarak genotip verilerine dayalı Tahmini Genomik Yetiştirme Değerleri (TGYD) hesaplanmakta ve özellikle düşük kalıtmı özelliklerde seleksiyon doğruluğu önemli ölçüde artırılmaktadır (Özkan ve Yakan, 2017).

Evcilleştirme sürecinde insan-hayvan etkileşimleri, uyum yeteneği yüksek türlerde morfolojik, davranışsal ve üretim özelliklerinde belirgin genotipik ve fenotipik değişimlere yol açmıştır. Moleküler genetik ve biyoinformatik alanındaki gelişmeler, bu süreçlerin çiftlik hayvanları genomunda bıraktığı seleksiyon izlerinin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Karabaş ve Yılmaz, 2024). İkinci Dünya Savaşı sonrası özellikle süt sığırcılığında yaşanan “verim devrimi”, Holstein-Friesian ırkı sığırlarda yoğun seleksiyon uygulamalarıyla yıllık süt veriminin inek başına 2.000–3.000 litreden dünya genelinde 8.000–10.000 litreye, bazı ülkelerde ise 10.000–12.000 litreye ulaşmasını mümkün kılmıştır. Bu artış, genetik ilerlemenin yanı sıra besleme, barınak, sağım teknolojileri ve sürü yönetimindeki gelişmelerin birleşik etkisiyle açıklanmaktadır (Anghelescu, 2024). Benzer şekilde, tavukçuluk sektöründe son 60 yılda etlik piliçlerde büyüme hızı ve yemden yararlanma özelliklerine yönelik yoğun seleksiyon, yüksek verimlilik düzeylerinin elde edilmesini sağlamıştır (Hartcher ve Lum, 2019).

Son 20 yılda genomik seleksiyon, SNP belirteçler ve CRISPR tabanlı gen düzenleme teknikleri hayvan ıslahında önemli bir paradigma değişimine yol açmış; hızlı genetik ilerleme ve hedefli alel seçimini mümkün kılmıştır. Ancak, yüksek verimli sınırlı sayıda genetik hattın yaygın kullanımı, genetik çeşitliliğin azalması riskini getirmiştir (Meuwissen ve ark., 2016). Genetik çeşitliliğin korunması, sürdürülebilir üretim ve uzun vadeli adaptasyon açısından temel bir gereklilik olup; akrabalı yetiştirme ve genetik varyasyon kaybı riskleri özellikle kanatlı hayvanlarda endüstriyel seleksiyon ve süt sığırlarında Holstein ırkının baskınlığıyla belirgin hâle gelmiştir (Notter, 1999).

Bu bağlamda çiftlik hayvanı ırkları, ekonomik kalkınma ve kırsal gelişim güvenliği açısından stratejik bir biyolojik sermaye niteliği taşımaktadır. Verim odaklı ıslah uygulamaları, birçok yerli ırkta genetik çeşitliliğin azalmasına ve yok olma riskine neden olmuş; bu durum, verimlilik ile genetik çeşitliliğin korunması arasındaki dengenin yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır (Rege ve Gibson, 2003). Ayrıca küresel iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık stresine ve paraziter hastalıklara dayanıklı genotiplerin geliştirilmesi, modern hayvancılığın öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır (Şahin ve Yılmaz, 2023). Bu çalışma, modern hayvancılıkta verim artışı ile genetik çeşitliliğin korunması arasındaki etkileşimi ele alarak sürdürülebilir ıslah yaklaşımlarına ve uzun vadeli hayvancılık politikalarına yönelik bütüncül bir bilimsel çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

2. Genetik Çeşitlilik, Akrabalık ve Seleksiyon Baskısı

2.1. Genetik çeşitlilik ve akrabalı yetiştirme

Genetik çeşitlilik, popülasyonların adaptasyon kapasitesi, sağlık durumu ve uzun vadeli üretkenliği açısından temel bir belirleyicidir. Alel çeşitliliği, heterozigotluk ve etkili popülasyon büyüklüğü (N_e), akrabalı yetiştirme ve genetik sürüklenmenin değerlendirilmesinde kritik parametreler olup; akrabalı yetiştirme depresyonunun sınırlandırılması için $N_e \geq 100$, uzun vadeli evrimsel potansiyelin korunması için ise $N_e \geq 1000$ eşiklerinin gerekli olduğu bildirilmektedir (Frankham ve ark., 2014). Genetik çeşitliliğin azalması ve akrabalı yetiştirmenin artması, adaptasyon yeteneğinin zayıflaması ve üretimde durgunlukla ilişkilidir. Kuzey Amerika Holstein ve Jersey sığır ırklarında genomik seleksiyon uygulamaları sonucunda akrabalı yetiştirme hızının arttığı ve efektif popülasyon büyüklüğünün kritik düzeylere gerilediği rapor edilmiştir (Makanjuola ve ark., 2020). Benzer şekilde, Polonya Holstein-Friesian ırkı sığır popülasyonunda sınırlı sayıda damızlığın yoğun kullanımı bazı resesif genetik kusurların taşıyıcılık oranlarını artırmıştır (Gozdek ve ark., 2024). Akrabalı yetiştirme, zararlı alellerin homozigotluk oranını yükselterek doğum kusurları, üreme problemleri ve metabolik bozukluklara yol açabilmektedir. Etlik piliçlerde hızlı büyüme yönlü yoğun seleksiyonun, bacak ve kardiyovasküler problemlere neden olan genetik yükü artırdığı gösterilmiştir (Hartcher ve Lum, 2019). Genetik çeşitliliğin azalması, aynı zamanda hastalıklara direnç ve çevresel adaptasyon kapasitesini düşürerek sıcaklık stresi ve yönetim koşullarındaki değişimlere karşı toleransı azaltmaktadır (Decuypere ve ark., 2010; Dawkins ve Layton, 2012).

Yoğun seleksiyon ve dar genetik tabanlı saf yetiştirme sistemleri, fertilitite, yaşam süresi ve hastalıklara dirençte gerilemeye yol açarak popü-

lasyonları daha kırılğan hâle getirmektedir (Van Marle-Köster ve Visser, 2021). Holstein sığırlarında süt verimi odaklı seleksiyon, yapay tohumlama ve genomik seleksiyon önemli genetik kazanımlar sağlamış; ancak sınırlı sayıda elit boğanın aşırı kullanımı popülasyon içi akrabalığı ve homozigotluğu artırmıştır (Makanjuola ve ark., 2020; Capper ve Cady, 2020). Yani, süt verimi, üreme ve yaşam boyu üretkenlik gibi ekonomik özelliklerde kayıplara yol açarak iklim değişikliği ve değişen tüketici taleplerine uyum kapasitesini sınırlandırmıştır (Markert ve ark., 2010; Bjel-land ve ark., 2013).

2.2. Seleksiyon baskısı ve genetik daralma

Genomik seleksiyondaki ilerlemelere rağmen süt sığırı ıslahı, hâlen sınırlı sayıda elit boğanın yoğun kullanımına dayanmaktadır. Holstein ıslahında uygulanan güçlü tek yönlü seleksiyon, popülasyon içi akrabalığı artırarak genetik çeşitliliğin azalmasına ve uzun vadede zararlı homozigot alel frekanslarının yükselmesine yol açmaktadır (Gutiérrez-Reinoso ve ark., 2022; Steyn ve ark., 2022). Kuzey Amerika Holstein popülasyonunda yapılan analizler, yapay tohumlamada kullanılan boğaların yalnızca iki ata soyuna dayandığını ve Y-kromozomu hatlarının son 50 yılda belirgin biçimde daraldığını göstermiştir. Bu durum, paternal genetik varyasyonun ciddi ölçüde sınırlandığını ve erkek üreme performansı ile ırkın uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından riskler oluşturmuştur (Yue ve ark., 2015).

Benzer bir yapı broyler tavuklarda da gözlenmektedir. Uzun süreli yoğun seleksiyon, büyüme hızı ve et verimini artırarak kesim yaşını ve yem gereksinimini azaltmış; 1957–2005 döneminde büyüme hızındaki artışın %400'ü aşması, seleksiyon baskısının popülasyon yapısını köklü biçimde dönüştürmüştür (Zuidhof ve ark., 2014; Tallentire ve ark., 2016). Bununla birlikte, sınırlı sayıda özelliğe odaklanan dar kapsamlı seleksiyon stratejileri genetik varyasyonu azaltmakta ve fonksiyonel uyumsuzluklara neden olmaktadır. Hızlı büyüyen broyler hatlarında ayak kemiği (*tibia*) boyutlarının canlı ağırlığa oranla daha düşük bulunması, ağırlık artışı ile kemik gelişimi arasında uyumsuzluk olduğunu ortaya koymuştur (Santos ve ark., 2022). Ayrıca artan metabolik hız ve oksijen gereksinimi, kardiorespiratuar kapasiteyi zorlayarak ascites ve ani ölüm sendromu riskini yükseltmektedir (Julian, 2005; Kalmar ve ark., 2013; Wideman ve ark., 2013). Bu nedenle genetik sürdürülebilirlik ve hayvan refahını gözetken ıslah stratejilerinin; orta büyüme hızlı hatların geliştirilmesi, genetik çeşitliliğin korunması, refah odaklı seleksiyon kriterlerinin programa dâhil edilmesi ve uygun mineral–vitamin (Ca:P, vitamin D₃) desteğini içermesi gerekmektedir (Tallentire ve ark., 2016).

3. Biyoçeşitlilik Azaldığında Ne Olur?

Modern hayvancılıkta yoğun seleksiyon baskısı ve üretim sistemlerinin giderek yoğunlaşması, özellikle süt sığırları popülasyonlarında genetik daralmaya ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmıştır. Sınırlı sayıda yüksek verimli ırk ve damızlık bireyin yaygın kullanımı, akrabalı yetiştirme düzeylerini artırırken genetik çeşitliliği azaltmıştır. Bu süreç süt veriminde önemli kazanımlar sağlamış olsa da fertilité, sağlık, uzun ömür ve çevresel streslere adaptasyon gibi fonksiyonel özelliklerde olumsuz genetik yanıtlar ortaya çıkmıştır. Biyolojik çeşitliliğin azalması, hayvan refahı, üretim sürdürülebilirliği ve çevresel dayanıklılık açısından uzun vadeli riskler doğurmaktadır, bu nedenle ıslah hedeflerinin genetik çeşitliliği koruyacak şekilde yeniden yapılandırılması ve yerel genetik kaynakların üretim sistemlerine entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır (Brito ve ark., 2021).

3.1. Hastalıklara duyarlılık ve çevresel stres adaptasyonu

Genetik çeşitliliği düşük ve akrabalık derecesi yüksek popülasyonlar, salgın hastalıklara karşı daha kırılgan olup çevresel streslere adaptasyon yetenekleri sınırlıdır. Afrika Domuz Vebası (ASF) gibi yüksek ölümcüllüğe sahip hastalıklar, genetik olarak homojen domuz popülasyonlarında ciddi ekonomik ve biyolojik kayıplara yol açabilmekte; ölüm oranları %100'e kadar ulaşabilmekte ve kontrol önlemleri büyük ölçüde biyogüvenlik ve itlaf uygulamalarına dayanmaktadır (FAO, 2025). Benzer şekilde broiler tavuklarda ani ölüm sendromu, asites ve iskelet kaynaklı sorunların yaygınlığı, sürüden çıkarma oranlarını artırarak performans ve karkas kalitesini düşürmekte, hayvan refahı ile ekonomik sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir (Knowles ve ark., 2008; Hashimoto ve ark., 2013). Bu bulgular, genetik çeşitlilik kaybının yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve etik sonuçlar doğurduğunu göstermekte olup, sürdürülebilir hayvancılık için genetik çeşitliliğin korunması kritik hâline gelmiştir.

3.2. Üretim sistemlerinin kırılganlığı ve ekonomik riskler

Genetik çeşitliliğin azalması, üretim sistemlerini hastalıklar ve çevresel stres faktörleri karşısında daha kırılgan hâle getirmektedir. Ticari üretimde kullanılan homojen popülasyonlar, patojenlere ve çevresel değişimlere karşı dirençsiz kalarak önemli ekonomik riskler oluşturmaktadır. Modern üretim sistemlerinde birkaç ticari ırka yoğunlaşma, hayvan popülasyonlarının dayanıklılığını azaltmakta ve üretim sistemlerinin kırılganlığını artırmaktadır (FAO, 2015). Ayrıca hastalıkların hayvancılık ekonomisine olumsuz etkileriyle birlikte, genetik çeşitliliğin azalmasının

uzun vadede piyasa risklerini de beraberinde getirmiştir (Rege ve Gibson, 2003; Kappes ve ark., 2023).

3.3. Yerli ırkların kaybı ve ekosistem hizmetlerine etkisi

Yerli ırkların kaybı, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini olumsuz etkilemektedir. Uzun süreli çevresel uyumları sayesinde yerli hayvanlar, biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistem dengesi, kültürel değerlerin sürdürülmesi ve çevresel dayanıklılık gibi çok yönlü katkılar sağlamaktadır (FAO, 2015; Leroy ve ark., 2024). Bu bağlamda genetik çeşitliliğin korunması, yalnızca üretim verimliliği açısından değil, ekosistem bütünlüğü ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmektedir.

3.4. ASF örneği ve genetik çeşitliliğin önemi

Ticari üretimde kullanılan genetik olarak homojen domuz hatları, düşük genetik çeşitlilik nedeniyle ASF salgınlarında ağır kayıplar yaşamıştır. Afrika domuz vebası virüsünün (ASFV) neden olduğu hastalık, hassas popülasyonlarda %100'e varan ölüm oranlarına ulaşabilmekte ve domuz endüstrisinde ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Hakizimana ve ark., 2025). Buna karşılık, yerel domuz popülasyonlarında yapılan çalışmalar, genetik çeşitliliğin hastalıklara tolerans ve bağışıklık yanıtı üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir (Mujibi ve ark., 2018).

Güncel veriler, Doğu ve Orta Avrupa ile Asya'da yayılım gösteren "Georgia 2007 tipi" genotip II ASFV izolatlarının yüksek virülansa sahip olduğunu ve %91–100 oranında mortaliteye neden olduğunu ortaya koymaktadır. Enfekte hayvanlarda klinik belirtiler genellikle 3,5–14 gün içinde görülmekte, ölüm ise çoğunlukla 7–21 gün içinde gerçekleşmektedir. Buna karşın, genetik çeşitliliği daha yüksek yerel domuz popülasyonlarında mortalitenin daha düşük olduğu ve bazı bireylerin enfeksiyonu hafif klinik belirtilerle atlatabildiği bildirilmektedir (Gallardo ve ark., 2019).

Bu örnek, genetik çeşitliliğin yalnızca verim artışı açısından değil, salgın hastalıklara karşı popülasyon düzeyinde dayanıklılığın temel bir belirleyicisi olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Genetik çeşitlilik, salgın hastalıklara karşı direnci artırmada kritik bir rol oynamakta; homojen genetik yapıya sahip ticari popülasyonların bu bağlamda yüksek risk altında bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle sürdürülebilir hayvancılık açısından genetik çeşitliliğin korunması ve yerli ırkların desteklenmesi stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmelidir.

4. Bazı Çiftlik Hayvanlarında Genetik Çeşitliliğin Azalma Yansımaları

Verim özellikleri, çiftlik hayvanları yetiştiriciliğinde genetik potansiyelin ortaya çıkarılması ve ekonomik verimliliğin artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Seleksiyon kararları öncesinde verim özelliklerinin ekonomik önemi, kalıtım derecesi, varyasyon düzeyi, veri toplama süreci ve diğer özelliklerle ilişkilerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir (Şahin, 2025).

Sürekli ve yoğun seleksiyon uygulamaları, özellikle küçük ve kapalı popülasyonlarda alel çeşitliliğini azaltarak genetik sürüklenme ve akrabalı yetiştirme etkilerini güçlendirmektedir. Sınırlı sayıda genetik hattın uzun süreli kullanımına dayalı bu yapı, nadir alellerin kaybına ve homozigotluğun artmasına yol açmakta; genetik daralma ile birlikte popülasyonların uzun vadeli adaptasyon kapasitesini ve çevresel değişimlere yanıt verme yeteneğini zayıflatmaktadır (Lynch ve Walsh, 1998; Frankham ve ark., 2010; Allendorf ve ark., 2013). Akrabalı yetiştirme, genetik olarak akraba bireylerin çiftleştirilmesi sonucu homozigotluğun artmasıyla karakterize edilmekte ve adaptif kapasitenin azalmasıyla birlikte akrabalık depresyonuna neden olabilmektedir (Wright, 1977).

Bu sürecin farklı verim özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri çok sayıda çalışmada ortaya konmuş olup, etkilerin sınırlandırılması amacıyla küçük sürülerde uzak akrabalı eşleştirmelerin tercih edilmesi, sürüye akraba olmayan üstün genotipli bireylerin dâhil edilmesi, sürü büyüklüğünün artırılması ve genetik varyasyonu korumak için çok sayıda erkek damızlığın kullanılması önerilmektedir (Kaygısız ve Vanlı, 1995). Buna ek olarak popülasyon büyüklüğünün ani biçimde azalması, genetik sürüklenmenin etkisini artırarak nadir alellerin kaybına ve uzun dönemli genetik sürdürülebilirliğin zayıflamasına yol açmaktadır (Allendorf ve ark., 2013). Seleksiyon baskısının sürekliliği ve şiddeti arttıkça, adaptasyon esnekliği ve çevresel değişimlere yanıt verme kapasitesi de belirgin biçimde azalmaktadır (Frankham ve ark., 2010).

Sonuç olarak bazı çiftlik hayvanlarında gözlenen genetik çeşitlilik kaybı; yoğun seleksiyon, akrabalı yetiştirme, küçük ve kapalı popülasyon yapıları, genetik sürüklenme ve genetik daralma gibi birbirini güçlendiren süreçlerin eş zamanlı etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, aşağıda farklı hayvan türlerinde bu süreçlerin yansımaları örnekler üzerinden ele alınmıştır.

4.1. Sığırlarda azalan genetik çeşitliliğin yansımaları

Sütteki β -kazein proteini A1 ve A2 alelleri bakımından farklılık göstermektedir. A1 süt bazı bireylerde sindirim rahatsızlıkları ve inflamatuvar yanıtlarla ilişkilendirilirken, A2 süt daha iyi tolere edilebilir olarak değerlendirilmektedir (Jianqin ve ark., 2016). Bu durum, A2 sütüne yönelik artan tüketici talebinin temelini oluşturmaktadır; küresel ilginin artması, süt sığırı işletmelerinde A2A2 genotipine dayalı seleksiyon stratejilerinin benimsenmesine yol açmıştır. Holstein-Friesian ineklerde A2 aleli yüksek frekansta (0,68) bulunmakta, heterozigot A1A2 genotipi baskın (%46,25) ve A1A1 genotipi hâlen popülasyonda mevcuttur (%9,33), ancak CSN2 genotipleri ile süt verimi arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir; bu durum, A2 odaklı seleksiyon programlarında genetik çeşitliliğin korunmasının önemini göstermektedir (Ardicli ve ark., 2023). CSN2 genotipleri ile süt verimi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamış olsa da, A2 odaklı seleksiyonda genetik çeşitliliğin korunması gerektiği vurgulanmaktadır (Ardicli ve ark., 2023). Avustralya Holstein ırkı sığırlarında A2/A2 genotip frekansının 2000–2017 yılları arasında %32'den %52'ye yükselmesi, yoğun A2 seleksiyonunun açık bir göstergesidir. Bu süreçte, genom genelinde ve özellikle CSN2 bölgesinde artan homozigotluk ve ROH oranları rapor edilmiş; A2/A2 bireylerde daha yaygın ROH bölgelerinin gözlenmesi, yoğun alel seleksiyonunun genetik çeşitliliği sınırlandırdığını ortaya koymuştur (Scott ve ark., 2023).

Benzer şekilde Almanya ve Avustralya'da A2 süt pazarının genişlemesi, bazı alt popülasyonlarda genetik çeşitliliğin azalmasıyla sonuçlanmıştır. Alman Holstein-Friesian popülasyonlarında geniş seleksiyon hedeflerine sahip hatlarda genetik çeşitlilik daha yüksek bulunurken ($H_e = 0.41$), küçük ve kapalı Alman Siyah Alaca (DSN) alt popülasyonlarında heterozigotluk düzeyleri düşük ve akrabalı yetiştirme göstergeleri yüksek rapor edilmiştir (Jaeger ve ark., 2018; Hohmann ve ark., 2021). DSN popülasyonunda düşük efektif popülasyon büyüklüğü (≈ 85) ve yıllık akrabalık artışı (%0,1), genetik daralmanın temel nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Kantanen ve ark., 1999; Jaeger ve ark., 2018). Nitekim Avustralya'da A2A2 boğalar üzerinden yürütülen yoğun seleksiyonun, genetik varyasyonun daralmasına ve süt bileşimi ile sağlıkla ilişkili lokuslarda allel kayıplarına yol açtığı bildirilmektedir (Scott ve ark., 2023). Bu bulgular, A2 süt gibi tek bir genetik varyanta odaklanan seleksiyon baskısının, yüksek derecede selekte edilmiş Holstein popülasyonlarında dikkatle yönetilmesi gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak A2 süt üretimine yönelik artan seleksiyon baskısı; artan homozigotluk, azalan efektif popülasyon büyüklüğü ve belirli genomik bölgelerde heterozigotluk kaybı ile karakterize edilen genetik çeşitlilik

daralmasının somut bir örneğini oluşturmaktadır. Genomik seleksiyon ve geniş ölçekli genotipleme olanaklarına rağmen, A2 süt tüketiminin sağlık yararlarına ilişkin bulguların büyük ölçüde in vitro ve hayvan modellerine dayanması, insan sağlığına yönelik sonuçların netleştirilmesi için kapsamlı klinik çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu nedenle A2 süt odaklı ıslah programlarının, genetik çeşitlilik ve uzun vadeli sürdürülebilirliği gözetin dengeli bir yaklaşımla yürütülmesi gerekmektedir (Borş ve ark., 2024).

4.2. Tavuklarda azalan genetik çeşitliliğin yansımaları

Broiler tavuklarda akciğer atardamar hipertansiyonu (ascites), hızlı büyümeye bağlı artan metabolik gereksinimler ile akciğer damar yatağının sınırlı kapasitesi arasındaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır. Hipertansiyona duyarlı hatlarda artmış akciğer basıncı ve damar direnci, vazokonstriksiyon ve kan akış stresine bağlı vasküler yeniden yapılanma ile ilişkilidir. Yoğun seleksiyon baskısı, bu yapısal ve fonksiyonel yetersizlikleri belirginleştirerek ascites gelişimine yönelik genetik yatkınlığı artırmaktadır (Wideman, 2013).

Son yıllarda broiler et üretiminde sağlanan hızlı büyüme ve yüksek yemden yararlanma, sürekli verim seleksiyonunun bir sonucu olmakla birlikte, mortalite oranları ve metabolik hastalıkların sıklığında artışla birlikte seyretmiştir. Bu bağlamda broiler ascites sendromu, yoğun seleksiyon ve modern yetiştirme sistemleriyle ilişkili metabolik bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Kalmar ve ark., 2013). Yüksek verim odaklı seleksiyon, broilerlerde genetik çeşitliliğin daralmasına ve buna bağlı sağlık ve refah sorunlarının artmasına yol açmıştır. Kas dokusu artışının iskelet gelişimiyle paralel ilerlememesi, bacak deformiteleri, topallık ve ileri vakalarda kalp yetmezliği gibi ciddi bozukluklara neden olmaktadır (Julian, 2005).

Bu bulgular, broiler tavuklarda tek yönlü verim seleksiyonunun genetik çeşitliliği sınırlandırarak fizyolojik adaptasyon kapasitesini azalttığını ve metabolik sistemler üzerinde aşırı bir yük oluşturduğunu göstermektedir. Kalp-akciğer ve iskelet sistemlerindeki bu uyumsuzluklar, yüksek üretim potansiyelinin sürdürülebilirliğini tehdit etmekte; modern broiler ıslah programlarında büyüme ve karkas verimiyle birlikte dayanıklılık, sağlık ve hayvan refahını içeren dengeli seleksiyon yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

4.3. Koyun ve keçilerde azalan genetik çeşitliliğin yansıması

Keçilerde Saanen gibi yüksek verimli sütçü hatların yoğun biçimde tercih edilmesi, birçok ülkede yerli keçi popülasyonları üzerinde baskı

oluşturarak hastalık direnci ve zorlu çevre koşullarına adaptasyon kapasitesinin azalmasına yol açmıştır. İthal sütçü genotiplerin plansız yaygınlaştırılması, yerli genetik kaynakların sürdürülebilirliği açısından ciddi riskler doğurmaktadır (FAO, 2015). Brezilya’da yürütülen moleküler çalışmalar, Alpine ve Saanen gibi ithal ırkların yerli Moxotó keçileriy-le kontrolsüz melezlenmesinin yerli gen havuzunu baskıladığını ortaya koymuştur. Popülasyonlar arası genetik farklılaşmanın sürü düzeyinde yüksek bulunması ve ithal ırklar arasındaki artan genetik benzerlik, yerli genetik yapıların zayıfladığını ve adaptasyon ile hastalık direnci gibi kritik özelliklerin kaybolma riski altında olduğunu göstermektedir (Araújo ve ark., 2006).

Benzer bir eğilim koyun yetiştiriciliğinde de gözlenmektedir. Yüksek verimli hatlara odaklanan dar kapsamlı seleksiyon programları, genetik çeşitliliğin azalmasına ve akrabalı yetiştirmenin artmasına yol açmakta; genomik çalışmalar artan homozigotluğun çevresel streslere dayanıklılığı ve genel genetik performansı olumsuz etkilediğini göstermektedir (Sartore ve ark., 2013; Wang ve ark., 2023). Küresel analizler ve FAO raporları, yerli koyun ve keçi popülasyonlarının iklim değişkenliği, hastalık baskısı ve düşük girdili sistemlere uyum sağlayan özgün genetik özellikler taşıdığını; ancak bu özelliklerin yoğun seleksiyon ve genetik daralma nedeniyle hızla kaybolma riski altında olduğunu vurgulamaktadır (FAO, 2010; Wanjala ve ark., 2025; Visser, 2025). Türkiye’de Merinos × Akkaraman gibi melezleme uygulamalarının kısa vadeli verim artışı sağlamakla birlikte, uzun vadede yerli ırkların genetik bütünlüğü ve adaptif kapasitesi açısından risk oluşturduğu bildirilmektedir (Demir ve ark., 2021; Aydın ve ark., 2024).

Tüm bu örnekler, yalnızca yüksek verim hedeflerine odaklanan seleksiyon stratejilerinin kısa vadeli kazanımlar sağlasa da uzun vadede genetik çeşitliliği azaltarak çevresel ve biyotik streslere daha duyarlı popülasyonların oluşmasına yol açtığını göstermektedir. Bu nedenle sürdürülebilir küçükbaş hayvancılık için verim artışı ile genetik kaynakların korunmasını birlikte ele alan dengeli ıslah yaklaşımlarının benimsenmesi zorunludur.

4.4. Domuzlarda azalan genetik çeşitliliğin yansımaları

Ticari domuz popülasyonlarında yüksek üretime odaklanan yoğun seleksiyon, genetik çeşitliliğin azalmasına ve homozigotluğun artmasına yol açmaktadır. Belirli genotiplerin yaygınlaşması, akrabalı yetiştirme ve zararlı mutasyon birikimi riskini artırarak genetik sürüklenmenin güçlendiğini göstermektedir (Herrero-Medrano ve ark., 2014). Küçük etkili popülasyonlar ve sınırlı sayıda hattın yoğun kullanımı, ticari domuzlar-

da genetik çeşitliliği azaltmakta ve akrabalı yetiştirmeyi artırarak uzun vadede üretim potansiyeli ve sağlık açısından kırılğan popölasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Tek hat üzerinden yürütölen seleksiyon uygulamalarının genetik süröklenmeyi artırdığı ve buna bağılı üretim ile sağlık riskleri de oluşturur (Van Marle-Köster ve Visser, 2021; Reiner ve ark., 2021).

5. Gelece Yönelik Çözüm Yaklaşımları

Hayvan ıslahında geçmişten günümüze uygulanan yüksek verim odaklı seleksiyon stratejileri, kısa vadede üretim artışları sağlarken uzun vadede genetik çeşitliliğin azalması, akrabalı yetiştirmenin artması ve hayvan refahına ilişkin sorunların derinleşmesi gibi yapısal riskleri beraberinde getirmiştir. Bu durum, geleceğe yönelik ıslah yaklaşımlarının verim artışı ile genetik sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi gözeten çok boyutlu bir çerçevede ele alınmasını gerektirir.

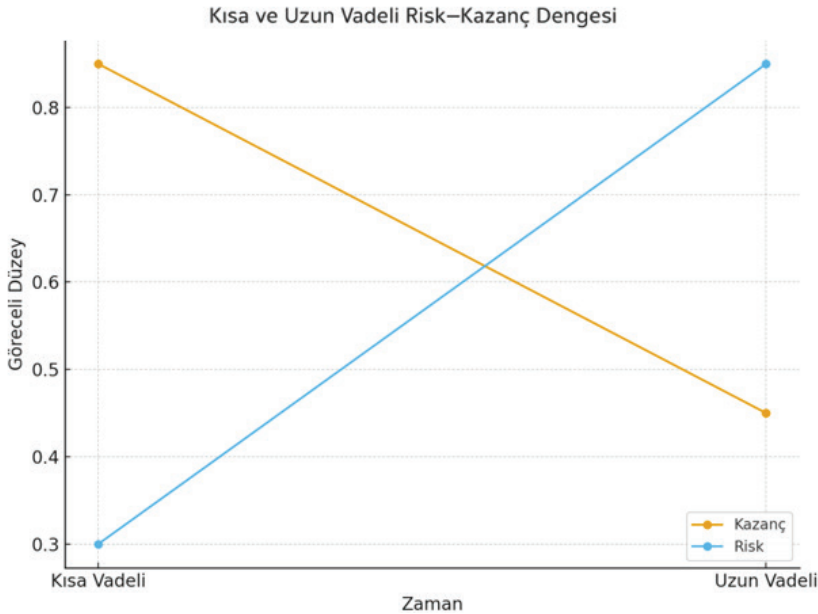
Bu bağlamda popölasyonların genetik sağlığının izlenmesi sürdürülebilir ıslah stratejilerinin temel unsurlarından biridir. Etkin popölasyon büyüklüğü (N_e), akrabalık katsayısı (FIS) ve heterozigotluk düzeyleri gibi göstergeler, genetik süröklenme ve genetik erozyon risklerinin erken dönemde belirlenmesine olanak tanımaktadır. Genetik verilerin coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ile entegrasyonu ise genetik çeşitliliğin mekânsal dağılımını ortaya koyarak bölgesel koruma ve ıslah stratejilerinin planlanmasına katkı sağlamaktadır (Oldenbroek, 2017).

Bununla birlikte, yalnızca genetik çeşitliliğin izlenmesi yeterli olmayıp seleksiyon hedeflerinin yeniden tanımlanması da büyük önem taşımaktadır. Özellikle büyüme hızı ve yemden yararlanma gibi özelliklere yönelik yoğun seleksiyon baskısının sürdürölmesi, broiler hatlarında sağlık ve refah sorunlarına yönelik genetik yatkınlığı artırabilmektedir (Decuypere ve ark., 2010; Dawkins ve Layton, 2012). Bu nedenle modern ıslah programlarında sağlık, dayanıklılık ve refah özelliklerinin seleksiyon hedeflerine entegre edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Geleneksel yaklaşımlarda uzun süre yalnızca ekonomik verim özelliklerine odaklanması, sağlık, fertilitte ve yaşam süresi gibi özelliklerde istenmeyen genetik yan etkilere yol açmıştır. Günümüzde ise verimle birlikte dayanıklılık ve refah özelliklerini içeren çok amaçlı seleksiyon stratejileri ön plana çıkmakta; bu yaklaşımların genetik ilerlemeyi sürdürürken genetik çeşitliliğin korunmasına katkı sağladığı bildirilmektedir (Miglior ve ark., 2017).

Geleceğe yönelik stratejilerde yerli ırkların korunması ve ekosistem uyumunun gözetilmesi de kritik bir unsurdur. Uzun süreli çevresel adaptasyonları sayesinde yerli ırklar, iklim değışikliği, hastalık baskısı ve dü-

şük girdili üretim koşullarına karşı önemli bir dayanıklılık potansiyeli sunmaktadır. Bu nedenle yerli ırkların korunması, yalnızca genetik çeşitliliğin değil, üretim sistemlerinin ekosistem temelli sürdürülebilirliğinin de güvencesi olarak değerlendirilmektedir. Hayvan genetik kaynaklarının korunmasında gen bankacılığı ve kriyokonservasyon uygulamaları, geleceğe yönelik genetik güvence mekanizmaları olarak öne çıkmaktadır. Sperm ve embriyo bankaları, risk altındaki genotiplerin uzun süreli muhafazasını mümkün kılarak genetik materyal kaybını önlemekte ve gerektiğinde popülasyonlara yeniden kazandırılmasına olanak sağlamaktadır (Oldenbroek ve van der Waaij, 2014).

Son olarak, genom düzenleme teknolojilerindeki gelişmeler, sürdürülebilir ıslah yaklaşımlarına yeni olanaklar sunmaktadır. Özellikle CRISPR/Cas9 sistemi, belirli alellerin kontrollü biçimde hedeflenmesini mümkün kılarak verim artışı ile genetik çeşitliliğin korunmasını birlikte ele alabilecek bir araç olarak değerlendirilmektedir (Doudna ve Charpentier, 2014). Bu çerçevede sunulan kavramsal model (Şekil 1), kısa vadede yüksek kazanç sağlayan seleksiyon stratejilerinin zamanla artan risk profiline evrilebileceğini ortaya koymakta; geleceğe yönelik ıslah programlarında kazanç–risk dengesinin stratejik olarak gözetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.



Şekil 1. Kısa ve uzun vadeli seleksiyon stratejilerinde kazanç–risk dengesi (kavramsal model).

Özetle, geleceğin hayvan ıslahı, genetik çeşitlilik, çok amaçlı seleksiyon, yerli ırk koruma, gen bankası ve etik genom düzenlemeyi içermelidir; aksi takdirde kısa vadeli kazançlar genetik erozyon ve refah riskine yol açar.

Sonuç ve Öneriler

Yoğun ve dar kapsamlı seleksiyon programları kısa vadede üretim artışı sağlayabilmekle birlikte, uzun vadede genetik çeşitliliğin azalması, çevresel adaptasyon kapasitesinin zayıflaması ve hayvan refahına ilişkin sorunların ortaya çıkması gibi yapısal riskleri beraberinde getirmektedir. Broiler piliçler ve süt sığırları başta olmak üzere farklı hayvan türlerinde elde edilen bulgular, genetik çeşitliliğin korunmasının yalnızca biyolojik bir gereklilik değil, aynı zamanda üretim sistemlerinin sürekliliği ve dayanıklılığı açısından da kritik bir unsur olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, modern genomik araçların ıslah programlarına entegre edilmesi, kısa vadeli verim kazanımlarını korurken uzun vadeli genetik ve refah risklerinin yönetilmesine katkı sağlayabilecek önemli bir olanak sunmaktadır.

Bu çalışma, kısa vadeli verim artışına odaklanan yoğun seleksiyon stratejilerinin zaman içerisinde genetik daralma, ekonomik kırılganlık ve refah temelli risklerin birikmesine yol açabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir hayvancılık açısından, tek yönlü verim artışını hedefleyen yaklaşımlar yerine genetik çeşitliliğin korunmasını ve çevresel uyumu esas alan çok amaçlı ıslah stratejilerinin benimsenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Allendorf, F. W., Luikart, G., & Aitken, S. N. (2013). *Conservation and the genetics of populations* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Araújo, A. M. de, Guimarães, S. E. F., Machado, T. M. M., Lopes, P. S., Pereira, C. S., Silva, F. L. R. da, Rodrigues, M. T., Columbiano, V. de S., & Fonseca, C. G. da. (2006). Genetic diversity between herds of Alpine and Saanen dairy goats and the naturalized Brazilian Moxotó breed. *Genetics and Molecular Biology*, 29(1), 67–74.
- Ardicli, S., Samli, H., Balci, F., & Dinçel, D. (2023). Variation in beta-casein (CSN2) genotypes and their associations with milk yield and genomic breeding values in Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 1–12. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-XXXXX>
- Aydın, K. B., Yılmaz, O., Karaca, O., Boztepe, S., & Demir, H. (2024). Review of sheep breeding and genetic research in Türkiye. *Frontiers in Genetics*. <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1308113>
- Bjelland, D. W., Weigel, K. A., Vukasinovic, N., & Nkrumah, J. D. (2013). Evaluation of inbreeding depression in Holstein cattle using whole-genome SNP markers and alternative measures of genomic inbreeding. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4697–4706. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6435>
- Borş, A., Borş, S.-I., & Floriştian, V.-C. (2024). Health-related outcomes and molecular methods for the characterization of A1 and A2 cow's milk: Review and update. *Veterinary Sciences*, 11(4), 172. <https://doi.org/10.3390/vetsci11040172>
- Brito, L. F., Bedere, N., Douhard, F., Oliveira, H. R., Arnal, M., Peñagaricano, F., Schinckel, A. P., Baes, C. F., & Miglior, F. (2021). Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. *Animal*, 15(Suppl. 1), 100292. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>
- Capper, J. L., & Cady, R. A. (2020). The effects of improved performance in the US dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *Journal of Animal Science*, 98, skz291. <https://doi.org/10.1093/jas/skz291>
- Dawkins, M. S., & Layton, R. (2012). Breeding for better welfare: Genetic goals for broiler chickens and their parents. *Animal Welfare*, 21, 147–155. <https://doi.org/10.7120/09627286.21.2.147>
- Decuypere, E., Bruggeman, V., Everaert, N., Li, Y., Boonen, R., De Tavernier, J., Janssens, S., & Buys, N. (2010). The broiler breeder paradox: Ethical, genetic and physiological perspectives, and suggestions for solutions. *British Poultry Science*, 51, 569–579. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.519121>
- Demir, H., Aktaş, A., & Yılmaz, O. (2021). A comprehensive review on genetic diversity and conservation of indigenous sheep breeds. *Turkish Journal*

- of Veterinary and Animal Sciences*, 45, 1–10. <https://doi.org/10.3906/vet-2006-107>
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- FAO (2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Breeding strategies for sustainable management of animal genetic resources*. Retrieved December 25, 2025, from <https://www.fao.org/4/i1103e/i1103e.pdf>
- FAO (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. FAO. Retrieved December 14, 2025, from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cb3cd3d4-1c97-49e9-b9e6-c6344ad121c4/content>
- FAO (2025). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *African swine fever (ASF)*. FAO. Retrieved December 14, 2025, from <https://www.fao.org/animal-health/animal-diseases/african-swine-fever/en>
- Frankham, R., Ballou, J. D., & Briscoe, D. A. (2010). *Introduction to conservation genetics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Frankham, R., Bradshaw, C. J. A., & Brook, B. W. (2014). Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.036>
- Gallardo, C., Fernández-Pinero, J., & Arias, M. (2019). African swine fever (ASF) diagnosis, an essential tool in the epidemiological investigation. *Virus Research*, 271, 197676. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2019.197676>
- Gozdek, M., Mucha, S., Prostek, A., Kamola, D., & Sadkowski, T. (2024). Distribution of recessive genetic defect carriers in Holstein Friesian cattle: A Polish perspective. *Animals*, 14(22), 3170. <https://doi.org/10.3390/ani14223170>
- Gutiérrez-Reinoso, M. A., Aponte, P. M., & García-Herreros, M. (2022). A review of inbreeding depression in dairy cattle: Current status, emerging control strategies, and future prospects. *Journal of Dairy Research*, 89(1), 3–12. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000869>
- Hakizimana, J. N., Yona, C., Makange, M. R., Adamson, E. K., Ntampaka, P., Uwibambe, E., ... Misinzo, G. (2025). Complete genome analysis of the African swine fever virus genotypes II and IX responsible for the 2021 and 2023 outbreaks in Rwanda. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1532683. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1532683>
- Hartcher, K. M., & Lum, H. K. (2019). Genetic selection of broilers and welfare consequences: A review. *World's Poultry Science Journal*, 76(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00439339.2019.1680025>

- Hashimoto, S., Yamazaki, K., Obi, T., & Takase, K. (2013). Relationship between severity of footpad dermatitis and carcass performance in broiler chickens. *Avian Pathology*, 75(11), 1547–1549.
- Herrero-Medrano, J. M., Megens, H.-J., Groenen, M. A. M., Bosse, M., Pérez-Enciso, M., & Crooijmans, R. P. M. A. (2014). Whole-genome sequence analysis reveals differences in population management and selection of European low-input pig breeds. *BMC Genomics*, 15, 601. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-601>
- Hohmann, L. G., Weimann, C., Scheper, C., Erhardt, G., & König, S. (2021). Genetic diversity and population structure in divergent German cattle selection lines on the basis of milk protein polymorphisms. *Archives of Animal Breeding*, 64(1), 91–102. <https://doi.org/10.5194/aab-64-91-2021>
- Jaeger, M., Brügemann, K., Naderi, S., Brandt, H., & König, S. (2018). Variance heterogeneity and genotype by environment interactions in native Black and White dual-purpose cattle for different herd allocation schemes. *Animal*, 13, 2146–2155. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000144>
- Jianqin, S., Leiming, X., Lu, X., Yelland, G. W., Ni, J., & Clarke, A. J. (2016). Effects of milk containing only A2 beta-casein versus milk containing both A1 and A2 beta-casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutrition Journal*, 15(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0147-z>
- Julian, R. J. (2005). Production and growth related disorders and other metabolic diseases of poultry. *The Veterinary Journal*, 169(3), 350–369. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.04.015>
- Kalmar, I. D., Vanrompay, D., & Janssens, G. P. (2013). Broiler ascites syndrome: Collateral damage from efficient feed to meat conversion. *The Veterinary Journal*, 197(2), 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.03.011>
- Kantanen, J., Olsaker, I., Adalsteinsson, S., Sandberg, K., Eythorsdottir, E., Pirhonen, K., & Holm, L.-E. (1999). Temporal changes in genetic variation of North European cattle breeds. *Animal Genetics*, 30, 16–27. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.1999.00379.x>
- Kappes, A., Tozoneyi, T., Shakil, G., Railey, A. F., McIntyre, K. M., Mayberry, D. E., ... Pendell, D. L. (2023). Livestock health and disease economics: A scoping review of selected literature. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1168649. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1168649>
- Karabaş, M., & Yılmaz, O. (2024). Çiftlik hayvanlarında seleksiyon izlerinin tanımlanmasında kullanılan kavram ve yaklaşımlar. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi*, 7(1), 63–82. <https://doi.org/10.51970/jasp.1390270>
- Kaygısız, A., & Vanlı, Y. (1995). Akrabalı yetiştirmenin çiftlik hayvanlarında verim özellikleri üzerine etkileri. *Hayvansal Üretim*, 36(1), 45–52.
- Knowles, T. G., Kestin, S. C., Haslam, S. M., Brown, S. N., Green, L. E., Butterworth, A., Pope, S. J., Pfeiffer, D., & Nicol, C. J. (2008). Leg disorders in broiler chickens: Prevalence, risk factors and prevention. *PLoS ONE*, 3(2), e1545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001545>

- Leroy, G., Boettcher, P., Joly, F., Looft, C., & Baumung, R. (2024). Multifunctionality and provision of ecosystem services by livestock species and breeds at global level. *Animal*, 18(1), 101048. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101048>
- Lynch, M., & Walsh, B. (1998). *Genetics and analysis of quantitative traits*. Sinauer Associates.
- Makanjuola, B. O., Miglior, F., Abdalla, E. A., Maltecca, C., Schenkel, F. S., & Baes, C. F. (2020). Effect of genomic selection on rate of inbreeding and coancestry and effective population size of Holstein and Jersey cattle populations. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5183–5199. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18013>
- Markert, J. A., Champlin, D. M., Gutjahr-Gobell, R., Grear, J. S., Kuhn, A., McGreevy, T. J., Jr., Roth, A., Bagley, M. J., & Nacci, D. E. (2010). Population genetic diversity and fitness in multiple environments. *BMC Evolutionary Biology*, 10, 205. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-10-205>
- Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (2016). Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers*, 6(1), 6–14. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0002>
- Miglior, F., Fleming, A., Malchiodi, F., Brito, L. F., Martin, P., & Baes, C. F. (2017). A 100-year review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>
- Mujibi, F. D., Okoth, E., Cheruiyot, E. K., Onzere, C., Bishop, R. P., Fèvre, E. M., & Rothschild, M. (2018). Genetic diversity, breed composition and admixture of Kenyan domestic pigs. *PLoS ONE*, 13(1), e0190080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190080>
- Notter, D. R. (1999). The importance of genetic diversity in livestock populations of the future. *Journal of Animal Science*, 77(1), 61–69. <https://doi.org/10.2527/1999.77161x>
- Oldenbroek, J. K., & van der Waaij, L. H. (2014). *Textbook animal breeding and genetics for BSc students*. Wageningen Academic Publishers.
- Oldenbroek, J. K., & van der Waaij, L. H. (2017). *Genomic management of animal genetic diversity*. Wageningen Academic Publishers.
- Özkan, H., & Yakan, A. (2017). Hayvan yetiştiriciliğinde genomik seleksiyon: Dünü, bugünü. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 57(2), 112–117.
- Rege, J. E. O., & Gibson, J. P. (2003). Animal genetic resources and economic development: Issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics*, 45(3), 319–330. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00087-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00087-9)
- Reiner, G., Kuehling, J., Loewenstein, F., Lechner, M., & Becker, S. (2021). Swine inflammation and necrosis syndrome (SINS). *Animals*, 11(6), 1670. <https://doi.org/10.3390/ani11061670>

- Santos, M. N., Widowski, T. M., Kiarie, E. G., Guerin, M. T., Edwards, A. M., & Torrey, S. (2022). In pursuit of a better broiler: Tibial morphology, breaking strength, and ash content in conventional and slower-growing strains of broiler chickens. *Poultry Science*, 101(4), 101755. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101755>
- Sartore, S., Rasero, R., & Colussi, S. (2013). Effect of selection for scrapie resistance on genetic diversity in a rare and locally adapted sheep breed (Sambucana). *Livestock Science*, 157, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.006>
- Scott, B. A., Haile-Mariam, M., MacLeod, I. M., Xiang, R., & Pryce, J. E. (2023). Evaluating the potential impact of selection for the A2 milk allele on inbreeding and performance in Australian Holstein cattle. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1142673. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1142673>
- Steyn, Y., Masuda, Y., Tsuruta, S., Lourenco, D. A. L., Misztal, I., & Lawlor, T. J. (2022). Identifying influential sires and distinct clusters of selection candidates based on genomic relationships to reduce inbreeding in the US Holstein population. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9810–9821. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22246>
- Şahin, O. (2025). Seleksiyonun yöntemleri ve damızlık değer tahmini. In *Hayvan ıslahı* (ss. 163–207). Akademisyen Kitabevi. <https://doi.org/10.37609/akya.3706>
- Şahin, O., & Yılmaz, İ. (2023). Türkiye özelinde sığırlarda ırk ıslahının analizi. In *Stratejik sektör tarım-2* (ss. 414–455). İKSAD Yayınevi. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2023/03/Stratejik-Sektor-TARIM-2.pdf>
- Tallentire, C. W., Leinonen, I., & Kyriazakis, I. (2016). The challenge of improving sustainability in poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 72(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000161>
- Van Marle-Köster, E., & Visser, C. (2021). Unintended consequences of selection for increased production on the health and welfare of livestock. *Archives Animal Breeding*, 64(1), 177–185. <https://doi.org/10.5194/aab-64-177-2021>
- Vigne, J.-D. (2011). The origins of animal domestication and husbandry: A major change in the history of humanity and the biosphere. *Comptes Rendus Biologies*, 334(3), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.009>
- Visser, C. (2025). The impact of genetic selection for increased production on fitness traits of small ruminants. *Small Ruminant Research*, 247, 107491. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2025.107491>
- Wang, J., Suo, J., Yang, R., Zhang, C. L., Li, X., Han, Z., Gao, Q., & diğerleri. (2023). Genetic diversity, population structure, and selective signature of sheep in the northeastern Tarim Basin. *Frontiers in Genetics*, 14, 1281601. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1281601>
- Wanjala, G., Mwangi, S., Kiplagat, S., Otieno, L., & Kariuki, J. (2025). Genetic diversity and adaptability of native sheep breeds from different climatic

- zones. *Scientific Reports*, 15, 19327. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97931-2>
- Wideman, R. F., Rhoads, D. D., Erf, G. F., & Anthony, N. B. (2013). Pulmonary arterial hypertension (ascites syndrome) in broilers: A review. *Poultry Science*, 92(1), 64–83. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02745>
- Wright, S. (1977). *Evolution and the genetics of populations* (Vol. 3: Experimental results and evolutionary deductions). University of Chicago Press.
- Yue, X., Dechow, C. D., Chang, T., Aguilar, I., & Ashwell, M. S. (2015). Limited number of Y chromosome lineages present in the global Holstein Friesian population. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2738–2745. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8847>
- Zuidhof, M. J., Schneider, B. L., Carney, V. L., Korver, D. R., & Robinson, F. E. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*, 93(12), 2970–2982. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>
- Anghelescu, I. (2014, August 16). Sustainable livestock farming: Progress since 1950. *EW Nutrition*. <https://ew-nutrition.com/sustainability-livestock-farming/>

Bölüm 14

DOĞU LADİNİ FİDANLARINDA SÜRGÜN TİPİ VARYASYONLARININ ORJİNLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deniz GÜNEY¹, Ali BAYRAKTAR²

1 Prof. Dr. Deniz GÜNEY, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Silvikültür Anabilim Dalı

2 Dr. Öğr. Üyesi Ali BAYRAKTAR, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Silvikültür Anabilim Dalı

1. Giriş

Orman ağacı türlerinde genetik ve morfolojik varyasyon, hem türlerin doğal yayılış alanlarında değişken çevre koşullarına uyum sağlamasını hem de ormancılık uygulamaları açısından materyal seçiminde kritik bir öneme sahiptir. Varyasyon düzeyinin yüksek olması, bir popülasyonun değişen iklim, toprak yapısı, nem ve ışık gibi çevresel faktörlere karşı dirençli olma kapasitesini artırır (Güney vd., 2015; Atar vd., 2024). Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link), Türkiye'nin kuzeydoğusunda, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde doğal yayılış göstermekte olup ülkenin orman ekosisteminde önemli bir yer tutmaktadır (Atalay, 1992). Bu tür, yüksek nem ve yağış koşullarına uyum sağlamış, gölge toleransı yüksek, yavaş büyüyen ve uzun ömürlü bir iğne yapraklıdır. Doğu ladini, hem doğal ormanların sürdürülebilirliği hem de fidanlık üretiminde yüksek kalite hedefleri açısından ormancılık çalışmalarında önemli bir tür olarak değerlendirilir (Tüfekçioglu vd. 2011; Turna, 2004).

Sürgün tipi, sürgün uzunluğu, tomurcuk oluşumu gibi özellikler fidanın ileriki yıllardaki gövde formu, dallanma düzeni ve mekanik dayanımını etkileyebilir. İbrelili türlerde sürgün gelişimi ve tomurcuk farklılaşması, bireyin büyüme dinamiğini, morfolojik formunu ve adaptasyon yeteneğini doğrudan etkileyen önemli morfolojik özelliklerdendir (Turna vd., 2005; Cannell et al., 1976; Owens & Molder, 1979). Özellikle *Picea* türlerinde lammas, proleptic ve sylectic sürgünlerin oluşumu; yıl içindeki büyüme periyodunun uzunluğu, tomurcuk oluşum zamanı, genetik yapı ve çevresel koşullar tarafından belirlenmektedir (Collet & Chenost, 2006; Rossi et al., 2003). Bu sürgün tiplerinin görülme sıklığı ve uzunlukları, bireylerin büyüme stratejileri ile birlikte farklı orijinlerin adaptasyon kapasitelerini de yansıtır (Souza vd., 2000.; Costes, vd., 2014; Körner, 2012; Puntieri vd, 1998).

Odunsu türlerin vegetatif gelişiminde sürgün tipleri, bireylerin büyüme formu ve orman işletmeciliği açısından önemli belirleyicilerdir. Normal sürgünler, dormant tomurcuklardan ilkbaharda açılan ve bir büyüme mevsimi boyunca uzama gösteren sürgünlerdir. Lammas sürgünler, genellikle bir büyüme periyodunun ardından, aynı yıl içinde ikinci bir uzama dalgasıyla açılan ikinci büyüme dönemi sürgünleri olarak tanımlanır (Katrevis et al., 2018). Proleptic sürgünler, önceden oluşmuş tomurcuklardan yani bir önceki veya aynı yılın sonbaharında meydana gelen tomurcuklardan ertesi yıl uzama gösteren sürgünlerdir (Nárovcová & Nárovec, 2010). Buna karşılık sylectic sürgünler, tomurcuk dinlenmesi olmadan aynı yıl içinde erken dönemde oluşup uzamaya geçen sürgünlerdir. Bu morfolojik çeşitlilik, özellikle genç ağaçlarda gövde formu, odun kalitesi ve adaptasyon potansiyeli açısından kritik rol oynamaktadır (Katrevis et al., 2018). Bu nedenle orman yetiştirme

çalışmalarında sürgün tiplerinin belirlenmesi ve anlaşılması, genetik ve silvikültürel kararlar için temel bir öneme sahiptir. Bu morfolojik farklılıklar, özellikle genç fidanlarda büyüme kalitesini ve gövde formunu etkileyerek orman yetiştirme çalışmalarında doğrudan uygulama alanı bulur (Moulia & Fournier, 1997). Lammas sürgünlerin aşırı gelişimi, gövde formunda düzensizliklere, eğriliklere ve odun dokusunda istenmeyen deformasyonlara neden olabilirken; proleptic sürgünlerin azlığı, fidanın apikal dominansını koruyarak dik formda ve düzgün eksenli bir gövde gelişimini desteklemektedir (Kozłowski & Greathouse, 1970; Yahyaoglu & Genç, 2007). Bu nedenle sürgün tiplerinin belirlenmesi, fidan ıslahı ve orijin denemelerinde değerlendirilmesi gereken temel bir parametredir.

Son yıllarda artan sıcaklık dalgalanmaları, özellikle iğne yapraklı türlerde büyüme dönemlerinin süresini ve ritmini önemli ölçüde etkilemektedir. Birçok çalışma, sıcaklık değişimlerinin kambiyal aktiviteyi, hücre farklılaşmasını ve sürgün uzamasını doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur (Rossi & Deslauriers, 2007). Ayrıca, fenolojik süreçler ile düşük sıcaklıklara dayanıklılık arasındaki etkileşimin, türlerin büyüme mevsimi süresini ve gelişim stratejilerini belirlemede önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir (Vitasse, vd. 2014). Özellikle boreal ve yüksek rakımlı bölgelerde, sonbahar sıcaklıklarının artması ilkbahar tomurcuk patlamasını geciktirerek iklim ısınmasının etkilerini kısmen dengelemekte, bu da morfolojik varyasyonun çevresel koşullara karşı bir adaptasyon göstergesi olarak değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Heide, 2003). Bu nedenle, yüksek rakımlarda yetiştirilen ladin türlerinde gözlenen sürgün dinamikleri ve morfolojik farklılıklar, sıcaklık rejimindeki değişimlere bağlı bir ekolojik tepki olarak yorumlanabilir.

Bu bağlamda yürütülen çalışmada, repikaja alınmış altı yaşındaki Doğu ladini fidanlarında farklı sürgün tiplerinin (Normal, Lammas, Proleptic, Syleptic) dağılımı ve son yıllık sürgün uzunlukları incelenmiştir. Araştırmanın temel amacı, farklı sürgün tiplerinin genç bireylerin büyüme performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve bu özelliklerin ladin fidan üretiminde kalite göstergesi olarak kullanılabilirliğini değerlendirmektir. Elde edilen bulgular, Doğu ladini fidanlarının morfolojik gelişim dinamiklerinin anlaşılmasına ve ıslah çalışmalarında seçim kriterlerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) türünün farklı orijinlerinden elde edilen altı yaşlı fidanlarda sürgün tipi varyasyonlarını belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan fidanlar, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki doğal ladin popülasyonlarından toplanan tohumlardan yetiştirilmiştir. Toplam 10 farklı orijine ait tohumlar, enlem, boylam ve yükselti basamakları bakımından çeşitlilik göstermekte olup, her biri türün doğal yayılış alanlarını temsil etmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Deneme alanlarına ait genel özellikler

No	Orijinler	Yükseklik Basamağı (m)	Enlem (N)	Boylam (E)
1	Trabzon-Çaykara	1650-1950	40° 34' 30"	40° 23' 10"
2	Rize-İkizdere	1650-1950	40° 34' 30"	40° 23' 10"
3	Rize-Ç. Hemşin	1350-1650	40° 52' 28"	40° 56' 15"
4	Rize-Ç. Hemşin	1650-1950	40° 52' 20"	40° 56' 40"
5	Rize-Ç. Hemşin	1950-2250	40° 48' 40"	40° 56' 45"
6	Torul-Kürtün	1350-1650	40° 43' 30"	39° 13' 15"
7	Torul-Örümcek	1350-1650	40° 39' 40"	39° 01' 10"
8	Torul-Örümcek	1650-1950	40° 39' 45"	39° 00' 25"
9	Artvin-Atilla	1050-1350	41° 07' 23"	41° 37' 22"
10	Artvin-Taşlıca	1650-1950	41° 08' 00"	41° 36' 40"

Tohumlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası fidanlık açık alan koşullarında standart yetiştirme ortamında ekilmiştir. Çimlenme sonrası fidanlar açık alan koşullarında büyümelerini sürdürmüş ve fidanlar altı yaşına ulaştığında homojen gelişim gösteren 400 birey rastgele seçilerek değerlendirmeye alınmıştır. Sulama, gübreleme ve ot kontrolü işlemleri standart fidanlık bakım esaslarına göre yürütülmüştür.

Her bir fidan üzerinde oluşan sürgün tipleri belirlenmiş ve son yıllık sürgün boy ölçümü (mm cinsinden) dijital kumpas ile 0,01 mm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Sürgün tipleri dört ana kategori altında sınıflandırılmıştır:

Normal sürgünler; Dormant tomurcuklardan ilkbaharda gelişen ve bir büyüme sezonu boyunca uzama gösteren sürgünler. Lammas sürgünler; Aynı yıl içinde, yaz sonu veya sonbaharda ikinci bir büyüme dalgası oluşturan sürgünler. Proleptic sürgünler; Bir önceki veya aynı yılın sonbaharında oluşmuş tomurcuklardan, ertesi yıl uzama gösteren sürgünler. Sylleptic sürgünler; Tomurcuk dinlenmesi olmadan, aynı büyüme dönemi içerisinde gelişen sürgünler.

Toplanan veriler, orijinler arası sürgün tipleri ve sürgün uzunluklarındaki farklılıkları belirlemek amacıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Her sürgün tipi için varyans analizleri (ANOVA) uygulanmış, anlamlı farkların belirlenmesinde $p < 0,05$ önem düzeyi esas alınmıştır. Gerekli durumlarda farklılıkların kaynaklarını belirlemek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Orijinlerin sürgün tipi bileşimleri bakımından benzerliklerinin ortaya konulması amacıyla hiyerarşik kümeleme analizi yapılmıştır. Bu amaçla her orijine ait Normal, Lammas, Proleptic ve Sylleptic sürgün sayılarına ilişkin veriler kullanılarak önce orijin bazında yüzdelik sürgün tipi değerleri hesaplanmıştır. Orijinler arası benzerlik, Öklid uzaklığına dayalı olarak, birleşme yöntemi olarak ise Ward'ın en küçük varyans yöntemi (Ward's method) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, orijinlerin sürgün tipi profillerine göre oluşan kümeleri göstermek üzere dendrogram şeklinde sunulmuş; ayrıca sürgün tipi yüzdelilerinin kümelere göre değişimini görselleştirmek için bir ısı haritası (heat map) oluşturulmuştur. Küme sayısı, dendrogram üzerindeki kırılma noktaları ve kümeler arası mesafe büyüklükleri birlikte değerlendirilerek üç kümeli çözüm üzerinden yorumlanmıştır.. Veri analizleri IBM SPSS Statistics 25.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Grafikselleştirme için R yazılımı (ggplot2 paketi) kullanılmıştır.

3. BULGULAR

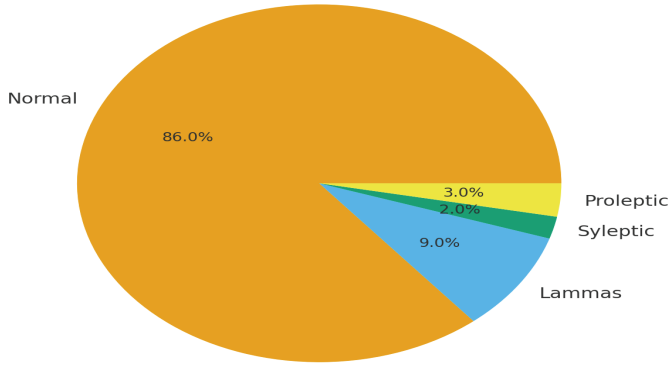
Doğu ladini fidanlarında sürgün gelişiminin orijine bağlı olarak nasıl farklılaştığını değerlendirmek amacıyla 10 orijinden elde edilen toplam 400 fidanın sürgün tipleri ve son yıllık sürgün uzunlukları incelenmiştir. Her bir fidan için Normal, Lammas, Sylleptic ve Proleptic sürgün tipleri belirlenmiş, bu tiplerin orijinler arasındaki dağılımları ile sürgün uzunluğuna ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Orijinlere göre sürgün tipleri (%) ve sürgün boyları (cm).

Orijin	n	Normal (%)	Lammas (%)	Syleptic (%)	Proleptic (%)	Ort. sürgün boyu (cm)	min-max (cm)
1	40	78	20	2	0	3,39	0,80–6,20
2	40	85	10	2,5	2,5	3,57	0,70–7,00
3	42	88	12	0	0	6,40	2,60–13,30
4	40	92	5	0	3	7,00	0,90–11,00
5	40	88	0	10	2	6,17	0,10–12,00
6	40	70	5	8	17	3,37	0,10–10,00
7	40	85	10	0	5	5,77	1,50–12,00
8	40	92	8	0	0	8,10	4,00–12,80
9	39	89	11	0	0	7,86	2,80–12,60
10	39	89	11	0	0	6,69	1,80–13,00

Sürgün tiplerine ilişkin yapılan gözlemler sonucunda; Normal Sürgün, Lammas Sürgün, Proleptic Sürgün ve Syleptic Sürgün olmak üzere 4 farklı sürgün tipi tespit edilmiştir. Tablo 2’den de görülebileceği gibi, tüm orijinler içerisinde Normal sürgün tipi bütün orijinler içerisinde çok yüksek oranda (%86) bulunmuştur. Bunu Lammas Sürgün tipi (%9) izlemiştir. Diğer sürgün tiplerinin ise daha az oranlarda (%2 ve %3) bulundukları belirlenmiştir. Gözlenen bu sürgün tipleri ölçümle değil de kategorik olarak incelendiği için, orijinler arasında sürgün tipleri bakımından farklılıklar olup olmadığını incelemek için gerekli istatistiksel analiz olan Chi-square testi uygulanmıştır. Orijinler arasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda Pearson Chi-square değeri 0.05’ten küçük çıkmıştır. Buda sürgün tipi bakımından orijinlerin birbirlerinden farklı olduğunu göstermektedir. Doğu ladini fidanlarında belirlenen sürgün tiplerinin genel dağılımı şekil üzerinde gösterilerek tüm örneklemde hangi sürgün tipinin baskın olduğuna ilişkin görsel bir değerlendirme yapılmıştır (Şekil 1).

Tüm Fidanlarda Sürgün Tipi Dağılımı



Şekil 1. Sürgün tiplerinin tüm orijinler için genel dağılımı (%)

Şekil 1’de, 10 orijine ait tüm fidanların sürgün tipine göre dağılımı özetlenmiştir. Normal sürgün tipinin büyük oranda baskınlığı dikkat çekmekte olup, Lammas sürgünleri sınırlı; Syleptic ve Proleptic sürgünler ise oldukça düşük oranlarda görülmektedir. Bulgular, türün gençlik döneminde sürgün gelişiminin büyük ölçüde Normal sürgün tipi üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir.

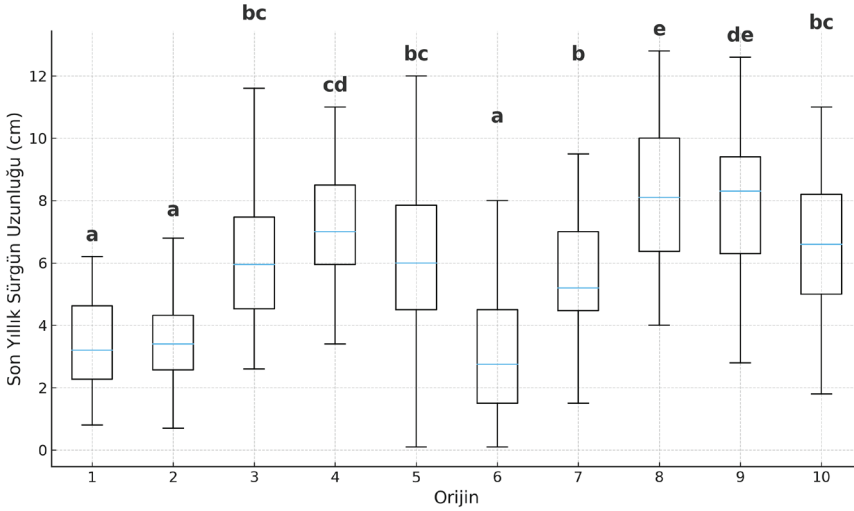
Orijinlere göre altı yıllık fidanlarda son yıllık sürgün uzunluklarının dağılımı Şekil 2’de sunulmuş olup, orijinler arasında sürgün gelişim performansının nasıl farklılık gösterdiği görsel olarak değerlendirilmiştir. Orijinlere göre son yıllık sürgün uzunlukları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Orijinlere bağlı olarak son yıllık sürgün boylarına ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalaması	F	p-değeri
Gruplar Arası (Orijin)	1148.84	9	127.65	26.33	0.001
Gruplar İçi (Hata)	1886.03	389	4.85		
Toplam	3034.87	398			

Tablo 3 incelendiğinde, orijinlerin sürgün uzunluğu üzerinde yüksek düzeyde anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ($F = 26.33$; $p <$

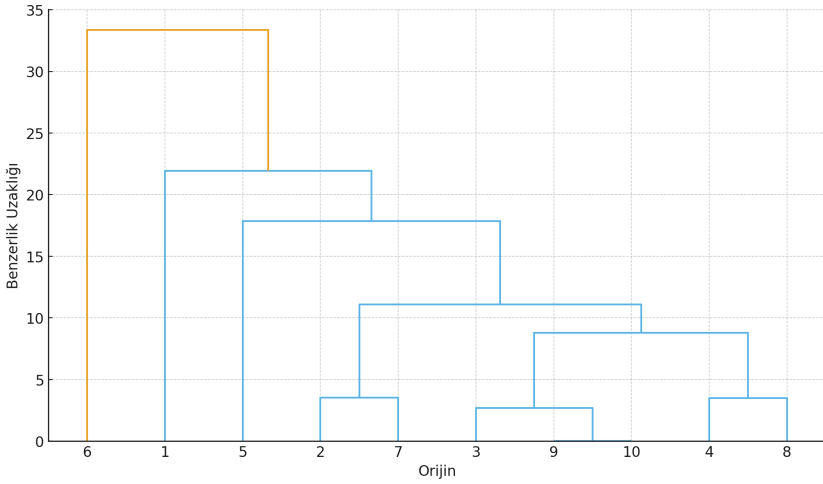
0.001). Bu bulgu, incelenen en az bir orijinin sürgün uzunluğu bakımından diğerlerinden farklı olduğunu göstermektedir. Farklılığın hangi orijinler arasında oluştuğunu ortaya koymak için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi, orijinlerin altı ayrı istatistiksel grupta toplandığını göstermiştir. Buna göre bazı orijinler birbirine benzer sürgün gelişimi gösterirken, özellikle 3, 4, 8 ve 9 numaralı orijinlerin yüksek sürgün performansı ile diğerlerinden ayrıldığı görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Orijinlere göre altı yıllık fidanlarda son yıllık sürgün uzunluğu

Şekil 2, orijinlere göre sürgün uzunluğu değerlerinin geniş bir değişkenlik sergilediğini ortaya koymaktadır. Bazı orijinlerde sürgün uzunlukları nispeten düşük değerlere yoğunlaşırken (ör. Orijin 1, 2, 6), bazı orijinlerde (ör. Orijin 3, 4, 8, 9) fidanların sürgün uzunluğunun belirgin şekilde yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Doğu ladininde genetik orijinin sürgün gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Orijinlerin sürgün tipi profillerine göre benzerliklerini ortaya koymak amacıyla yapılan hiyerarşik kümeleme analizi sonucunda, Doğu ladinini orijinlerinin üç ana grupta toplandığı belirlenmiştir (Şekil 3). Analizde Normal, Lammas, Proleptic ve Sylleptic sürgün tiplerine ait orijin bazlı yüzdelere kullanılmış ve Ward yöntemi ile oluşturulan dendrogram üzerinden küme sayısı üç olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Doğu ladini orijinlerinin sürgün tipi yüzdelerine göre hiyerarşik kümeleme analizine ait dendrogram

Şekil 3'ten de görülebileceği gibi birinci küme; Rize-İkizdere, Rize-Çamlıhemşin 1350-1650 m, Rize-Çamlıhemşin 1650-1950 m, Rize-Çamlıhemşin 1950-2250 m, Torul-Örümcek 1350-1650 m, Torul-Örümcek 1650-1950 m Artvin-Atilla 1050-1350 m ve Artvin-Taşlıca 1650-1950 m orijinlerinden oluşmuştur. Bu grupta Normal sürgün tipi baskın olup ortalama olarak %88.7 Normal, %8.1 Lammas, %1.6 Proleptic ve %1.6 Sylleptic sürgün bulunmuştur. Dolayısıyla bu küme, büyük ölçüde Normal sürgünün hakim olduğu, diğer sürgün tiplerinin ise düşük oranlarda görüldüğü daha "konservatif" bir sürgün gelişim stratejisini temsil etmektedir.

İkinci kümeyi tek başına 1 numaralı Trabzon-Çaykara orijini oluşturmıştır. Bu orijinde Normal sürgün oranı %77.5'e düşerken Lammas sürgün oranı %20'ye yükselmiştir. Diğer sürgün tipleri ise oldukça düşük düzeyde kalmıştır (yaklaşık %2.5 Sylleptic, Proleptic yok). Bu yapı, Trabzon-Çaykara orijininde özellikle lammas sürgün oluşumunun belirgin şekilde arttığını ve bu orijinin ikinci büyüme dalgasına (lammas büyümesi) daha yatkın bir sürgün gelişim stratejisine sahip olabileceğini göstermektedir.

Üçüncü küme ise yine tek başına 6 numaralı Torul-Kürtün (1350-1650 m) orijinden oluşmuştur. Bu orijinde Normal sürgün oranı %70'e kadar düşerken, Proleptic sürgünler %17.5 ve Sylleptic sürgünler %7.5 gibi diğer orijinlere göre oldukça yüksek oranlara ulaşmıştır. Lammas sürgün oranı ise yaklaşık %5 düzeyinde kalmıştır. Bu sonuçlar, Torul-Kürtün orijininin proleptic ve sylleptic sürgün oluşumunun belirgin şekilde arttığı, dolayısıyla tomurcuk dinlenmesi ve sürgün uzama dinamikleri

açısından diğer orijinlerden oldukça farklı, daha “reaktif” bir büyüme stratejisi sergilediğini göstermektedir.

Genel olarak, kümeleme analizi Doğu ladini orijinleri arasında sürgün tipi bileşimleri bakımından belirgin bir yapısal varyasyon bulunduğunu ortaya koymuştur. Birinci kümedeki orijinler, normal sürgün oranı bakımından yüksek ve lammas/proleptic/sylleptic oranları bakımından düşük olması ile daha dengeli ve tek periyotlu bir sürgün gelişimi örüntüsü sergilerken; Trabzon-Çaykara orijini lammas sürgünlerdeki artış, Torul-Kürtün orijini ise proleptic ve sylleptic sürgünlerdeki yüksek oranlar nedeniyle diğerlerinden ayrılmıştır. Bu bulgular, Doğu ladininde farklı coğrafik orijinlerin sürgün gelişim stratejilerinin, genetik yapı ve yetiştirme ortamı koşullarına bağlı olarak çeşitlendiğini ve özellikle lammas, proleptic ve sylleptic sürgünlerin orijinler arası adaptif farklılıkların önemli göstergeleri olabileceğini göstermektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğu ladini orijinlerinde sürgün tipi bileşiminin farklılık göstermesi, türün fenolojik gelişiminde genetik ve çevresel faktörlerin birlikte rol oynadığını ortaya koymaktadır. Araştırmada bazı orijinlerde normal sürgün oluşumunun baskın olması, diğerlerinde ise lammas, proleptic veya sylleptic sürgün gibi ikincil büyüme biçimlerinin daha yüksek oranlarda görülmesi, genç bireylerde büyüme stratejilerinin tek tip olmadığını, orijinlerin adaptasyon süreçlerine bağlı olarak çeşitlendiğini göstermektedir. Bulgular özellikle Torul-Kürtün orijininde proleptic ve sylleptic sürgün oranlarının yüksek, Trabzon-Çaykara orijininde lammas sürgünlerinin belirgin olması gibi ayırt edici desenler ortaya koymuştur. Bu durum, Doğu ladininde sürgün gelişiminin yalnızca tür düzeyinde değil, popülasyon düzeyinde de karmaşık ve esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Son yıllık sürgün boylarının orijinler arasında anlamlı düzeyde değişmesi, farklı orijinlerden gelen fidanların farklı büyüme potansiyellerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ancak sürgün boyu ile rakım arasındaki ilişki çalışmamızda doğrusal bir eğilim göstermemiş; hem yüksek hem de orta rakımlı orijinlerde farklı büyüme stratejilerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Özellikle bazı orta rakım orijinlerinde sürgün boylarının oldukça yüksek olması, büyüme sezonu uzunluğu, mikroklima ve genetik farklılıkların rakımdan bağımsız olarak güçlü bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte yüksek rakımlı orijinlerin bir kısmında sürgün uzunluklarının daha düşük olması, kısa büyüme sezonunun büyüme miktarını kısıtlayabileceğini bildiren literatür ile (Körner, 2012) uyumludur. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Doğu ladininde sürgün uzunluğunun rakıma karşı tek yönlü bir yanıt

vermediği; bunun yerine orijine özgü genetik yapı ile büyüme ortamının etkileşiminin belirleyici olduğu anlaşılmaktadır (Turna ve Güney, 2009).

Lammas sürgünlerinin özellikle Trabzon-Çaykara orijininde yüksek çıkması, bu orijinin yaz ortasında ikinci büyüme atağı yapabilme kapasitesinin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Lammas sürgünlerinin oluşumu çevresel koşulların yıl içindeki dalgalanmalarına oldukça duyarlıdır ve özellikle artan sıcaklıklar, yeterli nem ve uzun büyüme sezonu lammas sürgünlerini tetikleyen önemli faktörlerdir (Katrevis et al., 2018). Genç iğne yapraklılarda lammas sürgünlerinin sık görülmesi, özellikle üretim fidanlıklarında uygun yetiştirme koşulları sağlandığında, fidan boyunda hızlı artışa yol açabilmektedir (Cannell et al., 1976). Çalışmamızda lammas oranının belirli orijinlerde yüksek olması, bu bireylerin büyüme ritimlerinin çevresel faktörlere daha duyarlı olduğuna işaret etmektedir.

Lammas, proleptic ve sylleptic sürgünlerin toplam varyasyonu, orijinlerin büyüme stratejilerinin yalnızca çevresel koşullara değil, aynı zamanda genetik yapılarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nin farklı yükselti ve bakı koşulları, Doğu ladininde yıllık büyüme ritminin ve sürgün gelişim yollarının çeşitlenmesine neden olmaktadır. Bu sonuçlar, Doğu Ladininin iklim değişikliği karşısında gösterdiği fenolojik hassasiyeti ortaya koyan çalışmalarla da örtüşmektedir (Dogan Ciftci et al., 2024; Tüfekçioğlu et al., 2011).

Çalışmamız ayrıca hiyerarşik kümeleme analizinin orijinler arasındaki morfolojik ve sürgün tipi farklılaşmayı başarıyla ortaya koyduğunu göstermiştir. Normal sürgün ağırlıklı orijinlerin tek bir büyük kümede toplanması, klasik ve kontrollü bir büyüme ritminin bu popülasyonlarda baskın olduğunu göstermektedir. Buna karşın lammas veya proleptic sürgünleri belirgin olan orijinlerin ayrı kümeler oluşturması, popülasyonlar arası fenolojik farklılaşmanın köklü bir genetik altyapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgu, yüksek adaptasyon yeteneği olan türlerde coğrafik orijinlerin büyüme morfolojisi açısından anlamlı şekilde ayrıştığını ortaya koyan diğer çalışmalarla uyumludur (Hannerz ve Westin, 2000; Atar, 2022; Atar vd., 2023; Güney vd., 2023).

Doğu ladini fidanlarında belirlenen sürgün tipi varyasyonu, türün gençlik döneminde yüksek morfolojik plastisiteye sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda tüm orijinlerde normal sürgünlere ek olarak lammas, proleptik ve sınırlı düzeyde sylleptik sürgünlerin görülmesi, Doğu ladininin büyüme sezonu içinde birden fazla sürgün formu üretebildiğini ortaya koymuştur. Bu durum, özellikle nemli ve uzun büyüme sezonlarına sahip Doğu Karadeniz ekosistemlerinde yaz

sonu koşullarının büyümeyi tekrar uyarabilmesi ile ilişkilendirilebilir. Nitekim Musa Genç (1993), doğu ladini fidanlarında lammas ve proleptik sürgün oluşumunun özellikle Haziran sonrası dönemde çevresel koşullar elverişli olduğunda arttığını bildirmiştir. Bizim çalışmamızdaki tüm orijinlerde yaz sürgünlerine rastlanması, bu bulguyu destekler niteliktedir. Öte yandan *Picea sitchensis* üzerinde yapılan bir araştırmada Cannell ve Jones (1979), lammas sürgünleri ile yıl içinde herhangi bir dönemde ortaya çıkan serbest büyüme tipinin genetik olarak kontrol edildiğini ve farklı orijinlerin yaz sürgünü oluşturma eğilimlerinin belirgin biçimde değiştiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, çalışmamızda orijinler arasında sürgün tipi yüzdelerinin önemli ölçüde farklılık göstermesiyle uyumludur ve sürgün tipi oluşumunda genetik faktörlerin etkili olduğunu desteklemektedir.

Doğu ladininde sürgün tipi bileşimi, sürgün uzunluğu ve dallanma mimarisine ilişkin varyasyonun orijinler arasında belirgin olduğu, bu varyasyonun hem çevresel hem de genetik faktörlerin etkisiyle şekillendiği söylenebilir. Genç bireylerde sürgün mimarisinin bu denli çeşitlilik göstermesi, türün geniş ekolojik toleransının ve farklı yetiştirme ortamlarına uyumunun önemli bir göstergesidir. Ayrıca fidan üretimi, yetiştirme teknikleri ve genetik ıslah çalışmalarında orijin seçiminin kritik önem taşıdığı açıkça ortaya çıkmaktadır. (Güney & Turna, 2005; İnceer et al., 2009; Atar ve Turna, 2022). Özellikle lammas, proleptic ve sylleptic sürgünlerin yoğun olduğu orijinlerin fidanlıklarda hızlı büyüme potansiyeli taşıdığı; buna karşın daha düşük varyasyon gösteren orijinlerin düzgün form ve daha kontrollü büyüme ritmi sergileyebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle Doğu ladini plantasyonları ve gençlik bakımı çalışmalarında orijin seçimi, türün biyolojik özellikleri ve sürgün gelişim stratejileri dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu bağlamda fidan üretimi ve orman ağacı fidanlarının gelişimi açısından morfolojik karakterlerin, özellikle ıslah ve üretim programlarında değerlendirilmesi gerekmektedir (Atar 2021; Güney vd., 2023). Fidan boyu, gövde çapı, sürgün-kök oranı ve tomurcuk özellikleri gibi morfolojik parametrelerin, fidan kalitesini tanımlamada ve sahadaki büyüme ile yaşama performansını tahmin etmede yaygın olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Thompson, 1985; Grossnickle & MacDonald, 2018; Ivetić ve ark., 2016). Ayrıca tomurcuk boyu ve sürgün deformiteleri ile sonraki yıllardaki boy büyümesi ve gövde formu arasında anlamlı ilişkiler vardır (Thompson, 1985).

Bu çalışma, Doğu ladini fidanlarında sürgün tipi çeşitliliğinin belirgin düzeyde orijine bağlı olduğunu ve farklı sürgün tiplerinin oluşumunun hem genetik hem de çevresel faktörler tarafından şekillendirildiğini ortaya koymuştur. Normal sürgünlere ek olarak tüm orijinlerde yaz sürgünlerinin görülmesi, türün yüksek bir morfolojik esnekliğe sahip

olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu yaz sürgünlerinin uzunlukları ve görölme sıklıkları orijinler arasında önemli farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıklar, populasyonların büyüme stratejilerinde genetik temelli varyasyonun güçlü bir bileşen olduğunu ve her orijinin çevresel koşullara verdiği büyüme tepkisinin farklılaştığını göstermektedir. Dolayısıyla sürgün tipi kompozisyonuna dayalı bu varyasyon, hem fidan üretim tekniklerinin hem de ıslah programlarında orijin seçim stratejilerinin şekillendirilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, sürgün gelişim özelliklerinin doğru değerlendirilmesi, uygun orijinlerin belirlenmesi ve saha performansını yükseltmeye yönelik silvikültürel uygulamaların planlanması açısından temel bir araç niteliği taşımaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Atalay, İ. (1992). The ecology of the oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) and its role in the forest ecosystems of Turkey. *Forest Ecology and Management*, 45, 61–70.
- Atar, E., Atar, F., & Güney, D. (2023). *Carpinus orientalis* Mill. fidanlarının kalite özellikleri ve morfogenetik varyasyonlar. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(9), 1742–1750.
- Atar, F. (2021). Effects of altitude on some seedling quality characteristics of *Carpinus betulus* L. (common hornbeam) and *Carpinus orientalis* Mill. (oriental hornbeam). *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 257–265.
- Atar, F. (2022). Population variability of common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in the north-eastern part of Turkey according to the involucre morphology. *Şumarski list*, 146(11–12), 507–516.
- Atar, F., & Turna, I. (2018). Fruit and seedling diversity among sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) populations in Turkey. *Şumarski list*, 142(11–12), 611–619.
- Atar, F., Atar, E., Güney, D., & Turna, İ. (2024). Analyzing population diversity of common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in native habitats in Türkiye: A focus on leaf characteristics. *Austrian Journal of Forest Science*, 141(3), 173–194.
- Cannell, M. G. R., Thompson, S., & Lines, R. (1976). An analysis of inherent differences in shoot growth within some North temperate conifers. *New Phytologist*, 76(3), 955–972.
- Cannell, M. G. R., & Jones, R. C. (1979). Free or lammas growth and progeny performance in *Picea sitchensis*. *Silvae Genetica*, 28, 240–254.
- Collet, C., & Chenost, C. (2006). Using competition and light estimates to predict diameter and height growth of naturally regenerated beech seedlings growing under changing canopy conditions. *Annals of Forest Science*, 63(2), 121–131.
- Costes, E., Lauri, P.-É., & Regnard, J.-L. (2014). Bud structure, position and fate generate various branching patterns along shoots of closely related Rosaceae species: A review. *Frontiers in Plant Science*, 5, 666.
- Dogan Ciftci, N., Şahin, A. D., Yousefpour, R., & Christen, A. (2024). Effects of climate trends and variability on tree health responses in the Black Sea and Mediterranean forests of Türkiye. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 3969–3991.
- Genç, M. (1994). Shoot types in oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) seedlings. *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 18, 203–208.
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283.

- Güney, D., & Turna, İ. (2005). Doğu Ladini'nde (*Picea orientalis* (L.) Link) bazı morfolojik özelliklere bağlı olarak orijinler arası varyasyonlar. Ladin Sempozyumu Bildiriler Kitabı, I. Cilt, 20–22 Ekim 2005, Trabzon.
- Güney, D., Atar, F., Turna, İ., & Bayraktar, A. (2023). Morphogenetic variations of *Pinus sylvestris* L. seedlings depending on altitude. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 10(1), 80–89.
- Güney, D., Yahyaoglu, Z., Turna, İ., Bayraktar, A., and Atar, F., (2019). Genetic diversity in *Picea orientalis* (L.) Link Populations in Different Turkey, *Sumarsky*, 11–12: 539–547.
- Hannerz, M., & Westin, J. (2000). Growth cessation and autumn-frost hardiness in one-year-old *Picea abies* progenies from seed orchards and natural stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 309–317.
- Heide, O. M. (2003). High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiology*, 23(13), 931–936.
- Ivetić, V., Grossnickle, S. C., & Škorić, M. (2016). Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. *iForest – Bioosciences and Forestry*, 10, 99–107.
- İnceer, H., Güney, D., Hayırlıoğlu, S., Özcan, M., Turna, İ., & Üçler, A. Ö. (2009). Karyotype variation within some natural populations of oriental spruce (*Picea orientalis*) in Turkey. *Biologia*, 64(6).
- Katrevis, J., Neimane, U., Dzerina, B., Kitenberga, M., Jansons, J., & Jansons, A. (2018). Environmental factors affecting formation of lammas shoots in young stands of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) in Latvia. *iForest – Bioosciences and Forestry*, 11(6), 809–815.
- Kozłowski, T. T., & Greathouse, T. E. (1970). Shoot growth and form of pines in the tropics. *Unasylva*, 24(4), 15–24.
- Körner, C. (2012). *Alpine Treelines: Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits*. Springer.
- Moulia, B., & Fournier, M. (1997). Mechanics of the growing plant: regulation of form by tissue stress. *Annual Review of Plant Biology*, 48, 371–394.
- Nárovcová, J., & Nárovec, V. (2010). A trend of proliferation of proleptic shoots in partial populations of Scots pine. *Journal of Forest Science*, 56(12), 571–579.
- Owens, J. N., & Molder, M. (1979). Bud development in Douglas-fir and spruce species. *Canadian Journal of Botany*, 57(10), 1056–1070.
- Puntieri, J. G., Barthélémy, D., Martinez, P., Raffaele, E., & Brion, C. (1998). Annual-shoot growth and branching patterns in *Nothofagus dombeyi* (Fagaceae). *Canadian Journal of Botany*, 76(4), 673–685.
- Rossi, S., & Deslauriers, A. (2007). Effects of temperature on cambial activity and cell differentiation in conifers. *Tree Physiology*, 27(9), 1269–1276.
- Rossi, S., Deslauriers, A., & Anfodillo, T. (2003). Assessing the timing of cambial activity in conifers using microcoring. *Tree Physiology*, 23(14), 1249–1256.

- Souza, M. S., Puntieri, J. G., Barthélémy, D., & Brion, C. (2000). Bud content and its relation to shoot size and structure in *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser (Nothofagaceae). *Annals of Botany*, 85(4), 547–555.
- Thompson, B. E. (1985). Seedling Morphological Evaluation – What You Can Tell by Looking. In: Duryea, M. L. (ed.), *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Proceedings of Workshop, 16–18 October 1984, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.
- Turna, İ. (2004). Variation of morphological characters of Oriental spruce (*Picea orientalis*) in Turkey. *Biologia, Bratislava*, 59(4), 519–526.
- Turna, İ., Acar, C., Eroğlu, E., & Güney, D. (2005). Doğu ladini'nin dallanma geometrisi ve form gelişimi üzerine bir araştırma. In *Ladin Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (Cilt I, 20–22 Ekim 2005). Trabzon, Türkiye.
- Turna, İ., & Güney, D. (2009). Altitudinal variation of some morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 202–208.
- Tüfekçioğlu, A., Güner, S., & Tilki, F. (2011). Climate change and oriental spruce (*Picea orientalis* L.) ecosystems in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1–2), 101–106.
- Vitasse, Y., Lenz, A., & Körner, C. (2014). The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science*, 5, 541.
- Yahyaoglu, Z., & Genç, M. (Eds.). (2007). *Fidan standardizasyonu: Standart fidan yetiştirmenin biyolojik ve teknik esasları*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları No. 75, Isparta.

Bölüm 15

BİTKİ BESİN ELEMENTLERİNİN KÜLTÜR BİTKİLERİNDE ZARARLI BÖCEKLERE ETKİLERİ*

Erhan KOÇAK¹

¹ Erhan KOÇAK, Prof. Dr., ISUBÜ Ziraat Fakültesi -ISPARTA,
Orcid - 0000-0002-9882-6569

Giriş

Bilindiği üzere çok sayıda böcek türü bitkisel üretimde verim, kalite ve görünüm üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Fitofag böceklerin temel besini olan bitki besin elementleri, bitki büyümesi ve çoğalması için gerekli olan kimyasal elementlerdir. Bitkinin içerdiği bu elementlerin çeşitliliği ve konsantrasyonu, fitofag böcekler tarafından konukçu bitki seçiminde belirleyici olan temel özelliklerdir (Bernays ve Chapman 1994). Temel element, genellikle bir bitki besinini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bitki besinleri, mineral bileşimine, besin konsantrasyonuna ve fizyolojik işlevlerine göre sınıflandırılabilir. Bitkilerin karbondioksit ve sudan elde ettiği karbon, hidrojen ve oksijenin yanı sıra, bitkilerin büyümesi için birincil makro besinler (azot, fosfor ve potasyum), ikincil makro besinler (kalsiyum, magnezyum ve kükürt) ve mikro besinler (demir, mangan, çinko, bakır, bor, molibden, klor ve nikel) olmak üzere 14 besin temel olarak kabul edilir. Biyokütleleri genellikle bitkilere kıyasla çok daha yüksek konsantrasyonlarda element içeren fitofag böceklerin büyüme ve zindelikleri, çeşitli besin maddelerinin bitkide bulunma oranları tarafından etkilenmektedir (Boswell ve ark. 2008). Bu elementler, amino asitlerin, proteinlerin, enzimlerin, nükleik asitlerin, karbonhidratların ve lipidlerin ana bileşenleridir (Rattan ve Goswami, 2009). Böcekler, yapısal amaçlar, taşıma ve depolama enzimleri ve reseptör molekülleri olarak kullanılan proteinlerin üretimi için amino asitlere ihtiyaç duyarlar. Bazı amino asitler, morfogenez, kütikül sklerotizasyonu, görsel pigment sentezi, nörotransmitterler ve ayrıca bir enerji kaynağı olarak rol oynar. Karbonhidratlar, böcek kütikülünün bir parçasıdır ve yakıt olarak kullanılır, çoğu amino asit üretimi için yağlara dönüştürülür. Yağ asitleri, fosfolipitler ve steroller gibi lipidler, hücre duvarının bileşenleridir. Steroller, ekdizon sentezinde kullanılır. Sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klor ve fosfat gibi bazı inorganik bileşikler, hücrelerin işleyişinde ana elementlerdir ve böcek diyetinin temel bileşenleridir (Chapman, 2000).

Sokucu emici ağız yapısına sahip olarak özsu emen böceklerin çoğu, labium olarak bilinen ince ve esnek bir kılıf içinde bulunan mandibula ve maksillalardan oluşan oldukça gelişmiş ağız parçaları kullanan Hemiptera takımına aittir. Maksillalar, parankimi (örneğin bazı ergin öncesi kabuklbitler, Thysanoptera, birçok Heteroptera), floemi (örneğin çoğu yaprak biti, unlu bit, koşnil, yaprak piresi ve beyaz sinek) veya ksilem (örneğin tükürük böcekleri ve ağustos böcekleri) içine nüfuz eden iki iğne benzeri kanal (stilet) oluşturmak üzere birbirine geçmektedir (Gullan ve Crans-ton, 2010; Kirk, 1995).

Bitki besin maddelerinin uygulanmasıyla, bitki büyümesi ve dolayısıyla ürün verimi artmaktadır. Bununla birlikte, iyileştirilmiş vejetatif büyüme, bitki dokusunun besin seviyesini değiştirerek bitkiyi zararlı sal-

dırılarına ve tahribatına karşı daha çekici hale getirebilir (Gogi ve ark., 2012). Bitki besin yönetimi uygulamaları, bitki verimliliğini olumsuz etkilemeden bitkilerin zararlılara karşı duyarlılığını önemli ölçüde etkileyebilir (Rouhani ve ark., 2012). Besin yönetimi bitki sağlığını iyileştirerek bitkinin otçulların -emici ve çiğneyici böcek zararlılarının- etkilerini tolere etmesini sağlar (Gogi ve ark., 2012). Yani, konukçu bitki kalitesinin böceklerin popülasyonunu, hayatta kalma oranlarını, çoğalmalarını ve yaşam sürelerini etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, gübreleme böceklerin yayılışını ve popülasyon dinamiklerini de ciddi şekilde etkilemektedir (Dixon 1987). Çalışmalar, mineral besin maddelerinin bitki stres direncinde kritik bir rol oynadığını (Kant ve ark., 2002; Marschner, 2011), yeterli besine sahip bitkilerin daha güçlü, daha sağlıklı olduğunu ve genel olarak zararlıların verdiği zararı besin eksikliği çekenlere göre daha iyi telafi edebildiğini göstermektedir (Teetes, 1980; Listinger, 1993). Bu derlemede bitki besin elementlerinin özellikle böceklerin biyolojisi ve zarar yapma derecelerine olan etkileri ele alınmıştır.

Bitki Besin Elementlerinin Bitki ve Böceklerin Gelişimine Etkileri

Azot (N), böceklerin ihtiyaç duyduğu başlıca besin maddesidir ve çoğu durumda böceklerin optimum büyümesi için ana faktördür (Ros-tami ve ark. 2012). N, böceklerin büyümesini sınırlandıran en önemli elementtir. Yaprak azot içeriği, birçok böcek için bitki kalitesini değerlendirmek için uygun bir göstergedir, çünkü çoğu herbivor böcek genellikle besin olarak yüksek azot içeriğine sahip bitkileri tercih etmektedir. Bitkilere azot uygulanması, bitki biyokimyasını değiştirir ve bu da otçul böceklerin, özellikle de sokucu-emici ağız yapısına sahip böceklerin yüksek oranda görülmesine yol açmaktadır (Jansson ve ark., 1991; Firidin ve ark., 2013). Çünkü azot artışı, böcekleri çekebilecek proteinlerin, serbest amino asitlerin ve şekerlerin biyosentezini veya birikimini arttırmaktadır. Azotlu gübre uygulaması, bitki dokularındaki besin seviyelerini değiştirerek herbivor böceklerle karşı bitki direncini önemli ölçüde azaltarak, böceklerin beslenme tercihlerini, besin tüketimini, hayatta kalma oranlarını, büyümelerini, üremelerini ve popülasyon yoğunluklarını artırabilir (Cipollini ve ark., 2002; Biswas ve ark., 2009). Nitratın (NO_3^-) aşırı kullanımı lignin konsantrasyonunu azaltarak bitkilerin böceklerle karşı duyarlılığını artırabilir (Torres-Oliver ve ark., 2014). Bitkilerin fazla azot uygulamasını metabolize etmeleri için karbon (C) gerekmektedir ve bu da Krebs döngüsünden fenoller ve kinonlar gibi ikincil bileşiklerin sentezi için az miktarda C kalmaktadır. Fenolik bileşikler, birçok savunma mekanizmasının temeli olarak konukçu/zararlı ilişkisinde önemli rol oynarlar. Bu bileşikler fitoaleksinler veya lignin ve süberinin öncülleri olarak işlev görürler; bu da yapraklarda ve gövdelerde böcek saldırılarına karşı mekanik bariyer görevi görmektedir (Imas, 2013).

Bitki zararlısı böceklerin, konukçu bitkilerine kıyasla çok daha yüksek bir azot ve fosfor içeriği vardır; bu da besin gereksinimlerinin karşılanmasında doğal kısıtlamalar yaratan bir element uyumsuzluğu olarak ortaya çıkmaktadır (Huberty ve Denno, 2006). Fosfor, fenolikler ve terpenler gibi ikincil metabolitleri değiştirerek ve fenoliklerin (tanen, lignin) birikmesiyle çeşitli böceklerle karşı konukçu bitki uygunluğunu azaltmakta ve caydırıcı (beslenmeyi önleyici) veya doğrudan toksik (böcek öldürücü) etkilere sahip bir bariyer görevi görmektedir (Facknath ve Lalljee, 2005). Fosfor (P), nükleotidlerin, koenzimlerin ve fosfolipitlerin metabolizmasındaki rolü nedeniyle bitkilerde çeşitli biyokimyasal süreçleri değiştirir (Clarke, 1982). Nükleik asitlerin ve ATP gibi yüksek enerjili fosfat bileşiklerinin oluşumuna yardımcı olan fosfatların merkezi atomudur. Herbivor böcekler için fosfor, azot kadar sınırlayıcı olarak kabul edilmemiştir. Ancak birkaç çalışma, fosforun hayatta kalma oranını, doğurganlığı, vücut boyutunu, yumurtlama tercihini, büyüme hızını ve popülasyon yoğunluğunu etkileyebileceğini öne sürmüştür. Sınırlılığı, hücresel işlev ve nihayetinde tüketicilerin büyüme hızı üzerinde ciddi sonuçlar doğurabilir (Huberty ve Denno, 2006).

Potasyum, kökler tarafından biriktirilen ve bitkinin her yerine dağılan önemli bir bitki besinidir. (Zorb ve ark., 2014). Böceklerle karşı direnç gelişimi de dahil olmak üzere önemli bir fizyolojik rol oynamaktadır. Aşırı N ve az K ile beslenen bitkilerin yumuşak dokuları, emici ve çiğneyici böceklerle karşı çok az dirençlidir. K eksikliği yaşayan bitkilerde oluşan sarımsı renk, yaprak bitlerini çekmek için bir sinyal görevi görmektedir (Imas, 2013; Liu ve ark., 2013). Oysa yüksek potasyum seviyeleri sekonder metabolitleri artırabilir, karbonhidrat birikimini azaltabilir, bazı amino asitlerin eliminasyonunu sağlayabilir, yapraklardaki silika içeriğini artırabilir ve böceklerden kaynaklanan zararı önleyebilir (Krauss, 2001; Facknath ve Lalljee, 2005). Potasyum bitkilerde daha güçlü kütikula, daha güçlü hücre ve epidermis duvarları, daha iyi sklerenkimatik dokuların oluşumu, lignifikasyonun ve silisleşmenin uyarılması, daha kalın ve daha sert gövdeleri kapsayan bitki yapılarını sertleştirme eğilimindedir. Bunların sonucunda genellikle böceklerin, özellikle de sokucu-emici böceklerin beslenmesine karşı mekanik direnci artırdığı düşünülmektedir (Perre-noud, 1977).

Birincil makro besin elementlerinin yanı sıra bazı ikincil makro besin elementlerinden Kalsiyum ile mikro besin elementlerinden Çinko ve Kü-kürt de zararlı popülasyonunu azaltan etkilere gösterebilmektedirler. Bu etkilere alkaloidler, glukositler gibi toksik metabolitlerin üretimiyle antibiyozis etkilerinin oluşması ve temel besin maddelerinin yeterliliğinin sağlanması şeklinde açıklanabilir. Mikroelementler protein (Alizamani vd. 2020), nükleik asit, makromolekül metabolizması, hücre bölünmesi, bitki

büyüme hormonları ve bitkilerde azotlu bileşiklerin transferi (Hansch ve Mendel 2009; Khosa vd. 2011) dahil olmak üzere metabolik yolları etkilerler. Bu nedenle, mikrobelerin bitkilerin biyokimyasal bileşimini değiştirdiğinden herbivor böceklerin sindirim enzimlerini, metabolizmasını ve antioksidan savunmasını etkileyebilmektedir (Babaei vd., 2017).

Bitki besin elementlerinin böceklere etkileri konusunda yapılmış çalışmalar (Luna, 1988; Vinay Singh ve Sood, 2017; Al-Khazraji ve ark., 2018; Bala ve ark., 2018; Tripathy ve Rath, 2019; Jun Wang vd., 2021; Zeng ve ark., 2021; Munthali, 2023; Javed ve ark., 2025) Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Bitki besin elementlerinin böceklere etkileri

Bitki Besin Elementi	Böceğin Takımı ve Familyası	Böcek Türü	Böceğe Etki
Azot (N)	Hemiptera: Aphididae	<i>Aphis gossypii</i>	Yüksek N seviyeleri, jenerasyon süresini önemli ölçüde kısaltmış ve doğurganlığı artırmıştır. Bitkiye gelen ergin sayısı artmış ancak nimf sayısı azalmıştır. Düşük N seviyesinde sokup-eme aralığında geçen dinlenme süreleri azalmıştır ve daha uzun süre floemden beslenme pozisyonunda kalmışlardır.
		<i>Myzus persicae</i>	Yaprak biti popülasyonu, en düşük N dozunda sabit kalmış, dozlarda zamanla artmış, en yüksek N dozunda ise azalmıştır. Zararın başlamasından dört hafta sonra, yaprak biti sayısı N dozuna parabolik bir tepki göstermiştir.
		<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Düşük azot içeriğine sahip gübrelenmemiş bitkilerde yaprak biti performansı önemli ölçüde daha düşük olmuş, azot konsantrasyonunun artmasıyla doğurganlık ve hayatta kalma arasında pozitif bir ilişki meydana gelmiştir.
		<i>Metopolophium dirhodum</i>	Uzun ömürlülüğün etkilenmediği, ancak kalıtsal üreme kapasitesinin ve doğurganlığının yüksek N seviyesinde arttığı görülmüştür.
		<i>Brevicoryne brassicae</i>	Daha yüksek dozlar popülasyonda artışa neden olmuştur.
		<i>Sitobion avenae</i> ve <i>Rhopalosiphum padi</i>	Her iki türün doğurganlığı ve uzun ömürlülüğü de N uygulamasıyla pozitif korelasyon göstermiştir. <i>R. padi</i> 'de N-gübre olgunluğa ulaşma süresini kısaltırken, <i>S. avenae</i> 'de aynı etkiyi göstermemiştir.
		<i>Schizaphis graminum</i>	Yüksek N, net üreme oranı, popülasyonun iki katına çıkma süresi, döş verme süresi ve kalıtsal üreme kapasitesinin daha yüksek olmasına neden olmuştur. Ayrıca kanatsız birey sayısı çok fazla artmıştır.
		<i>Hysteronura setariae</i>	Artan N, hayatta kalma oranının, doğurganlığın ve kalıtsal üreme kapasitesinin artmasına yol açmıştır.
		<i>Lipaphis erysimi</i>	Artan N, popülasyonu artırmıştır.
		<i>Siphia flava</i>	Artan N, popülasyonu artırmıştır.
		<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Daha yüksek N'de beslenme sonucu yumurtlama süresi, dağılım, ergin öncesi dönemlerin hayatta kalması, yumurta ve nimf sayılarının yükseldiği görülmüştür. Ayrıca yumurta ve nimf dönemlerinin kısalması ve balı madde miktarında artış meydana gelmiştir.
		<i>Bemisia argentifolii</i>	Artan N ile ergin öncesi dönemler ile ergin sayısı artmıştır.
		<i>Bemisia tabaci</i>	N artışı ile popülasyonda artış meydana gelmiştir.
		<i>Planococcus citri</i>	Yüksek N, yumurta paketi sayısını ve paket büyüklüğünü artırırken gelişme süresini kısaltmıştır.
		<i>Planococcus ficus</i>	N gelişme süresini kısaltırken canlı kalma oranını da artırmıştır.
	Hemiptera: Psyllidae	<i>Cacopsylla pyricola</i>	Psylla popülasyonları, yüksek N uygulaması sonucu daha fazla artmıştır.

Fosfor (P)	Hemiptera: Cicadellidae	<i>Amrasca devastans</i> <i>Empoasca decipiens</i>	En yüksek N oranı, yaprak başına en yüksek ortalama popülasyonla sonuçlanmıştır.
	Hemiptera: Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i> <i>Sogatella furcifera</i>	Daha yüksek N ile daha yüksek popülasyon yoğunluğu meydana gelmiştir. Daha yüksek N ile daha yüksek popülasyon yoğunluğu meydana gelmiştir.
	Thysanoptera: Thripidae	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Azot seviyeleri ile <i>S. furcifera</i> varlığı arasında pozitif korelasyon saptanmıştır. Popülasyon, daha yüksek oranda azotlu gübreleme alan konukçularda artmıştır. Daha yüksek gübreleme oranları, trips popülasyonlarının zirve yaptığı dönemde daha yüksek azot içeriğine sahip çiçeklerin yanı sıra aminoasit profillerinde de farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Ergin dişilerin fazlalığı, popülasyon pikleri sırasında çiçeklerdeki fenilalanin konsantrasyonlarıyla yüksek oranda ilişkili bulunmuştur.
		<i>Aphis gossypii</i>	Yüksek P uygulanan bitkiler daha fazla tercih edilmiştir. Nimf sayısı da daha fazla olmuştur. Düşük P seviyesinde ise afidelerin beslenme süresi kısalmıştır.
	Hemiptera: Aphididae	<i>Myzus persicae</i> <i>Macrosiphum euphorbiae</i> <i>Lipaphis erysimi</i> <i>Therioaphis maculata</i>	P uygulamalarında önemli ölçüde daha yüksek popülasyon yoğunluğu meydana gelmiştir. Yaprakbitinin farklı performans parametrelerini olumlu yönde etkilemiştir. Popülasyonu azaltmıştır. Popülasyonu arttırmıştır.
	Hemiptera: Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	P uygulaması böceğin görülme sıklığını azaltmıştır.
	Hemiptera: Cicadellidae	<i>Empoasca dolichi</i>	Popülasyon yoğunlukları ve zararı azalmıştır.
	Hemiptera: Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i>	P artışına paralel olarak popülasyon yoğunluğunda artış olmuştur.
	Thysanoptera: Thripidae	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Popülasyonda artış meydana gelmiştir.
		<i>Aphis craccivora</i> <i>A. glycines</i>	Yüksek konsantrasyonlarda zarar azalmıştır. Orta ve yüksek K uygulamalarına kıyasla düşük orandaki uygulamalarda popülasyonunun kalıtsal üreme kapasitesi ve net üreme gücü daha fazla olmuştur.
Potasyum (K)	Hemiptera: Aphididae	<i>A. gossypii</i> <i>Lipaphis erysimi</i> <i>Myzus persicae</i> <i>Sipha flava</i>	Optimum K seviyesinde bitkiye gelen birey sayısı ve akabinde nimf sayısı artarken çok düşük ve çok yüksek K seviyelerinde ise bitkiye gelen birey sayısında ciddi düşüşler olmuştur. Nimf sayısı da yüksek K seviyesinde önemli ölçüde azalmıştır. K uygulaması popülasyonda düşmeve neden olmuştur. Yüksek dozlarda bitki başına düşen yaprak biti sayısı azalmıştır. Popülasyon K uygulamalarından etkilenmemiştir.

	Hemiptera: Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	Normal K uygulamasında popülasyonun etkilenmediği ancak yüksek dozlarda popülasyonda düşme görülmüştür.
	Hemiptera: Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i>	K ile böceğin bitkide bulunması arasında negatif bir ilişki saptanmıştır. Yüksek doz uygulamalarda böceğin kuru ağırlığı da azalmıştır. Yapraklardaki düşük K seviyesiyle birlikte yumurta bırakma görülmüştür.
	Thysanoptera: Thripidae	<i>Thrips tabaci</i>	Nimf yoğunluğu azalmıştır.
Kükürt (S)	Hemiptera: Aphididae	<i>Brevicoryne brassicae</i>	S, böceğin üreme indeksini düşürmüştür.
	Hemiptera: Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i>	Kükürt uygulamasıyla böceğin mevcudiyetinde ciddi bir azalma görülmüştür.
Çinko (Zn)	Hemiptera: Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i>	Zn ile böceğin bitkide bulunması arasında negatif bir ilişki saptanmıştır.
	Hemiptera: Delphacidae	<i>Sogatella furcifera</i>	Farklı formda Zn uygulamaları popülasyonu ciddi oranda düşürmüştür.
Kalsiyum (Ca)	Hemiptera: Aphididae	<i>Aphis gossypii</i>	Optimum Ca içeren bitkilere kıyasla yetersiz Ca içeren bitkilere yerleşmeyi önemli ölçüde tercih etmişler, nimf sayısı üzerinde ise herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.
	Hemiptera: Psyllidae	<i>Myzus persicae</i>	Nimf sayısı azalmıştır.
	Hemiptera: Psyllidae	<i>Agonosoma pistaciae</i>	Fekondite olumsuz etkilenmiştir.
	Thysanoptera: Thripidae	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Daha uzun gelişme süresi, daha kısa ergin ömrü ve daha düşük fekondite meydana gelmiştir. İlave, net üreme oranı, döş verme süresi ve kalıtsal üreme kapasitesi daha düşük olmuştur.
Magnezyum (Mg)	Hemiptera: Aphididae	<i>Aphis gossypii</i>	Erginler optimum Mg içerenlere kıyasla aşırı Mg içeren bitkilere önemli ölçüde daha fazla tercih etmiş ancak nimf sayısında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Burada tartışılan bitki besin maddeleri arasında, Azot gübrelemesinin tüm hemipteran böceklerinin büyümesi ve gelişimi üzerinde çok açık ve önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Yüksek N dozları, farklı beyaz sinek türlerinin yumurtlama, bolluk ve hayatta kalma oranını artırır. Farklı yaprak biti türleri üzerinde yapılan çalışmalar da yüksek N seviyesinin ağırlığı, boyutu, doğurganlığı, üreme gücünü artırdığını ve düşük ortalama nesil süresini ortaya koymuştur. Ayrıca yaprak bitleri, bitki zararlıları, psillidler, unlu bitler ve kabuklu bitler gibi diğer hemipterlerde N seviyesi ile popülasyon yoğunluğu, bitkilere verilen zarar, birey sayısı, boyut, yumurtlama vb. arasında pozitif bir korelasyon gözlemlenmiştir. Özellikle sentetik Azotlu gübre uygulamasının, bitki direncini azaltarak daha ciddi herbivor böceklerin ortaya çıkmasına ve üründe bu böceklerden kaynaklanan zarara yol açmıştır. Bitkilerdeki düşük Azot içeriğinin zararlılara karşı bitki direncini arttırdığını, ancak yüksek Azot içeriğinin zararlılara karşı direncin azalmasıyla birlikte güçlü büyümeye neden olduğunu bildirmiştir (Bi ve ark., 2001; Ge ve ark., 2003). Ahmed ve ark., (2007), en yüksek Azot uygulamalarının yaprak başına en yüksek ortalama jassid, beyaz sinek ve trips popülasyonuna yol açtığını bulmuştur.

Öte yandan potasyum, emici zararlıların büyümesi ve gelişimi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Daha yüksek K seviyeleri, yaprak bitleri ve beyaz sinek popülasyonlarında, görülme sıklığı, kalıtsal üreme kapasitesi ve net üreme gücünde düşüşe neden olur. Dolayısıyla, zararlı saldırılarına karşı bitki direncinde son derece önemli olduğu söylenebilir. Ata ve ark. (2022) mısır bitkisinde hiç K uygulaması yapılmayan bitkilere kıyasla yüksek doz K uygulaması sonucu Aphididae, Cicadellidae ve Delphacidae familyalarından toplam 10 türün popülasyonlarında ciddi düşüşler meydana geldiğini saptamışlardır. Topraktan uygulama sonucu gelen potasyum iyonunun bitki dokularındaki bir dizi fizyolojik, metabolik ve hormonal süreci etkilemesinin, bitkilerin patojenlere ve böceklerle karşı duyarlılığı veya direnci açısından kritik öneme sahip olması muhtemeldir. Potasyum gübresi uygulaması, *Aphis glicynes* oluşumuyla negatif ilişkilidir. Potasyum ile gübreleme, bitki dokularındaki birincil metabolitlerin profili ve dağılımı üzerinde derin bir etkiye sahiptir ve bu da bitkinin böcekler ve patojenler için çekiciliğini ve sonraki büyüme ve gelişimini etkileyebilir. Potasyum eksikliği, protein, nişasta ve selüloz sentezinin azalmasına ve amino asitler, nitrat, çözünür şekerler ve organik asitler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin birikiminin artmasına neden olur. Bu düşük molekül ağırlıklı bileşikler, emici böcekler tarafından besin kaynağı olarak daha kolay kullanılır. Bu nedenle, başka bir deyişle, Potasyum eksikliği tek başına daha yüksek böcek saldırısıyla ilişkili olmayabilir, ancak Potasyum eksikliğinin bitkiler üzerindeki sonraki etkisi, bitkilerin emici böcekler

tarafından daha kolay saldırıya uğramasına neden olmaktadır (Amtmann ve ark., 2007). Bu durum, düşük Potasyum verimliliğinin, amino asit serinin yüksek yaprak seviyeleri ve daha yüksek yaprak biti istilasıyla ilişkili olduğunu bildiren (Walter ve DiFonzo, 2007) tarafından daha iyi açıklanmıştır. Vaithillingan ve Baskaran (1983), Potasyum seviyesindeki artışın, muhtemelen bazı pirinç çeşitlerinde daha fazla fenol birikimine yol açarak böceğe direncin artmasına katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1'e bakıldığında, Fosforun farklı böcek türlerinde zıt sonuçlar verdiği görülmektedir. Skinner ve Cohen (1994) yüksek Fosfor seviyelerinin daha yüksek böcek seviyeleriyle ilişkili olduğunu, Waring ve Cobb (1992) ise Fosforun genellikle sokucu-emici böcekleri etkilemediği (yaklaşık %48) veya onları olumlu yönde etkilediği (yaklaşık %38) sonucuna varmışlardır.

Diğer makro ve mikro besin maddelerinin bu konulardaki rolü hakkında çalışmalar daha azdır. Dolayısıyla bunların böceklerle karşı bitki direncinde rollerinin olup olmadığı daha fazla sayıda çalışmayla belirlenmelidir. Ayrıca bitki besin elementlerinin karışımları konusunda yapılan çalışma sayıları da oldukça düşüktür. Shafeek ve ark. (2014), Fe, Mn ve Zn karışımı uygulanan acı biber bitkilerindeki böcek ve akar popülasyonlarının en düşük sayıda olduğunu ve bitki büyümesinin en iyi durumda olduğunu bildirmektedirler. Benzer şekilde P, Ca ve Zn karışımının çiçek thrips'i yoğunluğunu etkili şekilde azalttığı belirlenmiştir (Hossain ve ark., 2021).

Mevcut ve daha fazla yapılacak olan çalışmalardan elde edilecek bilgiler, bitki beslemeyi düzenleyerek bitkilerde zararlı böceklerinin yönetiminde kullanılabilir. Gerekli tüm besinleri dengeli bir şekilde alan bitkilerin böceklerle karşı daha dirençli olduğu gösterilmiştir. Bunun yanında öne çıkabilecek elementler de değerlendirilmelidir. Bu, durum özellikle kimyasal mücadele uygulamalarına olan ihtiyacı azaltabilir ve diğer mücadele uygulamalarıyla da entegre edilebilir.

Kaynaklar

- Ahmed, S., Sabir, S., & Ali, C. M. (2007). Effect of different doses of nitrogen fertilizer on sucking insect pests of cotton, *Gossypium hirsutum*. *Journal of Agricultural Research (JAR)*, 45(1), 43-48.
- Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talaei, M., Zibaei, A., & Serrão, J. E. (2020). Direct interaction between micronutrients and bell pepper (*Capsicum annuum* L.), to affect fitness of *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Plant Protection Research*, 60(3), 253-262.
- Amtmann, A., Troufflard, S., & Armengaud, P. (2007). *Effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants* (No. 610, pp. 1-20).
- Al-Khazraji, H. I., Abed, N. S., Al-Mharib, M. Z., & Al-Darraj, S. (2018). Effect of potassium fertilization and organic nutrient (Reef Amirich) in the population density of *Bemisia tabaci* (Genn.) and *Thrips tabaci* (L.) on cucumber. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 12(2), 11-18.
- Ata, T., Awadalla, S. S., El-Kady, H. A., & Hegab, M. A. M. (2022). Effect of Potassium Fertilization on The Main Piercing-Sucking Insect Species Infesting Maize Plants. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 13(10), 255-259.
- Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 381-389.
- Bala, K., Sood, A. K., Pathania, V. S., & Thakur, S. (2018). Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 2737-2742.
- Bernays, E.A. & Chapman, R.F. (1994). *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. New York: Chapman & Hall, 95-165.
- Bi, J. L., Ballmer, G. R., Hendrix, D. L., Henneberry, T. J., & Toscano, N. C. (2001). Effect of cotton nitrogen fertilization on *Bemisia argentifolii* populations and honeydew production. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99(1), 25-36.
- Biswas, S., Mahato, B., Panda, P. & Guha, S. (2009). Effect of different doses of nitrogen on insect pest attack and yield potentiality of Okra, *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench at terai ecology of West Bengal. *Journal of Entomological Research*, 33(3): 219-222.
- Boswell, A.M., Provin, T. & Behmer, S.T. (2008). The relationship between body mass and elemental composition in nymphs of the grasshopper *Schistocerca americana*. *Journal of Orthoptera Research*, 17:307-313.
- Chapman, R.F. (2000) *The Insects: Structure and Function*. New York: Cambridge University Press. Chapter 4, Nutrition; p. 69-93.
- Cipollini, M.L., Paulk, E. & Cipollini, D.F. (2002) Effect of nitrogen and water treatment on leaf chemistry in horsenettle (*Solanum carolinense*), and relationship to herbivory by flea beetles (*Epitrix* spp.) and tobacco

- hornworm (*Manduca sexta*). *Journal of Chemical Ecology* 28(12): 2377-2398.
- Clarke, R.B. (1982) Plant response to mineral element toxicity and deficiency. In: *Breeding Plants for Less Favorable Environments*, [Christiansen MN and Lewis CF, editors]. John Wiley, Sons; p. New York 71–142.
- Dixon, A.F.G. (1987). Parthenogenesis reproduction and the rate of increase in aphids. In: *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, [AK Minks and P Harrewijn, eds.] Elsevier; Netherland: p. 269–287.
- Facknath, S., & Lalljee, B. (2005). Effect of soil-applied complex fertiliser on an insect–host plant relationship: *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 115(1), 67-77.
- Firidin, B., Yanar, O. & Yilmaz, H. (2013) Food balancing mechanisms of herbivore insects. *Derleme* 6(2): 103-105.
- Ge, F., Liu, X., Li, H., Men, X., & Su, J. (2003). Effect of nitrogen fertilizer on pest population and cotton production. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 14(10), 1735-1738.
- Gogi, M.D., Arif, M.J., Asif, M., Zain-ul-Abdin, Bashir, M.H., Arshad, M. and Khan, M.A. *et. al.* (2012). Impact of nutrient management schedules on infestation of *Bemisia tabaci* on and yield of non-bt cotton (*Gossypium hirsutum*) under unsprayed condition. *Pakistan Entomologist*, 34(1): 87-92.
- Hansch, R., Mendel, R.R. (2009) Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion Plant Biology*, 12:259–266.
- Hossain, M. A., Haque, M. A., & Rahman, M. M. (2024). Foliar application of commercially available micro and macronutrients for the management of flower thrips and pod borers of mung bean. *Serangga*, 29, 44-58.
- Huberty, A. F., & Denno, R. F. (2006). Consequences of nitrogen and phosphorus limitation for the performance of two planthoppers with divergent life-history strategies. *Oecologia*, 149(3), 444-455.
- Imas, P. (2013) Potassium: the Quality Element in Crop Production.: International Potash Institute. Switzerland
- Jansson, J., Leibee, G.L., Sanches, C.A. & Lecrone, S.H. (1991) Effects of nitrogen and foliar biomass on population parameters of cabbage insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 61: 7–16.
- Javed, M. W., Hussain, D., Zubair, M., Hafeez, F., Malik, M. K., Aslam, A., & Ali, I. (2025). Sulphur-mediated plant resistance elicits phenolic defense in canola to reduce aphid reproduction and improve crop yield in canola. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 58(7), 389-412.
- Kant, S., Kafkafi, U., Pasricha, N., & Bansal, S. (2002). Potassium and abiotic stresses in plants. *Potassium for sustainable crop production*. Potash Institute of India, Gurgaon, 233, 251.
- Khosa, S.S., Younis, A., Rayit, A., Yasmeen, S., & Riaz, A. (2011) Effect of foliar application of macro and micronutrients on growth and flowering of *Gerbera jamesonii* L. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 11:736–757

- Kirk, W. D. (1995). Feeding behavior and nutritional requirements. In *Thrips biology and management* (pp. 21-29). Boston, MA: Springer US.
- Krauss, A. (2001) Potassium and biotic stress. In: The 1st Fauba Fertilizer. IPI. Workshop on potassium in Argentina's agricultural system, Buenos Aires, Argentina.
- Litsinger, J. A. (2019). A farming systems approach to insect pest management for upland and lowland rice farmers in tropical Asia. In *Crop protection strategies for subsistence farmers* (pp. 45-101). CRC Press.
- Liu, J.L., Zhang, H.M., Chen, X., Yang, X. & Wu, J.C. (2013) Effects of rice potassium level on the fecundity and expression of the vitellogenin gene of *Nilaparvata lugens* (Stal) (Hemiptera: Delphacidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 16: 411-414.
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press. London, UK, 178-189.
- Munthali, C. (2023). Impact of nutrient biofortification as a crop nutrient management strategy against insect pest infestation in potato (*Solanum tuberosum* L.). Doctoral Dissertation Graduate School of Animal Science, 89 pages.
- Perrenoud, S. (1977). *Potassium and plant health* (No. 3, pp. 218-pp). Berne: International Potash Institute.
- Rattan, R.K. & Goswami, N.N. (2009) Fundamentals of Soil Science. Indian Society of Soil Science. New Delhi.
- Rostami, M., Zamani, A.A., Goldasteh, S., Shoushtari, R.V. & Kheradmand, K. (2012). Influence of nitrogen fertilization on biology of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) reared on *Chrysanthemum indicum* (Asteraceae). *Journal of Plant Protection Research*, 52(1): 118-121.
- Rouhani, M., Samih, M.A. & Esmailizadeh, M. (2012) Evaluation of effects of two spring applications of micronutrients on the population density of common pistachio psylla (*Agonoscena pistaciae*) in pistachio orchards. *Journal of Plant Protection Research*, 52(3): 314-318.
- Shafeek, M.R., Ellaithy, A.Y.M. & Helmy, Y.I. (2014). effect of biofertilizer and some microelements on insect and mite pest infestation, growth, yield and fruit quality of Hot Pepper (*Capsicum annum*, L.) grown under plastic house conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4): 1022-1030.
- Skinner, R. H., & Cohen, A. C. (1994). Phosphorus nutrition and leaf age effects on sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) host selection. *Environmental Entomology*, 23(3), 693-698.
- Tan, Z.Q., Ai, T.C., Lu, X.Z., Cai, Q.N. & Liu, C. (2012). Influences of soil fertility on spatial patterns of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) occurred in Bt-cotton plants. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(6): 377-382.
- Teetes, G. (1980). Breeding sorghums resistant to insects. In: Maxwell, F., Jennings, P. Eds., *Breeding Plants Resistant to insects*. Wiley, New York, 457-485.

- Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O.G., Domínguez-Patino, M.L., Sotelo-Naval, H., *et al.* (2014). Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4: 29-37.
- Tripathy, S. & Rath, L. K. 2019. Non-preference mechanism of induced resistance in rice to white backed plant hopper through application of zinc. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7, 1240–1243.
- Vaithilingan, C. & Baskaran, P. (1983). Pyramiding of certain traits of insect resistance in some rice varieties with K flooding. *Proc. Rice. Pest Mgt. TNAU, Coimbatore. India.*
- Vinay Singh, V. S., & Sood, A. K. (2017). Plant nutrition: a tool for the management of hemipteran insect-pests-a review. *Agricultural Reviews*, 38(4): 260-270.
- Walter, A. J., & Difonzo, C. D. (2014). Soil potassium deficiency affects soybean phloem nitrogen and soybean aphid populations. *Environmental Entomology*, 36(1), 26-33.
- Waring, G.L. & Cobb, N.S. (1992). The impact of plant stress on herbivore population dynamics. In E.A. Bernays ed., *Plant insect interactions*, Boca Raton, FL: CRC Press, 4:167-226.
- Zeng, G., Zhi, J. R., Ye, M., Xie, W., Zhang, T., Li, D. Y., ... & Cao, Y. (2021). Life table and preference choice of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) for kidney bean plants treated by exogenous calcium. *Insects*, 12(9), 838.
- Zorb, C., Senbayram, M. & Peiter, E. (2014) Potassium in agriculture: status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171: 656–669.

Bölüm 16

ÇELİKLE BİTKİ ÜRETİMİNDE KÖKLENME BAŞARISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER ARASINDA YARALAMANIN YERİ

Ali BAYRAKTAR¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman
Mühendisliği Bölümü, Trabzon, ORCID: 0000-0002-8420-7089,
alibayraktar@ktu.edu.tr

Giriş

Bitki üretimi, en genel anlamıyla yeni bireylerin oluşumunu sağlayan generatif (eşeyli - tohumla) ve vejetatif (eşeysiz - vejetatif kısımlarla) üretim süreçlerini kapsamaktadır. Bitkilerin homojen büyümesini sağlamak, üretimi artırmak, zararlılara ve hastalıklara karşı dayanıklılığı geliştirmek, erken meyve verimini teşvik etmek ve yeni bireylerde belirli istenen özellikleri korumak gibi çeşitli amaçlarla çok sayıda üretim ya da çoğaltma yöntemi geliştirilmiştir (Awotedu vd., 2021). Generatif üretim; genetik çeşitliliğin korunması ve adaptasyon açısından vazgeçilmezken, orman ağaçlarından tarım ve süs bitkilerine kadar çok sayıda türde hedeflenen üstün fenotip ve genotiplerin hızlı ve güvenilir şekilde çoğaltılması ile standart özellikler gösteren fidan materyali elde edilmesi için vejetatif yöntemler vazgeçilmez araçlar olarak değerlendirilmektedir (Leakey vd., 1982; Hartmann vd., 2002; Tchoundjeu vd., 2004; Lambers ve Oliveira, 2019).

Bitkilerde anaç bitkinin (ortet) vejetatif bir parçasından (sürgün, kök, gövde, yaprak vb.) yeni bir bireyin gelişmesiyle gerçekleşen her türlü eşeysiz üreme biçimini ifade eden vejetatif yolla üretim (Awotedu vd., 2021), genotipik özelliklerin anaç bitkiye özdeş biçimde korunarak bitki üretimini mümkün kıldığından stratejik bir öneme sahiptir (Yahyaoglu ve Güney, 2013; Turna, 2017; Reddy vd., 2022). Ayrıca, bu yöntem sayesinde çiçeklenme ve meyve verme eğilimi yüksek, homojen gelişen, hızlı büyüyen ve klon-yetişme ortamı uyumu daha güçlü bireyler elde edilebilmekte; bunun sonucunda odun hacmi üretimi de belirgin biçimde artmaktadır (Ooyama ve Toyoshima, 1965; Fielding, 1969). Vejetatif üretimin en önemli avantajlarından biri de, ağaç türlerinde üretim döngüsünü önemli ölçüde kısaltmasıdır. Üstün klonların veya test edilmiş plus ağaçların hızlı ve geniş ölçekli olarak çoğaltılmasına olanak tanıdığı için, bu yöntem ağaç ıslahı programlarında kritik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir (Palanisamy ve Subramanian, 2000; Prabakaran vd., 2017). Öte yandan, sarkık form gibi özel büyüme tiplerinin korunarak çoğaltılmasını mümkün kılmasının yanı sıra (Libby, 1985), yok olma tehlikesi altındaki bitkilerin üretilmesine ve generatif üretimin temel bileşeni olan tohumun bulunamadığı durumlarda ya da dönemlerde bile yeterli fidan rezervinin hazırlanmasına olanak vermektedir (Longman, 1993; Assogbadjo vd., 2009). Bu nedenlerle vejetatif üretim, birçok türde tercih edilen bir üretim yöntemi hâline gelmiş olup (Oliveira, 1989), ekonomik öneme sahip çok sayıda ağaç türünde genetik üstünlüğün korunması ve verimliliğin artırılması amacıyla uzun süredir başarıyla uygulanmaktadır (Rafiqul, 2008). Vejetatif üretim birçok avantaj sunmasına rağmen, klonal yapının neden olduğu düşük genetik çeşitlilik nedeniyle bakteri, mantar ve virüs kaynaklı hastalıklara duyarlılığı artırması ve yeni varyetelerin oluşumunu sınırlandırır-

ması gibi bazı dezavantajlar da taşımaktadır (Yahyaoğlu ve Güney, 2013; Awotedu vd., 2021).

Vejetatif üretim, çelik, aşı ve daldırma gibi makro üretim teknikleri ile doku kültürüne dayalı mikro üretim yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Kamaluddin, 1996; Leakey, 2014; Parthiban vd., 2016; Singh, 2018). Ayrıca çelik, daldırma, rizom, stolon ve yumru gibi yöntemlerde tek bir genetik materyalin kullanıldığı üretimler “autovejetatif”, buna karşılık anaç ile kalem veya göz (tomurcuk) gibi iki farklı genetik materyalin bir araya getirildiği aşı yöntemleri ise “heterovejetatif” üretim olarak adlandırılmaktadır (Ürgeç, 1982; Hartmann vd., 2002; Yahyaoğlu ve Güney, 2013; Boydak ve Çalışkan, 2014). Autovejetatif üretim yöntemlerinden biri olan çelikle üretim, doğada kendiliğinden gerçekleşen vejetatif üretim yöntemlerinden biri olup, en kolay ve en ekonomik tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir (Kızmaz, 1996; Liu vd., 2025a). Çelik terimi, anaç bitkiden alınan ve yeni bir bitki oluşturmak amacıyla kullanılan her türlü vejetatif parçayı ifade etmektedir (Parthiban vd., 2016). Çelikle üretimde kullanılan yöntemler, çelik materyalinin bitki üzerindeki konumu, fizyolojik durumu, odunlaşma derecesi ve mevsimsel toplama zamanına göre değişmektedir. Bu kapsamda çelikler genel olarak gövde (dal) çelikleri, kök çelikleri, yaprak çelikleri ve yaprak-göz çelikleri gibi gruplara ayrılarak değerlendirilmekte; gövde çeliklerinin köklenmesi, birçok ağaç türünde en kolay ve ekonomik vejetatif üretim yöntemlerinden biri olduğundan ormancılık uygulamalarında çoğunlukla bu yöntem tercih edilmektedir (Ürgeç, 1992; Hartmann vd., 2002; Boydak ve Çalışkan, 2014; Parthiban vd., 2016; Babu vd., 2018). Gövde çelikleri ile üretim teknikleri; endüstriyel plantasyonların, tohum bahçelerinin ve gübreleme ya da besin elementi uygulama denemelerinin kurulmasında pratik bir seçenek oluşturarak orman ürünleri verimliliğini artırmaktadır (Aslam ve Rather, 2008). Gövde çelikleriyle yapılan vejetatif üretim, kısa sürede anaç bitkiye genetik olarak özdeş bitkiler üretme ve üstün bireylerin geniş çaplı ticari plantasyonlarda hızlı şekilde kullanılmasını mümkün kılma gibi önemli avantajlar da sunmaktadır (Panda vd., 2019). Gövde çelikleri odunlaşma durumu ve alındıkları döneme göre otsu, yumuşak (yeşil), yarı odunsu ve odunsu (sert) çelikler olmak üzere dört ana grupta ele alınmaktadır (Ürgeç, 1992; Evans ve Blazich, 1999; Hartmann vd., 2002). Odunlaşmamış, tamamen otsu bitkiler üzerinde uygulanan bir yöntem olan otsu çelikler ile üretim, anaç bitkinin yeni gelişen sürgünleri kullanılarak yılın herhangi bir döneminde gerçekleştirilebilmektedir (Hartmann vd., 2002). Odunsu bitkilerin henüz odunlaşmamış, ilkbaharda gelişen taze sürgünlerinden hazırlanan çelikler yumuşak çelik olarak adlandırılmaktadır. Mevcut yılın büyümesine ait kısmen olgunlaşmış ve odunlaşmaya yeni başlamış sürgünlerden elde edilenler yarı odunsu çelikleri oluştururken; bir yılını

doldurmuş, tamamen olgunlaşmış ve tam olarak odunlaşmış sürgünlerden alınanlar ise odunsu çelikler olarak tanımlanmaktadır (Leakey vd., 1982; Genç, 1995; Evans ve Blazich, 1999).

Kök çeliği, yarı yapay bir vejetatif üretim tekniği olup yalnızca sınırlı sayıda tür bu yöntemle başarılı bir şekilde çoğaltılabilmektedir (Hartmann vd., 2002; Welch-Keesey ve Lerner, 2002). Kök çeliğiyle üretim; yara- ların iyileşmesi, yeni hücrelerin oluşumu, kök gelişimi ve kök dokusunun sürgünle uyumunun sağlanması gibi bir dizi aşamadan meydana gelmek- te olup, yeni kök sisteminin gelişerek yeni bir bitki meydana getirmesiyle oluşmaktadır (Wiesman ve Jaenicke, 2002). Kökler, depolanmış karbon- hidrat içerdiği ancak yeni sürgün gelişiminin henüz başlamadığı geç kış veya erken ilkbahar döneminde alınmalıdır (Hartmann vd., 2002). Yaprak çelikleri ise bitkiden tek bir yaprağın alınmasıyla hazırlanmaktadır (Welch-Keesey ve Lerner, 2002). Ancak birçok bitkide yaprak çelikleri yeni bir bitki oluşturmayıp, çoğunlukla birkaç kök üretmekte ya da tamamen çürümektedir. Yaprak çeliklerinde koltuk tomurcuğu bulunmadığından, bu yöntem yalnızca adventif tomurcuk oluşturma yeteneğine sahip türlerde kullanılabilmektedir (Evans ve Blazich, 1999; Gorelick, 2015). Bu yöntem- le üretim, yapraklar olduğu müddetçe yapılabilmektedir (Hartmann vd., 2002). Yaprak-göz çelikleri, özellikle sarılıcı ve sürünücü bitkilerde veya çelik materyalinin sınırlı olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, bu tip çeliklerde bitkinin her bir boğumu bir çelik olarak değerlendirilebilmektedir. Yaprak-göz çeliği; bir yaprak ayası, yaprak sapı ve buna bağlı bir koltuk tomurcuğu taşıyan kısa bir gövde parçasından oluşmakta ve genellikle büyüme dönemi boyunca üretim yapılabilmektedir (Evans ve Blazich, 1999; Hartmann vd., 2002).

Çelik tipleri ve bunların biyolojik özellikleri köklenme başarısını etkileyen önemli unsurlar olsa da, köklenme süreci öncelikle türün ve genotipin biyolojik özellikleri tarafından şekillendirilmekte; bunun yanı sıra fizyolojik, morfolojik, çevresel ve uygulamaya bağlı birçok faktörün etkileşimiyle daha da karmaşık bir hâl almaktadır. Bu nedenle, çeliklerin köklenme potansiyelini belirleyen faktörlerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çelikle Üretimde Köklenme Başarısını Etkileyen Faktörler

Bitkinin gelişim sürecinde, köklenme en önemli olaylardan biridir (Zhao vd., 2014). Köklenme yeteneği bitki türleri arasında farklılık göstermekte olup, aynı tür içerisinde klonal farklılıklar da görülebilmektedir. Bu durum, genetik özelliklerden kaynaklanabileceği gibi, farklı yetiştirme ortamı koşullarından da ortaya çıkabilmektedir (Fröhlich, 1959). Bitki kök sistemi; embriyonik ve daha sonraki fide döneminde oluşan birincil kökleri, lateral (yan) kökleri ve adventif kökleri içermektedir (Li vd., 2017;

Kora ve Bhattacharjee, 2020; Li, 2021).

Vejetatif üretimin temel adımlarından biri olan adventif kök oluşumu (De Klerk vd., 1999), başarılı klonal üretimin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Smart vd., 2003). Adventif kökler, çeşitli çevresel sinyallere yanıt olarak embriyo sonrası dönemde ve primer kök sisteminin lateral köklerinden farklı olarak sürgün ve yaprak gibi kök dışı dokulardan gelişmekte olup bu süreç, büyük ölçüde hormonlar arasındaki etkileşimle düzenlenmektedir (Lovell ve White, 1986; Ermel vd., 2000; Atkinson vd., 2014; Bellini vd., 2014; Steffens ve Rasmussen, 2016; Gonin vd., 2019; Lakehal ve Bellini, 2019). Adventif kök oluşumunun temel amacı, çelikten türeyen, sağlıklı, eksiksiz ve kendi kendine büyüyüp gelişebilen yeni bir bitki elde etmektir. Başarılı fidan üretimi için, köklenme süreci boyunca ve sonrasında ortaya çıkabilecek kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu kayıplar çoğunlukla yetersiz köklenme başarısı veya oluşan kök sisteminin kalitesizliği ile ilişkili olup, her iki durum da köklenen çeliklerin çevre koşullarına uyum sağlayarak yaşama şansını olumsuz etkileyebilmektedir (De Klerk vd., 1999; Hilo vd., 2017; Kumar vd., 2022).

Gövde dokularında adventif kök oluşumunun, fiziksel olarak iletim demetlerine komşu olan kambiyum ya da öz ışıını hücrelerinden başladığı ifade edilmektedir (Rigal vd., 2012). Çelikle üretimde adventif kök oluşumu, üç evre içeren de novo (sıfırdan) kök rejenerasyonunun bir biçimidir. Bu evreleri indüksiyon (uyarılma), inisiyasyon (başlama) ve ekspresyon (gerçekleşme) olmak üzere ardışık ancak birbirine bağımlı üç fizyolojik evre olarak tanımlamak mümkündür. Uyarılma evresi, görünür bir değişiklik olmaksızın gerçekleşen moleküler ve biyokimyasal olayları içeren erken sinyal süreçlerini kapsamaktadır. Bu aşamada hücreler yaralanmaya ve çevresel uyarılara hızlı bir biçimde yanıt vermektedir. Başlama evresi, hücre bölünmeleri ve kök primordiumlarının (taslaklarının) örgütlenmesi ile karakterize edilen bir aşama olup, rejenerasyon yeteneğine sahip hücrelere yönelik oksin birikimi ve taşınmasını içermektedir. Gerçekleşme evresi ise adventif kök primordiumlarının gövde içinde büyümesi ve köklerin dışa doğru ortaya çıkması olarak tanımlanmaktadır (Li vd., 2009; Xu, 2018; Chen vd., 2024; Liu vd., 2025b).

Adventif kök oluşumu, hem içsel hem de dışsal çok sayıda değişkenden etkilenebilen karmaşık bir süreçtir (da Costa vd., 2013; Bayraktar vd., 2025). Çeliğin kaynağı ve endojen durumu (içsel hormon ve besin dengesi), çeliğin hazırlanması ile dikimi arasındaki süreçte uygulanan işlemler ve köklenme dönemi boyunca sağlanan çevresel koşullar çelikle üretimde başarılı köklenmenin sağlanabilmesi için önemli olan koşullar olarak belirtilmektedir (Hartmann vd., 2002). Başka bir sınıflandırmada köklenmeyi etkileyen faktörler; kimyasal (fitohormonlar vb.), bitkisel (çelik alım zamanı ve çelik tipi gibi) ve çevresel (ısı, nem vb.) olarak sınıflandırılmak-

tadır (Genç, 1995; Demirbaş, 2010). Kök oluşumunu etkileyen içsel faktörler arasında tür, genotip ve kùltivar özellikleri, çelikte depolanan besin maddeleri ile mineral tuzlar, karbonhidrat rezervleri, çelik tipi ve çelik alınan doku bölgesi, endojen bitki hormonu düzeyleri (özellikle oksin), anaç bitkinin fizyolojik durumu (yaşı, gençlik düzeyi, stres geçmişı ve genel sağlık durumu vb.), kallus oluşumu, çelik üzerindeki yaprak veya tomurcuk mevcudiyeti ifade edilebilir. Dışsal faktörleri ise fitohormon uygulamaları, köklendirme ortamı, ışık, sıcaklık ve alttan ısıtma, yaprak miktarı azaltma ve yaralama gibi çeşitli koşullar oluşturmaktadır (Hartmann vd., 2002; da Costa vd., 2013; Gehlot vd., 2014; Bayraktar vd., 2018a; Druege vd., 2019; Kaushik ve Shukla, 2020; Yıldırım vd., 2020; Güney vd., 2021a; Bayraktar vd., 2022; Güney vd., 2023).

Adventif kök oluşumunun karmaşık yapısı göz önüne alındığında, dışsal uygulamalar arasında en dikkat çekici olanlardan biri yaralama işlemidir. Yaralama, çelik üzerinde kontrollü doku hasarı oluşturarak köklenmeyi tetikleyen fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri harekete geçirmektedir. Bu nedenle yaralama uygulaması, özellikle zor köklenen türlerde köklenme yüzdesini ve kök morfolojisine ait karakterlerin (kök boyu ve kök sayısı vb.) kalitesini artırmak amacıyla çelikle üretim çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, yaralanmanın adventif köklenme üzerindeki rolü aşağıda ele alınmıştır.

Adventif Köklenmede Yaralanmanın Rolü

Çeliklerde adventif kök oluşumu, ana bitkiden ayrılma sırasında oluşan mekanik zarar nedeniyle tetiklenen yaralanma tepkileriyle yakından ilişkili olup, bu yaralanma hücrelerin yeniden programlanmasını başlatarak köklenme sürecini harekete geçirmektedir (Hartmann vd., 2002; Morales Orellana vd., 2022). Çelik materyali, anaç bitkiden ayrıldığı anda toprak-bitki-atmosfer sürekliliği bozulmaktadır (Kumar vd., 2022). İletim demetleri arasındaki bu bütünlüğün kesilmesi, eksizyondan sonraki ilk saatlerde yaralanma bölgesinde oksin birikimine yol açmaktadır (Druege vd., 2016; Huang vd., 2020; Arya vd., 2022; Kumar vd., 2022). Yaraya yanıt veren genler, yara bölgesinin kapanması ve patojen saldırılarının önlenmesine yönelik gerekli tüm mekanizmaları aktive etmektedir (Kumar vd., 2022). Aynı zamanda, oksinin sentezlendiği sürgün ucu ve genç yapraklardan gövde tabanına doğru taşınması başlamaktadır. Oksin taşıyıcıları devreye girerek oksinin çeliğin tabanına yönlendirilmesini sağlamak ve böylece taban bölgede belirgin bir oksin birikimi oluşmaktadır (da Costa vd., 2013; Druege vd., 2016). Bu birikim de köklenme evrelerinin başlamasını sağlamaktadır (Roussos, 2023). Buna ek olarak oksin, çözünür şekerlerin (özellikle sakkarozun) birikimini de uyarmaktadır (Jarvis, 1986). Bu şekerler, yara dokusunun kapanması ve adventif kök oluşumunun ilk evrelerinde karbon iskeleti sağlayıcıları ve enerji kaynakları olarak

temel bir rol oynamaktadır (Bellamine vd., 1998; Monder ve Pacholczak, 2020; Kumar vd., 2022). Böylece başlangıç evrelerinde oksin-karbonhidrat etkileşimi gerçekleşmekte ve çeliğin tabanında yeni bir karbonhidrat çekim merkezi oluşmaktadır (Bellamine vd., 1998). Ayrıca, çeliğin anaç bitkiden ayrılmasıyla taban kısmında oluşan yaralanma, nitrat redüktaz aktivitesini artırmakta ve bunun sonucunda bir sinyal molekülü olan nitrik oksit üretimini yükseltmektedir (Tailor vd., 2022). Son yıllarda yapılan çalışmalar, nitrik oksitin adventif kök oluşumundaki rolünü giderek daha güçlü biçimde ortaya koymaktadır (Tewari vd., 2008; Liao vd., 2010; Abu-Abied vd., 2012; Liao vd., 2012; Kang vd., 2018; Altamura vd., 2023). Çelik hazırlama sürecinde meydana gelen yaralanma, etilen ve jasmonat üretimini de artırmaktadır (Blakesley, 1994; Schillmiller ve Howe, 2005; Druege vd., 2019). Adventif kök oluşumunda etilenin de etkili olduğu ve köklenme yeteneğini değiştirebildiği ifade edilmektedir (Clark vd., 1999; Shibuya vd., 2004; Druege vd., 2019). Jasmonik asit ve çeşitli metabolitleri de dâhil olmak üzere jasmonatlar, bitkilerin çok sayıda biyotik ve abiyotik faktöre verdiği tepkilerde önemli sinyal bileşenleri olarak kabul edilmektedir (Wasternack, 2007). Ayrıca, yaralanma ile indüklenen etilen ve jasmonik asit biyosenteziyle bağlantılı olarak gerçekleşen indol-3-asetik asit birikiminin, kök primordiyumu oluşturma potansiyeline sahip duyarlı hücrelerde içsel olarak düzenlenen bir oksin yönlendirme sürecini tetiklediği ve böylece adventif kök oluşumu programını başlattığı bildirilmektedir (Druege vd., 2016). Bitkiler ya da çelikler ayrıca yara bölgelerini kallus adı verilen düzensiz hücre kütleleri oluşturarak onarmaktadır. Öte yandan, bu dokular üzerinden yeni organlar da rejenerasyonla yeniden meydana gelebilmektedir. Yaralanma ile oluşan kallusların, yara bölgesini kapatarak su kaybını önlediği ve vasküler doku farklılaşması ile sıfırdan kök oluşumu için hücrel kaynak sağladığı düşünülmektedir (Ikeuchi vd., 2013; 2016).

Bu bilgiler, çeliklerde oluşan yaralanmanın yalnızca bir kesik ya da fiziksel bir hasar olmadığını; aynı zamanda bitkinin içinde köklenmeyi başlatan bir dizi biyolojik süreci harekete geçirdiğini göstermektedir. Buradan hareketle, yara dokusu oluşturmaya yönelik uygulamaların çeliklerde köklenmeyi destekleyen önemli bir etken olduğunu ifade etmek mümkündür. Dolayısıyla, yaralanmanın köklenme sürecindeki işlevinin anlaşılması, çeşitli yaralama uygulamalarının üretim pratiğinde uzun süredir benimsenmesini de anlaşılır kılmaktadır.

Çeliklerde Yaralama: Uygulama Teknikleri ve Literatür Sonuçları

Vejetatif üretimin temel bileşenlerinden biri olan çelikle üretim, ormancılık, süs bitkileri ve meyvecilik gibi pek çok üretim alanında; genetik sağlığın korunması ve sürdürülmesi, nadir formlara ve değerli varyetelere sahip türlerin veya üstün fenotiplerin çoğaltılması ile tohumla üretiminde

güçlük yaşanan türlerde başarılı köklenmenin sağlanması gibi amaçlarla uzun yıllardır kapsamlı araştırmaların odağında yer almaktadır. Bu bağlamda, çeliklerin köklenme kapasitesini artırmaya yönelik uygulamalar arasında yaralama işlemi, hem fizyolojik dayanakları hem de pratik etkinliği nedeniyle öne çıkan önemli bir yöntem olarak dikkat çekmektedir.

Yaralama, çelikle üretimde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Zhou, 2005). Hem fizyolojik hem de moleküler düzeyde köklenme sürecini tetikleyen bir stres faktörü (Lakehal ve Bellini, 2019) ve köklenmeyi teşvik edici etkili bir uygulama olan yaralama (Hartmann vd., 2002), köklenmesi zor türlerde köklenme yüzdelere artırmak ve oluşan köklerin miktarını ve kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Yaralama, daha fazla hücrenin köklendirme hormonuna maruz kalmasını sağlamakta, kallus oluşumunu teşvik etmekte ve bazı durumlarda kök oluşumuna engel olabilen sert odunsu dokunun uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır (Luna, 1949).

Çeliklerde yaralama genellikle alt kısımdaki küçük sürgünlerin ve yaprakların elle sıyrılmasıyla, çeliğin taban kısmı boyunca yaralı bölgeler oluşturularak yapılmaktadır (Luna, 1949). Bu yaralama şekli, ardıc veya mazi gibi herdem yeşil türlerin çeliklerinde, alt dalların sıyrılmasıyla oluşturulabilmektedir (Hartmann vd., 2002). Taban yapraklarının sıyrılması durumunda *Berberis* ve *Juniperus* çelikleri bu uygulamadan olumlu yönde etkilenirken, *Spiraea*, *Forsythia* ve *Weigela* türlerinde aynı etki görülmektedir (Maronek vd., 1983). Yaralamada yaygın olarak kullanılan diğer yöntemler arasında, çeliğin taban kısmının (köklendirme ortamına yerleştirilecek bölümün) sebze soyacağı ile hafifçe sıyrılması veya keskin bir bıçakla çeliğin her iki yanında 2–5 cm uzunluğunda, kambiyum tabakasına kadar ulaşan birden dörde kadar dikey kesik oluşturulması sayılabilmektedir. Kabuktan odun dokusuna kadar ulaşan bu tip yaralamalar köklendirme için yeterli olabilmektedir (Luna, 1949; Hartmann vd., 2002). Öte yandan, çelik tabanında yapılan yaralamalarda kesi uzunlukları 1 cm bile olabilmekte ve çeşitli araştırmalarda farklılıklar gösterebilmektedir (Zhou, 2005). Orman gülü çeliklerinin köklendirilmesinde soyacak kullanılarak yapılan yaralamalar etkili olabilmektedir (Hartmann vd., 2002). Manolya ve orman gülü gibi büyük çeliklerde, daha etkili ve kontrollü bir yaralama yöntemi olarak çeliğin tabanında her iki tarafta kambiyumu açığa çıkaran, ancak odun dokusuna fazla derinlemesine inmeyen yaklaşık 2,5 cm uzunluğunda ince bir kabuk şeridinin kaldırılması uygulanabilmektedir (Wells, 1962). Yaralama işlemlerinde çelik tabanında dikey ya da yatay yönde tek veya iki adet kesik kullanılan yöntemler de köklenmeyi teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır (Blazich ve Bonaminio, 1983; Fouda vd., 2012; Yıldırım vd., 2020; Hussein vd., 2021; Chang vd., 2023; Mohamed ve Bashir, 2023).

Çeliklerin oksin uygulanarak köklenmeye teşvik edildiği birçok çalışma bulunmaktadır (Bayraktar vd., 2017; Ibironke, 2017; Bayraktar vd., 2018b; Güney vd., 2021b; Bilal vd., 2024). Buna ek olarak, çeliğin taban kısmındaki bölgelerin mekanik olarak yaralanması, genellikle dışsal oksin uygulamalarıyla birlikte yıllardır kullanılmakta olup (Mackenzie vd., 1986; Hartmann vd., 2002), çelikteki fizyolojik ve biyokimyasal olayların etkinliğini artırarak adventif kök oluşumunu güçlendirmektedir (Druege vd., 2019). Blazich ve Bonaminio (1983), *Photinia x fraseri* Dress türünü odunsu çelikler kullanarak köklendirmeye çalıştıkları çalışmalarında, oksin işlemlerine ek olarak hafif (gövdenin dip kısmında, ikincil ksileme diğer bir ifadeyle odun dokusuna kadar ulaşan, boyuna eksene paralel ve birbirine eşit uzaklıkta yaklaşık 30 mm uzunluğunda iki adet dikey kesik açılması) ve şiddetli yaralama uygulamaları gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, şiddetli yaralama (gövdenin dip kısmından boyuna eksene paralel olacak şekilde 30 × 4 mm boyutlarında bir kabuk şeridinin çıkarılarak kambiyum dokusunun açığa çıkarılması) ve 5000 ppm IBA ya da şiddetli yaralama ve 10000 ppm IBA işlemlerinde tüm çeliklerin köklendiği belirlenmiştir. *Hibiscus mutabilis* L. türünün odunsu çelikler ile köklendirilmesinde farklı oksin hormonları ve dozları ile yaralamanın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, en yüksek köklenme yüzdesinin 1000 ppm IBA ve yaralama (çeliklerin taban kısmında iki karşılıklı yüzde, odun dokusuna teğet, yaklaşık 1,3 cm uzunluğunda ve kama şeklinde bir parça çıkarılacak şekilde dikey bir kesik) yapılan çeliklerde elde edildiği bildirilmiştir (Blythe, 2012). Fouda vd. (2012), *Aloysia triphylla* (L'Her.) Britton türünün çelikle üretilmesinde oksin uygulaması ile yaralama + oksin kombinasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmalarında, odun dokusuna kadar nüfuz eden 1 cm uzunluğunda tek bir boyuna derin kesik ile yaralanan çeliklerin 2000 ppm IBA ile muamele edilmesi sonucunda en yüksek köklenme oranının elde edildiğini bildirmiştir. Bir başka çalışmada, *Taxus wallichiana* Zucc. çeliklerinde şiddetli yaralamanın (keskin bir jilet yardımıyla sürgünün taban kısmında 2–3 cm uzunluğunda, 5–10 mm derinlikte, sekonder ksileme kadar ulaşan 4–5 adet kesik) ve 6,15 mM IBA konsantrasyonundaki hormonla muamele etmenin köklenme yüzdesini ve kök sayısını olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir (Saumitro ve Jha, 2014). *Salix anatolica* Ziel. & D. Tomasz. türünün dişi ve erkek bireylerden nisan ayında alınan çeliklerin köklendirilmesinde oksin uygulamaları ile yaralamanın (çelik tabanında iki paralel yatay kesik) etkilerinin araştırıldığı çalışma sonucunda da, erkek bireyden alınan çeliklerdeki köklenme yüzdesinin yaralama ile önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır (Yıldırım vd., 2020). Geçmişten günümüze kadar yaygın şekilde kullanılan köklenmeyi teşvik edici bir yöntem olarak yaralama uygulamasının içinde yer aldığı çalışmaların sayısını artırmak mümkündür. Çelikle üretimde farklı türler, cinsiyetler, fizyolojik dönemler ve çevresel koşullar gibi faktörlerin

köklenme üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda, yaralama uygulamaları ile oksinlerin tek başına veya birlikte kullanımının köklenme yüzdesi, kök sayısı ve kök boyu gibi çeşitli karakterler üzerinde genel olarak olumlu etkiler oluşturduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, yaralama uygulamasının kullanıldığı çalışmalarda, söz konusu uygulamanın tüm koşullarda ve ölçülen tüm karakterlerde her zaman olumlu etki göstermediği ya da etkinin değişkenlik gösterebildiği de literatürde ortaya konmuştur (Blazich ve Bonaminio, 1983; de Silva vd., 2005; Yıldırım vd., 2020; Hussein vd., 2021).

Geleneksel yaralamalarda çeliklerin aşırı zarar görmemesi için dikkat ve deneyim gerekmektedir (Luna, 1949). Yaralama uygulamalarında dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri fark edilmeyen ezilme ve dokusal zedelenmelerdir. Özellikle kör budama makasları ile yapılan bu tip zedelenmeler, çeliğin alt dokularında su hareketi ve yeni bitkilerin oluşumu için gerekli kök başlangıçlarının gelişimini engelleyebilir. Bu nedenle daima keskin ve düzenli olarak dezenfekte edilen ekipmanlar kullanılmalıdır (Hartmann vd., 2002).

Çelikle üretimde köklenmeyi artırmaya yönelik geleneksel yaralama tekniklerine ek olarak, son yıllarda geliştirilen lazer tabanlı yaralama yöntemleri, kontrollü ve hassas doku hedeflemesi sayesinde dikkat çeken yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Hoermayer ve Friml, 2019; Morales Orellana vd., 2022). Lazer destekli tek hücre ablasyonu (tek bir hücrenin seçici olarak uzaklaştırılması/ortadan kaldırılması) yöntemi, bitkilerin mekanik strese verdiği tepkilerin hem yerel hem bölgesel hem de tüm bitki düzeyinde daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasına olanak sağlamıştır (Hoermayer ve Friml, 2019). Lazer teknolojisinin sağladığı yüksek hassasiyet, kök uçlarında tek bir hücrenin ya da küçük hücre gruplarının kontrollü ve seçici biçimde uzaklaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Yapılan çalışmalar, hedeflenen hücrede ve komşu hücrelerde anında bir yaralanma tepkisi oluştuğunu; bunu turgor basıncındaki ani değişimin izlediğini ve yaralanma bölgesine komşu hücrelerde oksin sinyallemesinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir (Hoermayer vd., 2020). Lazer yönteminin bıçakla oluşturulan yaralanmalara kıyasla hastalık riskini azaltma gibi bir avantajı da bulunmaktadır (Marx vd., 2013). Bununla birlikte, lazerle yaralamanın odunsu çeliklerde uygulanması ve köklenme sürecine etkileri üzerine kapsamlı çalışmalar henüz sınırlı olmakla birlikte (Morales Orellana vd., 2022), mevcut araştırmalar lazer yaralamanın köklenme performansı ve bitkisel tepkiler üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

Farklı gül çeliklerinde (*Rosa* ‘Tan09283’, R02-3 ile R02-6 genotip numarasına sahip *Rosa canina* ‘Pfänder’) lazer yaralama yöntemlerinin uygulandığı bir çalışmada, yaralama desenlerine bağlı olarak köklenme dav-

ranışında belirgin farklılıklar ortaya çıkmıştır. Lazer ile yaralama uygulamaları, kabukta yer alan doku tabakalarının kontrollü şekilde uzaklaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiş olup, çelik tabanı boyunca uzanan yaralama şekline şerit desenli ve çelik tabanını çevreleyen yaralama şekline ise halka desenli yaralama adı verilmiştir. Ortak bir sonuç olarak, floemin açığa çıktığı halka desenli yaralamalarda adventif kökler doğrudan yaralı bölgeden gelişebilirken, yaralama yapılmayan kontrol çeliklerinde kökler genellikle sadece tabandan oluşmuştur. *Rosa* ‘Tan09283’ çeliklerinde şerit desenli yaralamanın koltuk tomurcuğunun karşı tarafında yer alması kök oluşumunu büyük ölçüde tabanla sınırlarken, desenin tomurcuğun bulunduğu tarafla aynı hizada olması hem yaralanma hattı boyunca hem de tabanda daha yoğun köklenme oluşturmıştır. *Rosa canina* ‘Pfänder’ çeliklerinde, şerit desenli yaralamanın sklerenkima veya floem dokusuna ulaştığında köklenmeyi artırma eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık, floem bölgelerine ulaşan halka desenli yaralama kontrolle kıyaslandığında adventif kök oluşum yüzdesini azaltma eğilimi göstermiştir. Halka desen yalnızca sklerenkima tabakasına ulaştığında ise köklenme yüzdelерinde bir azalma gözlenmediği bildirilmiştir (Morales Orellana vd., 2022). Morales Orellana vd. (2024a), R02-6 genotip numarasına sahip *Rosa canina* ‘Pfänder’ kùltivarında yaptıkları çalışmada, lazer yaralama desenlerini; 10 mm uzunluğundaki 0,5 ve 1 mm genişliğindeki tek şerit desenler, 10 mm uzunluğundaki 0,5 mm genişliğindeki iki şerit desen (desenler arası 1 mm) ve tüm kenarları 0,5 mm uzunluğunda olan 10 sıra halindeki 40 adet küçük kare (desenler arası 0,5 mm) şeklindeki kare desen olarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda, kontrole kıyasla lazer yaralama yöntemlerinin kök oluşumunu artırıcı etki yaptığı belirlenmiştir. Yaralama geometrisinin vasküler doku gelişimi üzerinde belirleyici olduğunu; özellikle kare desen gibi daha uzun yaralanma kenarı oluşturan desenlerin floem gelişimini artırarak köklenmeyi anlamlı şekilde yükselttiğini bildirmiştir. Bu durum, çalışma sonucunda elde edilen floem alanı ile köklenme başarısı arasındaki çok güçlü korelasyon ile de ortaya konmuştur. Ayrıca, lazer yaralamanın etkili olabilmesi için sklerenkima tabakasına kadar uygun derinlikte nüfuz etmesinin gerekli olduğu da bildirilmiştir.

Morales Orellana vd. (2024b) tarafından, lazer yaralamasının gül çeliklerinde (R02-6 genotip numaralı *Rosa canina* ‘Pfänder’) adventif kök oluşumuna etkilerini ve bu etkinin temelinde yatan fizyolojik süreçleri ortaya koymak amacıyla yürütölen çalışmada, çeliklere düşük enerjili, bilgisayar kontrollü bir lazer ablasyon sistemiyle şerit biçiminde hassas doku çıkarımı uygulanmıştır. Lazer yaralama deseni, çelik tabanının yaklaşık 5 mm üzerinde yer alan 10 mm uzunluğunda ve 1 mm genişliğinde bir şerit şeklinde tasarlanmış ve uygulanan enerji, floeme en yakın doku olan sklerenkima tabakasını açığa çıkaracak şekilde ayarlanmıştır. Etkinin to-

murcuğun konumuna göre değişimini değerlendirmek üzere lazer yarası, hem tomurcuk tarafına hem de tomurcuğun karşı tarafına uygulanmış; lazer uygulanmayan çelikler ise kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Yaralamanın köklenme üzerindeki belirgin olumlu etkisini ortaya koyan bu çalışmada, tomurcuğun karşı tarafına yapılan lazer uygulaması kontrolle kıyaslandığında köklenme yüzdesinde artış sağlasa da, en yüksek ve en belirgin köklenme tepkisinin tomurcuk tarafına uygulanan yaralamada gerçekleştiği açıkça ortaya konmuştur. Lazer uygulamasının ve buna bağlı olarak oluşan yaralı dokunun çeliklerde stres duyarlı bitki hormonlarının artışına yol açtığı belirtilen çalışmada, jasmonik asitin yalnızca ilk saatlerde yükseldiği; buna karşın absisik asitteki artışın daha uzun süre devam ettiği ve yaralı bölgelerle sınırlı kalmadığı ifade edilmiştir. Çalışma kapsamındaki lazer uygulamalarının, fizyolojik olarak en önemli aktif oksin olan indol-3 asetik asitin (IAA) zamansal ve mekânsal düzeydeki dinamiklerini değiştirmemesine rağmen, oksin konjugatlarını belirgin biçimde artırdığı bildirilmiştir. Köklenme miktarı ve kök kalitesindeki iyileşmeyle eş zamanlı görülen bu artış, Morales Orellana vd. (2024b) tarafından dolaylı olarak yerel veya geçici bir IAA bolluğuna işaret eden bir durum olarak değerlendirilmiş ve lazerle yaralanmış dokuların oksin bileşikleri için olası ek bir kaynak oluşturduğu belirtilmiştir. Tomurcuk tarafına uygulanan lazer yaralama işleminin trans-zeatin-ribozit ve cis-zeatin-ribozit düzeylerinde belirgin bir artışa yol açtığı, bunun sonucunda IAA/sitokinin oranının anlamlı biçimde düşerek adventif kök indüksiyonu için daha elverişli bir fizyolojik ortam oluşturduğu bildirilmiştir. Ayrıca yaralanan dokularda sakkaroz ve nişasta miktarındaki azalmanın, bu bölgelerin iyileşme ve doku yeniden bağlantısı için kaynak tüketen bir bölge (sink) gibi davrandığını ve bunun da kök gelişimini desteklediği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda ayrıca, hassas lazer uygulamalarının özellikle köklenme kapasitesi düşük türlerde üretim süreçlerini geliştirmeye yönelik önemli bir potansiyel taşıdığı da vurgulanmıştır.

Çelikle üretimde yaralama uygulamalarının etkisi türlere, çelik tiplerine ve anatomik özelliklere göre önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu nedenle, farklı tür ve çelik tiplerine özgü yeni yaralama desenlerinin ya da farklı derinlik ve yönlerde uygulanabilecek alternatif tekniklerin gelecek çalışmalarda sistematik olarak denenmesi, köklenme başarısını artırmaya yönelik önemli bilgiler sağlayacaktır.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, çelikle bitki üretiminde köklenme başarısını etkileyen faktörler arasında yaralamanın yeri ve önemi; köklenmeye ait morfolojik özellikler ile bu sürecin altında yatan fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar açısından ele alınmıştır. Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, yaralanmanın bitkide hormonlar ve metabolik sinyaller

aracılığıyla iletilen güçlü bir uyarı oluşturarak oksin birikimini, karbonhidrat dağılımını ve hormonlar arası dengeyi değiştirdiği; bu bütüncül fizyolojik yanıtın adventif kök oluşumunu başlatan ve yönlendiren temel mekanizmalardan biri olduğu açıkça ortaya konmaktadır. Özellikle zor köklenen türlerde, uygun şekilde uygulanan yaralama işlemlerinin köklenme başarısını artırabildiği; bu etkinin oksin uygulamalarıyla birlikte kullanıldığında daha da güçlenebildiği ve köklenmeye ilişkin çeşitli özellikler üzerinde destekleyici etkiler oluşturabildiği çok sayıda çalışmada rapor edilmiştir.

Bununla birlikte, literatürde yer alan sonuçlar yaralama uygulamalarının etkisinin tür, genotip, çelik tipi, yaralama yeri, derinliği ve geometrisi gibi çok sayıda değişkene bağlı olarak farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Ancak göz ardı edilmemesi gereken önemli bir husus, yaralamanın standartlaştırılmış bir düzenek yerine çoğunlukla kesici veya delici aletlerle ve insan eliyle uygulanması durumunda, yaralanma şiddeti ve dokuya nüfuz düzeyinin çelikler arasında eşit biçimde sağlanmasının güçleşmesidir. Özellikle geleneksel mekanik yaralama tekniklerinde, kullanılan aletin keskinliği, uygulayıcının deneyimi ve uygulama basıncındaki küçük farklılıklar, aynı yaralama tanımı altında dahi çelikler arasında anlamlı uygulama farklılıklarının ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu durum, yaralamanın köklenme üzerindeki etkilerinin net biçimde ortaya konmasını zorlaştırmakta; sonuçların tekrarlanabilirliğini ve çalışmalar arası karşılaştırılabilirliğini sınırlamaktadır. Bu nedenle, özellikle bilimsel araştırmalarda yaralama işlemini derinlik, genişlik ve konum açısından standartlaştırabilecek; uygulayıcıya bağlı varyasyonu en aza indirecek makas, bıçak veya benzeri el aletlerinin tasarlanması ve geliştirilmesi, yaralama-köklenme ilişkilerinin daha sağlıklı biçimde ortaya konabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Öte yandan, son yıllarda geliştirilen lazer tabanlı yaralama yaklaşımları, bu bağlamda dikkat çekici bir alternatif sunmaktadır. Lazer yaralama yöntemleri, yaralamanın derinliğinin, konumunun ve geometrisinin yüksek hassasiyetle kontrol edilmesine olanak tanıyarak uygulayıcıya bağlı değişkenliği büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bu yönüyle lazer tabanlı yaralama uygulamaları, yaralama-köklenme ilişkilerinin daha net biçimde analiz edilmesine olanak sağlayan güçlü bir araştırma aracı olarak öne çıkmaktadır. Hassas ve tekrarlanabilir doku hedeflemesi sayesinde, yaralamanın fizyolojik ve biyokimyasal süreçler üzerindeki özgül etkilerinin ayrıştırılmasına imkân tanımakta; aynı zamanda farklı yaralama geometrilerinin ve konumlarının köklenme yanıtı üzerindeki rolünün sistematik olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Her ne kadar uygulama maliyeti ve teknik altyapı gereksinimi nedeniyle pratik üretimde yaygın kullanımı şu aşamada sınırlı olsa da, lazer yaralama yaklaşımlarının sağladığı bu metodolojik

avantajlar, gelecekte hem yaralama mekanizmalarının anlaşılmasına hem de daha kontrollü ve öngörülebilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunma potansiyeli taşımaktadır. Sonuç olarak, yaralamanın çelikle üretimde köklenmeyi destekleyen güçlü bir araç olduğu açıktır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda türlere özgü yaralama yöntemlerinin geliştirilmesi ve modern teknolojilerin uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi, çelikle üretimde köklenme başarısını artırmaya yönelik önemli bir adım olacaktır.

Kaynaklar

- Abu-Abied, M., Szwedrszarf, D., Mordehaev, I., Levy, A., Belausov, E., Yaniv, Y., Uliel, S., Katzenellenbogen, M., Riov, J., & Ophir, R. (2012). Microarray analysis revealed upregulation of nitrate reductase in juvenile cuttings of *Eucalyptus grandis*, which correlated with increased nitric oxide production and adventitious root formation. *The Plant Journal*, 71, 787–799.
- Altamura, M. M., Piacentini, D., Della Rovere, F., Fattorini, L., Falasca, G., & Betti, C. (2023). New paradigms in brassinosteroids, strigolactones, sphingolipids, and nitric oxide interaction in the control of lateral and adventitious root formation. *Plants*, 12(2), 413. <https://doi.org/10.3390/plants12020413>
- Arya, A., Gola, D., Tyagi, P. K., & Husen, A. (2022). **Molecular control of adventitious root formation**. In A. Husen (Ed.), *Environmental, physiological and chemical controls of adventitious rooting in cuttings* (pp. 25–46). Cambridge, MA: Academic Press.
- Aslam, M., & Rather, M. S. (2008). Macropropagation of *Taxus baccata* Linn.: A novel method for conserving a critically endangered medicinal plant. *Indian Forester*, 134, 1058–1066.
- Assogbadjo, A. E., Sinsin, B., De Caluwe, E., & Van Damme, P. (2009). *Développement et domestication du baobab au Bénin*. Cotonou, Bénin: LEAFSA–UAC / DADOBAT. ISBN 978-99919-63-69-3.
- Atkinson, J. A., Rasmussen, A., Traini, R., Voß, U., Sturrock, C., Mooney, S. J., Wells, D. M., & Bennett, M. J. (2014). Branching out in roots: Uncovering form, function, and regulation. *Plant Physiology*, 166, 538–550. <https://doi.org/10.1104/pp.114.245423>
- Awotedu, B. F., Omolola, T. O., Akala, A. O., Awotedu, O. L., & Olaoti-Laaro, S. O. (2021). Vegetative propagation: A unique technique of improving plants growth. *World News of Natural Sciences*, 35, 83–101.
- Babu, B. H., Larkin, A., & Kumar, H. (2018). Effect of plant growth regulators on rooting behavior of stem cuttings of *Terminalia chebula* (Retz.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(8), 2475–2482. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.250>
- Bayraktar, A., Atar, F., Yıldırım, N., & Turna, İ. (2018a). Effects of different media and hormones on propagation by cuttings of European yew (*Taxus baccata* L.). *Şumarski list*, 142(9–10), 509–516. <https://doi.org/10.31298/sl.142.9-10.6>
- Bayraktar, A., Güney, D., & Chavoshi, S. H. (2022). Kırmızı yapraklı Japon akçağacının çelikle üretilmesinde farklı sera ortamları ile oksinlerin etkileri. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9, 84–90. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1090286>
- Bayraktar, A., Güney, D., Atar, F., & Turna, İ. (2025). Evaluation of rooting responses in *Lagerstroemia indica* L. cuttings under different greenhouse

- settings, rooting media, and phytohormonal applications. *Šumarski list*, 149(5–6), 255–263. <https://doi.org/10.31298/sl.149.5-6.4>
- Bayraktar, A., Yıldırım, N., Atar, F., & Turna, I. (2017). The effects of rooting media and some auxins on propagation by cutting of *Cryptomeria japonica* D. Don ‘Elegans’ (Henk & Hochst.) Mast. In *International Forestry and Environment Symposium* (p. 202). Trabzon, Türkiye, November 7–10.
- Bayraktar, A., Yıldırım, N., Atar, F., & Turna, İ. (2018b). Effects of some auxins on propagation by hardwood cutting of autumn olive (*Elaeagnus umbellata* Thunb.). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 5(2), 112–116. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.401438>
- Bellamine, J., Penel, C., Greppin, H., & Gaspar, T. (1998). Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. *Plant Growth Regulation*, 26, 191–194.
- Bellini, C., Pacurar, D. I., & Perrone, I. (2014). Adventitious roots and lateral roots: Similarities and differences. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 639–666. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035645>
- Bilal, M., Khan, P. A., Mir, A. A., Nazir, N., Wani, A. B., Gangoo, S. A., Shah, I. A., & Khateeb, A. (2024). Effect of various concentrations of growth hormone (IBA) and types of cutting sections on rooting and growth of *Platanus orientalis* L. branch cuttings. *Biological Forum – An International Journal*, 16(7), 44–52.
- Blakesley, D. (1994). Auxin metabolism and adventitious root initiation. In T. D. Davis & B. E. Haissig (Eds.), *Biology of adventitious root formation* (pp. 143–153). New York, NY: Plenum Press.
- Blazich, F. A., & Bonaminio, V. P. (1983). Effects of wounding and auxin treatment on rooting stem cuttings of Fraser’s Photinia. *Journal of Environmental Horticulture*, 1(4), 104–106.
- Blythe, E. K. (2012). Hardwood cutting propagation of Confederate rose using auxin and wounding treatments. *HortTechnology*, 22(4), 476–478.
- Boydak, M., & Çalışkan, S. (2014). *Ağaçlandırma*. İstanbul: OGEM-VAK, 714 s.
- Chang, E., Guo, W., Dong, Y., Jia, Z., Zhao, X., Jiang, Z., ...& Liu, J. (2023). Metabolic profiling reveals key metabolites regulating adventitious root formation in ancient *Platyclusus orientalis* cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1192371. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1192371>
- Chen, C., Hu, Y., Ikeuchi, M., Jiao, Y., Prasad, K., Su, Y. H., ...& Wang, J. W. (2024). Plant regeneration in the new era: From molecular mechanisms to biotechnology applications. *Science China Life Sciences*, 67, 1338–1367. <https://doi.org/10.1007/s11427-024-2581-2>
- Clark, D. G., Gubrium, E. K., Barrett, J. E., Nell, T. A., & Klee, H. J. (1999). Root formation in ethylene-insensitive plants. *Plant Physiology*, 121, 53–60.
- da Costa, C. T., de Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Schwambach, J., Maraschin, F. S., & Fett-Neto, A. G. (2013). When stress and development go hand in hand: Main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133.

- De Klerk, G. J., Van Der Krieken, W., & de Jong, J. C. (1999). Review: The formation of adventitious roots: New concepts, new possibilities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 35(3), 189–199.
- de Silva, H., McKenzie, B. A., & Bloomberg, M. (2005). Indolebutyric acid and wounding induced rooting in callused, non-rooted Leyland cypress (*Cupressocyparis leylandii*) stem cuttings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(4), 407–412.
- Demirbaş, A. R. (2010). *Süs bitkileri yetiştiriciliği*. Samsun: Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, 60 s.
- Druege, U., Franken, P., & Hajirezaei, M. R. (2016). Plant hormone homeostasis, signaling, and function during adventitious root formation in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 7, 381. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00381>
- Druege, U., Hilo, A., Pérez-Pérez, J. M., Klopotek, Y., Acosta, M., Shahinnia, F., ... & Hajirezaei, M. R. (2019). Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: Phytohormone action meets resource allocation. *Annals of Botany*, 123(6), 929–949. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy234>
- Ermel, F. F., Vizoso, S., Charpentier, J. P., Allemand, C. J., Catesson, A. M., & Couée, I. (2000). Mechanisms of primordium formation during adventitious root development from walnut cotyledon explants. *Planta*, 211, 563–574.
- Evans, E., & Blazich, F. A. (1999). *Plant propagation by leaf, cane, and root cuttings: Instructions for the home gardener*. North Carolina: North Carolina Cooperative Extension Service.
- Fielding, J. M. (1969). Factors affecting the rooting and growth of *Pinus radiata* cuttings in the open nursery. *Bulletin of Commonwealth Australian Forestry and Timber Bureau*, 45, 36.
- Fouda, R. A., Abdel-Kader, H. H., El-Hindi, K. H., Massoud, H. Y., & Ibrahim, F. R. (2012). Effect of wounding, auxin type and concentration on rooting of lemon verbena (*Aloysia triphylla* (L'Her.) Britton) plant. *Journal of Plant Production*, 3(12), 2927–2943.
- Fröhlich, H. J. (1959). Grundlagen und Voraussetzungen der autovegetativen Vermehrung. *Silvae Genetica*, 8(5), 49–58.
- Gehlot, A., Gupta, R. K., Tripathi, A., Arya, I. D., & Arya, S. (2014). Vegetative propagation of *Azadirachta indica*: Effect of auxin and rooting media on adventitious root induction in mini-cuttings. *Advances in Forestry Science*, 1, 1–9.
- Genç, M. (1995). *Bitki yetiştirme ve plantasyon tekniği ders notu*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ders Teksirleri No: 47.
- Gonin, M., Bergougnoux, V., Nguyen, T. D., Gantet, P., & Champion, A. (2019). What makes adventitious roots? *Plants*, 8, 240. <https://doi.org/10.3390/plants8070240>
- Gorelick, R. (2015). Why vegetative propagation of leaf cuttings is possible in succulent and semisucculent plants. *Haseltonia*, 20, 51–57. <https://doi.org/10.2985/026.020.0109>

- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., & Turna, I. (2021b). The effects of different factors on propagation by hardwood cuttings of some coniferous ornamental plants. *Şumarski list*, 145(9–10), 467–477. <https://doi.org/10.31298/sl.145.9-10.5>
- Güney, D., Bayraktar, A., Atar, F., Chavoshi, S. H., & Turna, İ. (2023). The effects of different rooting temperatures and phytohormones on the propagation of boxwood cuttings. *Baltic Forestry*, 29(1), Article id 593. <https://doi.org/10.46490/BF593>
- Güney, D., Chavoshi, S. H., Bayraktar, A., & Atar, F. (2021a). The effects of temperature and exogenous auxin on cutting propagation of some junipers. *Dendrobiology*, 86, 29–38. <https://doi.org/10.12657/denbio.086.004>
- Hartmann, T. H., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2002). *Plant propagation: Principles and practices* (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hilo, A., Shahinnia, F., Druege, U., Franken, P., Melzer, M., Rutten, T., von Wirén, N., & Hajirezaei, M.-R. (2017). A specific role of iron in promoting meristematic cell division during adventitious root formation. *Journal of Experimental Botany*, 68, 4233–4247. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx248>
- Hoermayer, L., & Friml, J. (2019). Targeted cell ablation-based insights into wound healing and restorative patterning. *Current Opinion in Plant Biology*, 52, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.08.006>
- Hoermayer, L., Montesinos, J. C., Marhava, P., Benková, E., Yoshida, S., & Friml, J. (2020). Wounding-induced changes in cellular pressure and localized auxin signalling spatially coordinate restorative divisions in roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(26), 15322–15331. <https://doi.org/10.1073/pnas.2003346117>
- Huang, A., Wang, Y., Liu, Y., Wang, G., & She, X. (2020). Reactive oxygen species regulate auxin levels to mediate adventitious root induction in *Arabidopsis* hypocotyl cuttings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62, 912–926. <https://doi.org/10.1111/jipb.12870>
- Hussein, S. A., Medan, R. A., & Noori, A. M. (2021). Effect of different agricultural media and wounding on rooting and growing of grapes (*Vitis vinifera* L.) semi-wood cuttings. *Ecology, Environment and Conservation*, 27(1), 52–57.
- Ibironke, O. A. (2017). Response of selected ornamentals to rooting hormone in different propagating media. *Journal of Botany Research*, 1(1), 22–28. <https://doi.org/10.36959/771/55>
- Ikeuchi, M., Ogawa, Y., Iwase, A., & Sugimoto, K. (2016). Plant regeneration: Cellular origins and molecular mechanisms. *Development*, 143, 1442–1451. <https://doi.org/10.1242/dev.134668>
- Ikeuchi, M., Sugimoto, K., & Iwase, A. (2013). Plant callus: Mechanisms of induction and repression. *The Plant Cell*, 25, 3159–3173. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053>

- Jarvis, B. C. (1986). Endogenous control of adventitious rooting in non-woody cuttings. In M. B. Jackson (Ed.), *New root formation in plants and cuttings* (pp. 191–222). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Kamaluddin, M. (1996). *Clonal propagation of Eucalyptus and Acacia hybrid by stem cuttings* (Research report). Dhaka, Bangladesh: Bangladesh Agricultural Research Council.
- Kang, W., Wang, L.-Y., Li, R., Zhang, C.-C., Wu, L.-Y., Li, H.-L., & Cheng, H. (2018). Endogenous nitric oxide and hydrogen peroxide detection in indole-3-butyric acid-induced adventitious root formation in *Camellia sinensis*. *Journal of Integrative Agriculture*, 17, 2273–2280. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62059-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62059-3)
- Kaushik, S., & Shukla, N. (2020). A review on effect of IBA and NAA and their combination on the rooting of stem cuttings of different ornamental crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9, 1881–1885.
- Kızmaz, M. (1996). *Bazı yapraklı ağaç türlerinin vejetatif yolla üretilmesi üzerine araştırmalar*. Ankara Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları No. 262.
- Kora, D., & Bhattacharjee, S. (2020). Redox gateway associated with adventitious root formation under stress and hormonal signalling in plants. *Current Science*, 119, 462.
- Kumar, A., Choudhary, A., Kaur, H., Sangeetha, K., Mehta, S., & Husen, A. (2022). Physiological and environmental control of adventitious root formation in cuttings: An overview. In A. Husen (Ed.), *Environmental, physiological and chemical controls of adventitious rooting in cuttings* (pp. 1–24). Cambridge, MA: Academic Press.
- Lakehal, A., & Bellini, C. (2019). Control of adventitious root formation: Insights into synergistic and antagonistic hormonal interactions. *Physiologia Plantarum*, 165, 90–100. <https://doi.org/10.1111/ppl.12823>
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). *Plant physiological ecology* (3rd ed.). Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1>
- Leakey, R. R. B. (2014). Plant cloning: Macropropagation. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (Vol. 4, pp. 349–359). Oxford: Elsevier.
- Leakey, R. R. B., Chapman, V. R., & Longman, K. A. (1982). Physiological studies for tropical tree improvement and conservation: Some factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management*, 4, 53–66.
- Li, S. W., Xue, L., Xu, S., Feng, H., & An, L. (2009). Mediators, genes and signaling in adventitious rooting. *The Botanical Review*, 75, 230–247. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9029-9>
- Li, S.-W. (2021). Molecular bases for the regulation of adventitious root generation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 614072. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614072>
- Li, S.-W., Leng, Y., & Shi, R.-F. (2017). Transcriptomic profiling provides molecular insights into hydrogen peroxide-induced adventitious rooting

- in mung bean seedlings. *BMC Genomics*, 18, 188. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3576-y>
- Liao, W.-B., Xiao, H.-L., & Zhang, M.-L. (2010). Effect of nitric oxide and hydrogen peroxide on adventitious root development from cuttings of ground-cover chrysanthemum and associated biochemical changes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 338–348. <https://doi.org/10.1007/s00344-010-9140-5>
- Liao, W.-B., Zhang, M.-L., Huang, G.-B., & Yu, J.-H. (2012). Ca²⁺ and CaM are involved in NO- and H₂O₂-induced adventitious root development in marigold. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 253–264. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9235-7>
- Libby, W. J. (1985). Potential of clonal forestry. In L. Zsuffa, R. M. Rauter, & C. V. Yeatman (Eds.), *Clonal forestry: Its impact on tree improvement and our future forests* (Proceedings of the 19th Meeting of the Canadian Tree Improvement Association, Vol. 2(1), p. 235). Ottawa, Canada: Canadian Forestry Service. ISBN 978-0-662-13881-5.
- Liu, P., Zhang, S., Wang, X., Du, Y., He, Q., Zhang, Y., ...& Li, X. (2025a). Adventitious root formation in cuttings: Insights from *Arabidopsis* and prospects for woody plants. *Biomolecules*, 15(8), 1089. <https://doi.org/10.3390/biom15081089>
- Liu, S., Li, X., Xu, L., & Zhang, G. (2025b). Hormone functions in adventitious root formation during cutting propagation of woody plants. *Journal of Plant Research*, 138, 907–914. <https://doi.org/10.1007/s10265-024-01602-8>
- Longman, K. A. (1993). *Rooting cuttings of tropical trees: Tropical trees—Propagation and planting manuals* (Vol. 1). London, UK: Commonwealth Science Council. ISBN 978-0-85092-394-0.
- Lovell, P. H., & White, J. (1986). Anatomical changes during adventitious root formation. In M. B. Jackson (Ed.), *New root formation in plants and cuttings* (pp. 111–140). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Luna, T. (1949). Vegetative propagation. In R. K. Dumroese, T. Luna, & T. D. Landis (Eds.), *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries* (pp. 153–175).
- Mackenzie, K. A. D., Howard, B. H., & Harrison-Murray, R. S. (1986). The anatomical relationship between cambial regeneration and root initiation in wounded winter cuttings of the apple rootstock M.26. *Annals of Botany*, 58, 649–661.
- Maronek, D. M., Studebaker, D., Black, V., McCloud, T., & St. Jean, R. (1983). Stripping vs. nonstripping on rooting of woody ornamental cuttings—grower results. *Combined Proceedings, International Plant Propagators' Society*, 33, 388–398.
- Marx, C., Hustedt, M., Hoja, H., Winkelmann, T., & Rath, T. (2013). Investigations on laser marking of plants and fruits. *Biosystems Engineering*, 116, 436–446. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.005>

- Mohamed, S. A., & Bashir, F. G. E. (2023). Effects of indole butyric acid (IBA), wounding, cutting position and rooting medium on rooting of giant crape myrtle (*Lagerstroemia flos-reginae* Retz.) stem cuttings. *Arab Journal of Water Ethics*, AIESA, Egypt, 6(6), 63–76.
- Monder, M. J., & Pacholczak, A. (2020). Rhizogenesis and concentration of carbohydrates in cuttings harvested at different phenological stages of once-blooming rose shrubs and treated with rooting stimulants. *Biological Agriculture & Horticulture*, 36, 53–70. <https://doi.org/10.1080/01448765.2019.1685407>
- Morales Orellana, R. J., Rath, T., Druege, U., Tandón Moya, Y. A., von Wirén, N., & Winkelmann, T. (2024b). Laser-wound stimulated adventitious root formation of *Rosa canina* cuttings involves a complex response at plant hormonal and metabolic level. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1515990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1515990>
- Morales Orellana, R. J., Winkelmann, T., & Rath, T. (2024a). Laser wounding pattern in relation to vascular tissue development for the stimulation of adventitious root formation in rose cuttings. *Scientia Horticulturae*, 338, 113647. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113647>
- Morales Orellana, R. J., Winkelmann, T., Bettin, A., & Rath, T. (2022). Stimulation of adventitious root formation by laser wounding in rose cuttings: A matter of energy and pattern. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1009085. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009085>
- Oliveira, E. T. (1989). *Propagação vegetativa de Pinus sp. via cultura de tecido* (Master's thesis). Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, São Paulo, Brazil.
- Ooyama, N., & Toyoshima, A. (1965). Rooting ability of pine cuttings and its promotion. *Bulletin of the Governmental Forestry Experimentation Station*, 179, 99–125.
- Palanisamy, K., & Subramanian, K. (2001). Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L.). *Silvae Genetica*, 50(5–6), 188–190.
- Panda, P. C., Mohanty, S. K., Bal, P., & Kamila, P. K. (2019). Macro-propagation of threatened plants of India and its conservation implications. *Frontiers in Plant Science*.
- Parthiban, K. T., Sudhagar, R. J., Kanna, S. U., Vennila, S., & Baranidharan, K. (2016). *Forestry: A subjective guide for IFS aspirants*. Jodhpur, India: Scientific Publishers–Competition Tutor.
- Prabakaran, P., Kanna, S. U., Parthiban, K. T., Rajendran, P., & Mahendran, S. (2017). Macropropagation of *Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr. clones. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8(3), 764–771. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2017.00117.X>
- Rafiqul, H. A. (2008). Rootability of *Dalbergia sissoo* Roxb. cuttings from different clones at two different levels and their primary field growth performance. *Dendrobiology*, 59, 9–12.

- Reddy, M. C., Indu, K., Bhargavi, C., Rajendra, M. P., & Babu, B. H. (2022). A review on vegetative propagation and applications in forestry. *Journal of Plant Development Sciences*, 14(3), 265–272.
- Rigal, A., Yordanov, Y. S., Perrone, I., Karlberg, A., Tisserant, E., Bellini, C., Busov, V. B., Martin, F., Kohler, A., & Bhalerao, R. (2012). The AINTEGUMENTA LIKE1 homeotic transcription factor PtAIL1 controls the formation of adventitious root primordia in poplar. *Plant Physiology*, 160, 1996–2006. <https://doi.org/10.1104/pp.112.204453>
- Roussos, P. A. (2023). Adventitious root formation in plants: The implication of hydrogen peroxide and nitric oxide. *Antioxidants*, 12(4), 862. <https://doi.org/10.3390/antiox12040862>
- Saumitro, D., & Jha, L. K. (2014). Effect of wounding and plant growth regulators (IBA and NAA) on root proliferation of *Taxus wallichiana* shoot cuttings. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2(12), 8-14.
- Schillmiller, A. L., & Howe, G. A. (2005). Systemic signaling in the wound response. *Current Opinion in Plant Biology*, 8, 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.05.008>
- Shibuya, K., Barry, K. G., Ciardi, J. A., Loucas, H. M., Underwood, B. A., Nourizadeh, S., Ecker, J. R., Klee, H. J., & Clark, D. G. (2004). The central role of PHEIN2 in ethylene responses throughout plant development in *Petunia*. *Plant Physiology*, 136, 2900–2912. <https://doi.org/10.1104/pp.104.046979>.
- Singh, K. K. (2018). A review: Macro-propagation of guava (*Psidium guajava*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2629–2634.
- Smart, D. R., Kocsis, L., Walker, M. A., & Stockert, C. (2003). Dormant buds and adventitious root formation by *Vitis* and other woody plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(4), 296–314. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0001-3>
- Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 170, 603–617. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>
- Tailor, A., Kumari, A., Gogna, M., & Mehta, S. (2022). Revisiting the anatomical changes during adventitious root formation in cuttings. In A. Husen (Ed.), *Environmental, physiological and chemical controls of adventitious rooting in cuttings* (pp. 101–132). Cambridge, MA: Academic Press.
- Tchoundjeu, Z., Mpeck, M. L., Asaah, E., & Amougou, A. (2004). The role of vegetative propagation in the domestication of *Pausinystalia johimbe* K. Schum., a highly threatened medicinal species of West and Central Africa. *Forest Ecology and Management*, 188, 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.010>
- Tewari, R. K., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2008). Function of nitric oxide and superoxide anion in the adventitious root development and antioxidant defence in *Panax ginseng*. *Plant Cell Reports*, 27, 563–573. <https://doi.org/10.1007/s00299-007-0448-y>

- Turna, İ. (2017). *Kent ormancılığı (Kentsel yeşil alanlar)*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 245, Fakülte Yayın No: 43, 345 s., KTÜ Matbaası.
- Ürgenç, S. (1982). *Orman ağaçları ıslahı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No. 293, 414 s.
- Ürgenç, S. (1992). *Ağaç ve süs bitkileri fidanlık ve yetiştirme tekniği*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No. 3676, Fakülte Yayın No: 418.
- Wasternack, C. (2007). Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of Botany*, 100, 681–697. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm079>
- Welch-Keesey, M. M., & Lerner, B. R. (2002). *New plants from cuttings*. West Lafayette, IN: Purdue University, Cooperative Extension Service.
- Wells, J. S. (1962). Wounding cuttings as a commercial practice. *Combined Proceedings, International Plant Propagators' Society*, 12, 47–55.
- Wiesman, Z., & Jaenicke, H. (2002). Introduction to vegetative tree propagation: Concepts and principles. In H. Jaenicke & J. Beniest (Eds.), *Vegetative tree propagation in agroforestry: Training guidelines and references* (p. 148). Nairobi, Kenya: International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). ISBN 978-92-9059-143-6.
- Xu, L. (2018). De novo root regeneration from leaf explants: Wounding, auxin, and cell fate transition. *Current Opinion in Plant Biology*, 41, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.08.004>
- Yahyaoglu, Z., & Güney, D. (2013). *Ağaç ıslahı ders notu*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Ders Notları Yayın No: 93.
- Yıldırım, N., Bayraktar, A., Atar, F., Güney, D., Öztürk, M., & Turna, İ. (2020). Effects of different genders and hormones on stem cuttings of *Salix anatolica*. *Journal of Sustainable Forestry*, 39, 300–308. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1638274>
- Zhao, X., Zheng, H., Li, S., Yang, C., Jiang, J., & Liu, G. (2014). The rooting of poplar cuttings: A review. *New Forests*, 45(1), 21–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9389-1>
- Zhou, L. (2005). *Salt tolerance, propagation and provenance evaluation of Taxodium as a landscape and coastal wetland tree* (Master's thesis). Department of Horticulture, Stephen F. Austin State University, Nacogdoches, TX.