

TÜRKİYE VE DÜNYADA ZOOTEKNİ

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Serdar GÜLER

yaz
yayınları

Türkiye ve Dünyada Zootekni

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Serdar GÜLER

yaz
yayınları

2025

Türkiye ve Dünyada Zootečni

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Serdar GÜLER

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8574-42-5

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Karbon Ayak İzi.....	1
<i>İsmail ÜLGER, Hüseyin Mert YÜKSEL</i>	
Ruminant Hayvanlarda Metan Üretimi ve Ölçüm Yöntemleri.....	23
<i>İsmail ÜLGER, Hüseyin Mert YÜKSEL</i>	
Köpek Oral Mikrobiyotasının Yetiştiricilik ve Halk Sağlığı Perspektifinden Önemi.....	57
<i>Mehmet YARDIMCI</i>	
Sheep Breeding in Turkey in the Context of Climate Change: Genetic Adaptation, Morphological Resilience, and Sustainability.....	90
<i>Kadir KARAKUŞ</i>	
Tavuk Yumurtası Kalitesi: Kalite Kriterleri ve Sınıflandırma	100
<i>Vahdettin SARIYEL, Özcan Barış ÇİTİL</i>	
Türkiye Kanatlı Sektörünün Yapısal Dönüşümü: Ekonomik Katkı, Mevcut Zorluklar ve Sürdürülebilir Kalkınma İçin Politika Önerileri	123
<i>Vahdettin SARIYEL, Özcan Barış ÇİTİL</i>	
Keklik Yetiştiriciliğinde Kuluçka Performansı ve Yumurta Kalitesini Etkileyen Faktörlere Güncel Yaklaşımlar.....	137
<i>Zahit Kutalmış KAYA</i>	
Taylarda Kritik Dönem: Doğumdan Sütten Kesime Kadar Karşılaşılan Riskler.....	150
<i>Zahit Kutalmış KAYA</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

KARBON AYAK İZİ

İsmail ÜLGER¹

Hüseyin Mert YÜKSEL²

1. GİRİŞ

Hayvancılık, küresel tarımsal üretim içerisinde ekonomik açıdan önemli bir paya sahiptir. Dünya tarım Gayri Safi Yurtiçi Hasılasının (GSYH) yaklaşık üçte biri bu sektörden kaynaklanmakta, gelişmiş ülkelerde endüstriyel bir yapı kazanmış ve gıda üretiminin yanı sıra istihdam ve dış ticaret açısından da stratejik bir rol üstlenmiştir (Aydın Deniz, 2025). Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel çeşitliliği, hayvancılığa elverişli koşullar sunmakta; hayvan varlığı ve üretim kapasitesi giderek artmaktadır. Küresel projeksiyonlar, hayvansal gıda talebinin 2050'ye kadar %50 artacağını öngörmekte olup (FAO ve GDP, 2018), bu da Türkiye'nin potansiyelini daha da önemli kılmaktadır.

Hayvansal üretim, yalnızca protein ve mikro besin öğeleri açısından değil, küresel beslenme güvenliği bakımından da kritik önemdedir. Bu bağlamda süt, temel bir gıda maddesi olarak öne çıkmaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık %80'i düzenli olarak süt ürünleri tüketmekte, süt talebinin 2050'ye kadar %48 artacağı öngörülmektedir (Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Ancak süt üretiminin genişlemesi, özellikle sindirim süreçleri ve gübre yönetimi kaynaklı sera gazı emisyonları nedeniyle çevresel

¹ Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID: 0000-0002-9400-6459.

² Arş. Gör, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID: 0000-0002-9429-8877.

sürdürülebilirliği tehdit etmektedir (Forests, 2016). Bu nedenle, emisyonların ölçülmesi ve azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Hayvancılık faaliyetlerinde arazi, su ve enerji kullanımındaki artış ile emisyonlar, ekosistemler üzerinde ciddi baskılar yaratmaktadır (De Vries ve De Boer, 2010). Tarım ve hayvancılık sektörü, CO₂, CH₄ ve N₂O gibi güçlü sera gazlarının başlıca kaynakları arasında yer almakta, bu emisyonlar küresel ısınmayı hızlandırmaktadır (IPCC, 2006; FAO, 2009). Bu çerçevede, üretim süreçlerinin çevresel etkilerini analiz etmek amacıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ve Karbon Ayak İzi (CF) yöntemleri kullanılmaktadır. Karbon ayak izi, ürün birimi başına CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilmekte ve emisyonların azaltılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır (Flachowsky ve Kamphues, 2012).

Artan nüfus ve gıda talebi, hayvancılık sektöründe sürdürülebilir üretim uygulamalarını ve sera gazı emisyonlarının yönetimini zorunlu kılmaktadır. Süt ve hayvansal üretim sistemlerinde karbon ayak izi analizleri hem gıda güvenliği hem de ekosistemlerin korunması açısından kritik bir araştırma alanı oluşturmakta; aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadelede politika geliştirilmesine bilimsel temel sağlamaktadır.

Bununla birlikte, verimlilik artışının belirli bir eşiği aşması durumunda, özellikle yoğun konsantre yemle besleme, sınırlı otlatma ve yüksek verimli hayvanların kullanımı gibi uygulamalar üretim sistemini entansif hale getirebilir ve hayvan refahı üzerinde olumsuz etkiler doğurabilir. Buna karşılık, daha az gelişmiş veya yarı-entansif sistemlerde hayvanların beslenme, üreme ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi yoluyla verimlilik artışı sağlanabilir; bu durum emisyonların azaltılmasına katkıda bulunurken aynı zamanda hayvan refahını destekleyebilir (Akça ve Yetişgin, 2023).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KÜRESEL ISINMA

Hayvancılık sektörü dünya tarımsal GSYH'sının yaklaşık %40'ını oluşturmakta ve 1,3 milyar kişiye istihdam sağlamaktadır (FAO, 2006). Ancak iklim değişikliği, ekosistemlerin ve hayvansal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Moss ve ark., 2000). Artan nüfus ve refah düzeyiyle birlikte hayvansal ürün talebinin yüzyılın ilk yarısında iki katına çıkması beklenmekte olup bu durum gıda güvenliği üzerinde baskı oluşturmaktadır (Naqvi ve Sejian, 2011).

Küresel iklim değişikliği; kuraklık, sel, üretim kayıpları, gıda güvenliği sorunları ve sağlık riskleri gibi çevresel etkiler yaratmaktadır (IPCC, 2007). Sera gazlarının doğal ve antropojenik kaynaklı artışı, özellikle CO₂, CH₄ ve N₂O gibi gazların atmosferde birikmesiyle hızlanmıştır. İklim değişikliği hayvansal üretimi yem ve mera kalitesi, hayvan sağlığı, üreme performansı ve hastalıkların yayılımı üzerinden olumsuz etkilemektedir (Moss ve ark., 2000). Termal strese duyarlı türlerde verim kayıpları belirgin olup, yem bitkilerinin C₃'ten düşük kaliteli C₄ türlerine yönelmesi üretimi daha da zorlaştırmaktadır (Barbehenn ve ark., 2004).

Küresel ısınma, sera gazı birikiminin yeryüzü sıcaklığını artırmasıyla ortaya çıkmakta ve hayvansal üretimde su kaynaklarını, mera verimliliğini ve hayvanların termal konforunu etkileyerek büyüme ve üreme üzerinde baskı yaratmaktadır. Aşırı hava olayları, kuraklık ve sıcaklık artışları sektörde ekonomik riskleri artırmaktadır (Naqvi ve Sejian, 2011). Hayvancılık kaynaklı sera gazları küresel emisyonların yaklaşık %18'ine katkı sağlamakta; özellikle metan, radyatif etkisi yüksek bir gaz olarak öne çıkmaktadır (WHO, 2009).

Sanayi devriminden bu yana fosil yakıt kullanımı CO₂ birikimini artırmış ve son 100 yılda yüzey sıcaklığı yaklaşık 1 °C

yükselmiştir. IPCC, yüzyıl sonunda sıcaklık artışının 1,4–5,8 °C arasında olacağını öngörmektedir (IPCC, 2007). Bu nedenle Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi uluslararası mekanizmalar devreye alınmış; Türkiye 2053 yılı için karbon-nötr hedefini ilan etmiştir. Avrupa Birliği de “Fit for 55” ile 2030’a kadar %55 emisyon azaltımını amaçlamaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

2.1. Küresel Isınma ve Hayvancılık

İklim değişikliği, ekosistemler ve hayvancılık üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Moss ve ark., 2000; Aydın Deniz, 2025). Artan sıcaklıklar yem bitkilerinde lignin ve hücre duvarı bileşenlerini artırarak sindirilebilirliği düşürmekte ve hayvanların besin alımını azaltmaktadır (Polley ve ark., 2013). Bu durum verim kayıplarıyla birlikte metan emisyonlarının artmasına yol açmaktadır (Benchaar ve ark., 2001).

Hayvansal ürünler küresel gıda güvenliğinde önemli bir yer tutmakta; dünya genelinde et ve süt talebinin 2050’ye kadar belirgin şekilde artması beklenmektedir (Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Ancak su kıtlığı ve sıcaklık artışları mera verimliliğini azaltarak sektör üzerinde baskı oluşturmaktadır (Nardone ve ark., 2010). Isı stresine maruz kalan hayvanlarda yem tüketimi, üreme, büyüme performansı ve su tüketimi önemli ölçüde etkilenmekte; özellikle yüksek verimli sığırlarda doğurganlık ve vücut gelişimi olumsuz etkilenmektedir (Howden ve ark., 2008). Bu nedenle gölgelik ve soğutma sistemleri gibi adaptasyon stratejileri önem taşımaktadır (Sirohi ve Michaelowa, 2007).

Küresel ısınma biyolojik çeşitliliği de tehdit etmekte; türlerin %15–37’sinin yok olma riskiyle karşı karşıya olduğu bildirilmektedir (Thomas ve ark., 2004). Hayvancılık sektörü ise toplam antropojenik sera gazı emisyonlarının %14,5’ini

oluşturmakta; enterik fermantasyon ve gübre yönetimi kaynaklı metan, çiftlik emisyonlarının %35–55'ine karşılık gelmektedir (Gerber ve ark., 2013; IPCC, 2006). Artan küresel talep doğrultusunda, metan emisyonlarını azaltacak doğal katkı maddeleri ve yem verimliliğini artıran uygulamalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Bačėninaitė ve ark., 2022).

2.2. Küresel Isınmanın Hayvancılık Üzerine Etkileri

Küresel ısınma, hayvancılık sektörünü doğrudan etkileyerek hayvanların verimliliği, yaşam biçimleri, dayanıklılığı ve tür çeşitliliğini belirlemektedir (Altınçekiç ve Koyuncu, 2013). Artan sıcaklıklar büyüme, et, süt ve yumurta verimi ile üreme, metabolik süreçler ve bağışıklık sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Çölleşme ve iklim değişikliği, yem üretim alanlarının taşıma kapasitesini düşürerek tarımsal sistemlerin çevresel stresleri dengeleme yeteneğini azaltmaktadır (Koyuncu ve Akgün, 2018).

Meraya dayalı olmayan sistemler, yüksek yem maliyetleri ve hayvan genotiplerinin çevresel adaptasyon kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle risk altındadır (Nardone, 2002). Yüksek sıcaklıklar, sağmal hayvanlarda süt miktarı ve kalitesini azaltmakta, laktasyon süresini kısaltmakta ve besi hayvanlarının canlı ağırlık artışı yavaşlatmaktadır. Örneğin, yaz aylarında süt sığırlarında gebelik oranlarında %36'ya varan düşüşler gözlenmiştir (Nardone ve ark., 2010). Küresel ısınma ayrıca kış uykusu, yumurtlama ve göç davranışlarını değiştirerek biyolojik döngüleri etkiler (Koyuncu ve Akgün, 2018).

İklim değişikliğinin dolaylı etkileri arasında yem ve su kaynaklarında kıtlık, beslenmeye bağlı hastalıkların artışı ve vektör kaynaklı patojenlerin yayılımı yer alır (Koyuncu ve Akgün, 2018). Yüksek sıcaklık ve nem, hem bulaşıcı hastalıkların yayılımını artırmakta hem de hayvanlarda sıcaklık stresine yol açmaktadır. Bu stresler yem tüketimini azaltır, sağlık durumunu

bozar, üreme performansını düşürür ve verim kaybına neden olur (Tirado ve ark., 2010). Hormonal değişimler, solunum hızını artırarak su tüketimini yükseltir ve hayvanların adaptasyon kapasitesini daha da sınırlar.

Küresel ısınma, atmosferdeki sera gazı (GHG) konsantrasyonlarının artmasıyla doğrudan ilişkilidir ve tarım ile hayvancılık sektörlerinden kaynaklanan karbon ayak izini büyütmektedir. Özellikle metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) emisyonları hayvancılıktan önemli ölçüde kaynaklanmaktadır. Metan, CO_2 'ye kıyasla 20 kat daha yüksek ısı potansiyele sahip olup, enterik fermantasyon yoluyla oluşan emisyonlar toplam antropojenik metan salımlarının yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Bu durum, sera etkisini artırarak küresel ısınmayı hızlandırmakta ve hayvancılık sektöründe metan emisyonlarının azaltılmasını iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir strateji hâline getirmektedir.

3. SERA GAZLARI

Sera gazları, Dünya atmosferindeki toplam gazların yalnızca çok küçük bir kısmını (<%1) oluşturmalarına rağmen, atmosfer sıcaklığının canlı yaşamına uygun düzeyde tutulmasında kritik bir role sahiptir. Bu gazlar olmaksızın, atmosferin ısı dengesi korunamayacağından bitki ve hayvan yaşamının bu gezegende sürdürülmesi mümkün olamazdı (Naqvi ve Sejian, 2011).

Karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) en önemli iki sera gazıdır ve 1950'den bu yana atmosferdeki konsantrasyonları CO_2 'nin 350 ppm'den 410 ppm'ye %28'lik bir artış ve CH_4 'ün ise 1100 ppm'den 1875 ppm'ye yükselerek %70'lik bir artışa geçtiği görülmektedir (Aydın Deniz, 2025). Atmosferde karbondioksit, metan, su buharı ve nitroz oksit (N_2O) gibi doğal sera gazlarının yanı sıra hidroflorokarbonlar perflorokarbonlar,

kloroflorokarbonlar ve kükürt gibi sentetik sera gazları da bulunmaktadır (Black ve ark., 2021). Metan, en önemli sera gazlarından biridir ve sera etkisine olan payından dolayı CO₂'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Metan, yüksek bir ısı tutma kapasitesine sahip olup, CO₂'ye kıyasla yaklaşık 21 kat daha güçlüdür. Bununla birlikte, atmosferdeki ömrü diğer sera gazlarına göre daha kısa olduğundan, metan emisyonlarını azaltmaya yönelik önlemler daha hızlı ve etkili sonuçlar sağlayabilmektedir (Aydın Deniz, 2025). IPCC'nin 100 yıllık değerlendirmelerine göre, atmosferde CO₂'den sonra en fazla bulunan sera gazları olan N₂O ve CH₄'ün küresel ısınma potansiyelleri, CO₂ eşdeğerleri cinsinden sırasıyla 1 milyon ton CH₄ için 27 milyon ton CO₂ ve 1 milyon ton N₂O için 273 milyon ton CO₂ olarak belirlenmiştir. Bu veriler, CO₂'nin atmosferde ısı tutma kapasitesinin N₂O'ya göre daha düşük olduğunu göstermektedir (Aydın Deniz, 2025).

3.1. Ekosistemde Mevcut Sera Gazı Üretimi

Sera gazları, doğal süreçlerin yanı sıra fosil yakıt kullanımı, arazi değişimi, ormansızlaşma, biyokütle yanması ve tarımsal faaliyetler sonucu atmosfere salınmaktadır (EPA, 2020). Tarımsal üretim uzun süredir ekosistemlerin bir parçası olsa da, özellikle CO₂, CH₄ ve N₂O salımları nedeniyle günümüzde küresel ısınmanın ana kaynaklarından biri hâline gelmiştir. Toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %11'inin hayvansal üretimden kaynaklandığı bildirilmektedir (Gerber ve ark., 2013).

Küresel bir sektör hâline gelen hayvancılık, özellikle CH₄ ve N₂O emisyonlarıyla iklim değişikliğine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. IPCC verilerine göre CH₄ küresel emisyonların %15–20'sini, N₂O ise yaklaşık %6'sını oluşturmaktadır (EPA, 2020). Atmosferde çok düşük bir oranda bulunsalar da sera gazları, uzun dalga radyasyonu tutarak Dünya'nın yaşanabilir bir

sıcaklıkta kalmasını sağlar; ancak sanayi devrimi sonrası antropojen emisyonların hızla artması, bu dengeyi bozarak iklim değişikliğini tetiklemiştir. Enerji üretimi ve tüketimi (%49), endüstri (%24), ormansızlaşma (%14) ve tarım (%13) küresel artışın başlıca kaynaklarıdır (Koyuncu ve Akgün, 2018).

Hayvansal üretimde emisyonlar; arazi kullanımı, enterik fermentasyon, gübre yönetimi, işleme ve taşımacılık gibi süreçlerden kaynaklanmaktadır (Peng ve ark., 2016). Ayrıca yem kalitesi, hayvanın genetik yapısı, stres düzeyi ve yemden yararlanma verimliliği gibi biyolojik faktörler emisyon miktarını doğrudan etkilemektedir (Hegarty ve ark., 2007). Bu nedenle sera gazı yönetimi, yalnızca çevresel bir zorunluluk değil, aynı zamanda sürdürülebilir hayvancılık politikalarının temel bileşeni hâline gelmiştir. Son yıllarda hem hükümetler hem de bilim insanları, iklim değişikliğiyle mücadelede emisyon azaltımı ve sürdürülebilirlik stratejilerine giderek daha fazla odaklanmaktadır (Akça ve Yetişgin, 2023).

3.2. Hayvansal Üretim Faaliyetlerinin Sera Gazı Salımlarına Katkısı

Hayvancılık faaliyetleri, küresel sera gazı emisyonlarında önemli bir paya sahiptir ve özellikle metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve diazot monoksit (N_2O) salımlarıyla iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (Shibata ve Terada, 2010). Artan nüfus ve gıda talebi, sığır yetiştiriciliği ve kümes hayvancılığının yoğunlaşmasına yol açmış; bu durum hayvancılığı küresel metanın başlıca kaynaklarından biri hâline getirmiştir (Michaelowa ve Sirohi, 2004). Hayvansal atıklardan açığa çıkan amonyak ve metan, çevresel kirliliğin ve sera etkisinin artışında belirleyici rol oynamaktadır (Bauer, 1994).

Hayvansal üretim sistemlerinde CH_4 ve N_2O 'nun temel kaynakları enterik fermentasyon ve gübre yönetimi olup, geviş getirenlerde sindirim süreci küresel metan salımlarının yaklaşık

%16'sını oluşturmaktadır (Crutzen ve ark., 1986). Gübrelerin anaerobik koşullarda parçalanması ise küresel metanın %5'ine karşılık gelmektedir (Scheehle, 2002). Sığır eti ve süt üretimi, hayvansal kaynaklı emisyonların %20–41'ini oluştururken; küçükbaş hayvanlarda bu oran yaklaşık %6,5'tir (Akça ve Yetişgin, 2023). Koyun ve keçiler yıllık 10–16 kg, sığırlar ise 60–160 kg CH₄ üretmektedir. N₂O ise özellikle gübre ve mera kaynaklı dönüşümlerde ortaya çıkmakta ve sığır işletmelerinde toplamın %60'ına ulaşmaktadır (Zervas ve Tsiprakou, 2012).

Bu gazlar yalnızca iklim değişikliğini hızlandırmakla kalmaz; hayvan sağlığı, refahı ve verimliliği üzerinde de olumsuz etkiler yaratır (Gerber ve ark., 2013; IPCC, 2019). Bu nedenle, sürdürülebilir hayvancılık için yem optimizasyonu, gübre yönetimi, genetik ıslah ve enterik fermentasyonu azaltıcı teknolojilerin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bilim temelli stratejiler sayesinde sektörün karbon ayak izi azaltılabilir ve hayvansal üretimin çevresel etkileri kontrol altına alınabilir (Peng ve ark., 2016).

4. KARBON AYAK İZİ

4.1. Karbon Ayak İzi ve Hayvansal Üretimin Küresel Etkileri

Karbon ayak izi, bir ürün veya hizmetin hammaddeden nihai tüketime kadar yaşam döngüsü boyunca atmosfere saldıgı sera gazlarının karbondioksit eşdeğeri (CO₂eq) cinsinden ölçümüdür (Lynas, 2009; Aydın Deniz, 2025). Bu kavram, yalnızca CO₂ değil, metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) ve diğer sera gazlarının toplam iklim etkisini de kapsar. Karbon ayak izi, bireyler, sektörler ve ülkeler için çevresel etkinin nicel değerlendirilmesini sağlayarak, sürdürülebilir üretim ve politika geliştirme açısından kritik bir araçtır (Wiedmann ve Minx, 2008).

Hayvancılık sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %15'inden sorumludur. Emisyonların %80'e yakını, geniş getiren hayvanların enterik fermantasyon süreçleri ve gübre yönetiminden kaynaklanmaktadır (Persson ve ark., 2015). Rumende gerçekleşen mikrobiyal sindirim, yemle alınan brüt enerjinin %2–12'sinin metana dönüşmesine yol açarak hem ekonomik kayıp hem de ekolojik risk oluşturur (Öztürk, 2007). Metan, CO₂'ye kıyasla 23 kat daha güçlü bir sera gazı olup, atmosferde yaklaşık 10 yıl kalabilmektedir (Öztürk, 2007; Bernstein ve ark., 2008). Yetişkin bir sığırın rumeninde günlük 500–1500 litre gaz oluşmakta, bunun %30–40'ı metan, %50–60'ı CO₂'dir (Aydın Deniz, 2025).

Metan emisyonlarının kaynağı yalnızca enterik fermantasyon değildir; gübre yönetimi de önemli bir CH₄ kaynağıdır. Anaerobik mikrobiyal faaliyetler, gübrelerin depolanması, uygulanması veya yanması sırasında metan salınımına yol açar (Lusk, 1998). Bu nedenle hayvancılığın karbon ayak izi değerlendirilirken her iki süreç de kapsamlı şekilde ele alınmalıdır.

Karbon ayak izi ölçümleri, değerlendirme hedeflerine göre ton CO₂eq veya hayvan başına yıllık kg CO₂eq olarak ifade edilebilir (Aydın Deniz, 2025). Örneğin, Brezilya'daki 22 çiftlikte yapılan bir çalışmada sığır eti üretiminde sera gazı emisyonlarının %89–98'i hayvansal faaliyetlerden kaynaklanmış, bunun %67–79'u enterik fermantasyon, %20–33'ü gübre yönetimi süreçlerinden oluşmuştur (Cerri ve ark., 2016).

Sonuç olarak, karbon ayak izi, hayvancılık faaliyetlerinin çevresel etkilerini yaşam döngüsü perspektifinden değerlendirerek niceliksel olarak ortaya koyar ve ekonomik verimlilik, doğal kaynak yönetimi ve sürdürülebilir üretim stratejilerinde kritik bir planlama aracıdır. Enterik fermantasyon

ve gübre yönetimi kaynaklı metan salınımlarının azaltılması, hem karbon ayak izinin düşürülmesi hem de iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir öncelik olarak öne çıkmaktadır (Persson ve ark., 2015; Öztürk, 2007).

4.2. Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi

Karbon ayak izi (CF), hem üreticiler hem de tüketiciler açısından doğal kaynakların verimli kullanımı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması bağlamında önemli bir göstergedir. Özellikle fosil yakıt kullanımı gibi sınırlı kaynaklara ilişkin farkındalığı artırarak çevresel sorumluluk bilincini güçlendirir (Flachowsky, 2011).

Buna karşın mevcut hesaplama yöntemlerinde sınırlılıklar ve belirsizlikler bulunmakta, bu nedenle karbon ayak izi mutlak ve değişmez bir ölçüt olarak değerlendirilmemelidir. CF verilerinin yorumlanmasında temkinli olunmalı ve metodolojik eksikliklerin giderilmesine yönelik çalışmalar öncelik kazanmalıdır.

Küresel iklim değişikliği tartışmalarında, CO₂'nin sera etkisine ilişkin görüşler zaman zaman farklılık gösterse de, fosil yakıtlardan salınan CO₂'nin karbon ayak izine anlamlı katkısı bilimsel olarak kabul edilmektedir. Bu emisyonların azaltılması aynı zamanda enerji tasarrufuna da doğrudan katkı sağlar (Flachowsky, 2011).

Karbon ayak izi ile birincil enerji talebi arasındaki ilişki, hayvan türlerine göre değişiklik göstermektedir. Ruminant hayvanlarda yoğun metan emisyonları nedeniyle bu korelasyon daha düşük iken, ruminant olmayan türlerde daha yüksek bir ilişki gözlenmektedir (Leip ve ark., 2010; Peters ve ark., 2010).

4.3. Hayvansal Kökenli Gıdaların Karbon Ayak İzine Dayalı Değerlendirilmesi

Hayvansal ürünlerin karbon ayak izine dayalı değerlendirilmesi, politika yapıcılar ve karar vericiler için önemli bir referans sunmaktadır. Bununla birlikte, erken aşamada kesin yargılara varılması hem bilimsel hem de toplumsal düzeyde yanlış anlamalara yol açabilir (Flachowsky, 2011). Mevcut çalışmaların sınırlı veri setlerine dayanması, karbon ayak izi (CF) hesaplamalarının nihai ve eksiksiz olduğu izlenimini oluşturabilmektedir. Bu nedenle, CF analizlerinin daha güvenilir, ayrıntılı ve bütüncül yöntemlerle geliştirilmesi gerekmektedir (Leip ve ark., 2010; Flachowsky, 2011).

Hayvansal üretim zinciri boyunca sera gazı emisyonlarının doğru biçimde hesaplanabilmesi için öncelikli araştırma alanları şunlardır:

1. Emisyonların Doğru ve Kapsamlı Nicelendirilmesi

- Gıda zincirinin tüm aşamalarında emisyon kaynaklarının ayrıntılı belirlenmesi
- Diazot monoksit (N_2O) emisyonlarının hassas ölçümlerle tespiti
- Doğrudan ve dolaylı emisyonların doğru hesaplanması
- Enterik fermentasyon ve gübre yönetiminden kaynaklanan metan emisyonlarına ilişkin veri altyapısının güçlendirilmesi
- Hesaplama yöntemlerinin standardize edilmesi ve sistem sınırlarının net şekilde tanımlanması (Zehetmeier, 2009; Flachowsky, 2011; Leip ve ark., 2010)

2. Emisyon Azaltımına Yönelik Bilgi ve Uygulamalar

- CO₂ emisyonlarının enerji verimliliği ve süreç iyileştirmeleriyle azaltılması
- Azot atılımının düşürülmesi, özellikle üre kaynaklı hayvan emisyonlarının kontrol edilmesi
- Enterik metan salınımını azaltmaya yönelik stratejiler ve gübrelerin biyogaz üretiminde değerlendirilmesi
- Uzun dönemli in vivo çalışmalarla farklı üretim uygulamalarının emisyon azaltım potansiyelinin belirlenmesi (Flachowsky ve Lebzien, 2009; López ve ark., 2009)

3. Biyoteknolojik Yaklaşımların Değerlendirilmesi

- Modern biyoteknolojinin hayvan besleme, ıslah ve çevresel verimlilik üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi
- Bu uygulamaların emisyon azaltımına katkılarının belirlenmesi (Capper ve ark., 2008)

Bu süreçte, yem bilimi, ekoloji, bitki ıslahı, ekonomi ve hayvancılık bilimleri gibi disiplinlerin iş birliği içinde çalışması, metodolojik sorunların çözümü ve daha güvenilir karbon ayak izi hesaplamalarının geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Flachowsky, 2011).

Öte yandan, karbon ayak izi yalnızca hayvansal ürünlerin çevresel etkilerini kıyaslamaya yönelik bir ölçüt olup, tek başına sürdürülebilirlik değerlendirmesi için yeterli değildir. Emisyonların azaltılması kadar tarım arazisi, su, fosfor ve enerji gibi sınırlı doğal kaynakların etkin kullanımı da dikkate alınmalıdır. Çim, saman ve tarım yan ürünlerinin geniş getiren hayvan beslemesinde kullanılması, döngüsel biyokütle yönetimini güçlendirerek kaynak verimliliğine katkı

sağlamaktadır. Bu nedenle, hayvansal üretim sistemlerinin bütüncül bir bakış açısıyla incelenmesi ve üretim yollarının entegre modellerle değerlendirilmesi, hem çevresel etkilerin hem de kaynak kullanım verimliliğinin iyileştirilmesi açısından zorunlu görünmektedir (Flachowsky, 2011).

5. SONUÇ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, tüketim alışkanlıklarındaki değişim ve doğal kaynakların sürdürülebilir olmayan şekilde kullanımı, gıda üretim sistemlerini daha yoğun, daha baskıcı ve çevresel etkileri yüksek yöntemlere yönlendirmiştir. Bu süreç, ekosistem üzerinde özellikle sera gazı emisyonları bağlamında önemli baskılar oluşturmıştır. Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazot monoksit (N_2O) gibi sera gazları, atmosferde ısı tutma kapasiteleri farklı oranlarda olan ve küresel ısınmayı hızlandıran temel bileşenlerdir. Doğal ekosistemlerde karbon döngüsü, azot döngüsü ve toprak-solunum etkileşimleri aracılığıyla belirli bir denge içinde gerçekleşirken, antropojenik faaliyetler bu dengeyi bozmakta ve emisyon yoğunluğunu artırmaktadır.

Küresel emisyon envanterlerine bakıldığında, enerji ve endüstri sektörleri ilk sırada yer alırken, tarım ve hayvancılık sektörü ikinci büyük kaynak olarak öne çıkmaktadır. Özellikle enterik fermantasyon, gübre yönetimi, yem üretimi ve arazi kullanımı değişiklikleri, hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı salımlarının başlıca bileşenleridir. Bu bağlamda, ruminant hayvanlar içerisinde sığırlar, metan emisyonlarının en yoğun kaynağı olup, toplam tarımsal sera gazı salımlarında önemli paya sahiptir. Süt sığırı işletmeleri ise hem metan (CH_4) hem de diazot monoksit (N_2O) açısından kritik emisyon noktalarıdır. Bu nedenle, sektörel etkilerin iklim

politikaları ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, yalnızca sıcaklıklarda artışla sınırlı olmayıp, yağış rejimlerinde düzensizlik, su kaynaklarında azalma, gıda güvenliği riskleri, biyolojik çeşitlilik kaybı ve aşırı iklim olaylarında artış gibi geniş kapsamlı ekolojik ve sosyoekonomik etkiler doğurmaktadır. Bu çerçevede hayvancılık faaliyetlerinin iklim değişikliğiyle çift yönlü ilişkisi bulunmaktadır: Bir yandan emisyonlar yoluyla iklimi etkilemekte, diğer yandan iklim değişikliğinin sonuçlarından doğrudan etkilenmektedir. Dolayısıyla, hayvan besleme sistemlerinden yem bitkisi üretimine, gübre yönetiminden üretim verimliliğine kadar tüm süreçlerin çevresel etkilerle birlikte yeniden ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, hayvancılık sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkisini azaltmak ve karbon ayak izini düşürmek için bilimsel temelli hesaplama yöntemlerinin kullanılması, politika yapıcılar, araştırmacılar ve üreticiler açısından kaçınılmaz bir gerekliliktir. Sürdürülebilir hayvansal üretim hedeflerine ulaşılabilmesi, emisyon izleme sistemlerinin iyileştirilmesi, verimliliğin artırılması, yem yönetiminin optimize edilmesi ve alternatif uygulamaların yaygınlaştırılması ile mümkündür. Bu doğrultuda yapılacak her değerlendirme, yalnızca tarımsal üretimin geleceğini değil, aynı zamanda ekosistemlerin devamlılığını ve küresel iklim dengesi üzerindeki insan etkisini de belirleyecektir.

KAYNAKÇA

- Akça, B., & Yetişgin, S. O. (2023). Hayvansal üretim sistemlerinde sera gazı emisyonlarının etkisini hafifletmeye yönelik öneriler. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(5), 987-993.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.
- Altınçekiç, Ş. Ö., & Koyuncu, M. (2013). İklim Değişikliğinin Çiftlik Hayvanları Üzerindeki Etkileri. 8. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, Çanakkale, 5-7.
- Aydın Deniz F. (2025) Konya Bölgesinde Süt Sığırı İşletmelerinden Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 171ss.
- Baçéninaitė, D., Džermeikaitė, K., & Antanaitis, R. (2022). Global warming and dairy cattle: How to control and reduce methane emission. *Animals*, 12(19), 2687.
- Barbehenn, R. V., Chen, Z., Karowe, D. N., & Spickard, A. (2004). C3 grasses have higher nutritional quality than C4 grasses under ambient and elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 10(9), 1565-1575.
- Bauer, S. (1994). Development of environmental impact assessment tools for livestock production systems. Vol. I: Report, GieBen, Germany, 4-16.
- Benchaa, C., Pomar, C., & Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(4), 563-574.

- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report.
- Black, J. L., Davison, T. M., & Box, I. (2021). Methane emissions from ruminants in Australia: Mitigation potential and applicability of mitigation strategies. *Animals*, 11(4), 951.
- Capper, J. L., Castañeda-Gutiérrez, E., Cady, R. A., & Bauman, D. E. (2008). The environmental impact of recombinant bovine somatotropin (rbST) use in dairy production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9668-9673.
- Cerri, C. C., Moreira, C. S., Alves, P. A., Raucci, G. S., de Almeida Castigioni, B., Mello, F. F., ... & Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of cleaner production*, 112, 2593-2600.
- Crutzen, P. J., Aselmann, I., & Seiler, W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 38(3-4), 271-284.
- De Vries, M., & de Boer, I. J. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock science*, 128(1-3), 1-11.
- EPA-Global Greenhouse Gas Emissions Data <https://www.epa.gov/ghgemissions/globalgreenhousegasemissions-data/>, last access: 22 November, 2020.
- FAO. 2006. Livestock a major threat to the environment: remedies urgently needed. Available: <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2006/1000448/index.html> [accessed 23 October 2007]

- FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). The State of Food and Agriculture. Livestock in the balance.
- FAO, G. D. P. (2018). Climate change and the global dairy cattle sector–The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome: Food and Agriculture organization of the United Nations and Global Dairy Platform Inc.
- Flachowsky, G. (2011). Carbon-footprints for food of animal origin, reduction potentials and research need. *Journal of Applied Animal Research*, 39(1), 2-14.
- Flachowsky, G., & Kamphues, J. (2012). Carbon footprints for food of animal origin: what are the most preferable criteria to measure animal yields?. *Animals*, 2(2), 108-126.
- Flachowsky, G., & Lebzien, P. (2009). Comments on in vitro studies with methane inhibitors. *Animal Feed Science and Technology*, 151(3-4), 337-339.
- Forests, F. A. O. (2016). agriculture: Land-use challenges and opportunities. *State of the World's Forests*, 45, 1545-2050.
- Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., ... & Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *animal*, 7(s2), 220-234.
- Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., & McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of animal science*, 85(6), 1479-1486.
- Howden, S. M., Crimp, S. J., & Stokes, C. J. (2008). Climate change and Australian livestock systems: impacts, research and policy issues. *Australian journal of experimental agriculture*, 48(7), 780-788.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, forestry and other land use, 4, 824.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use; Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge, UK, 2006; Volume 4.
- Ipcc, I. P. C. C. (2007). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Published: IGES, Japan.
- Koyuncu, M., & Akgün, H. (2018). Çiftlik hayvanları ve küresel iklim değişikliği arasındaki etkileşim. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(1), 151-164.
- Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., ... & Biala, K. (2010). Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS).
- López, S., Makkar, H. P., & Soliva, C. R. (2009). Screening plants and plant products for methane inhibitors. In In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies (pp. 191-231). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lusk, P. (1998). Methane recovery from animal manures the current opportunities casebook (No. NREL/SR-580-25145; ON: DE00009526). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Lynas, M. (2009). Karbon ayak iziniz. Neşet Kutluğ (Çev.). İstanbul: Açık Radyo Kitapları. Nüfusun Ülkeler İçin Önemi ve Nüfus Artışı.

- Michaelowa, A., & Sirohi, S. (2004). CDM potential of dairy sector in India (No. 273). HWWA Discussion Paper.
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000, May). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 231-253). EDP Sciences.
- Naqvi, S. M. K., & Sejian, V. (2011). Global climate change: role of livestock. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), 19-25.
- Nardone, A. (2002). Evolution of livestock production and quality of animal products. In *Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science* (Brazil, 29th July-2nd August) (pp. 486-513). Brazilian Society of Animal Science.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock science*, 130(1-3), 57-69.
- Öztürk, H. (2007). Küresel ısınmada ruminantların rolü. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 78(1), 17-22.
- Peng, S., Piao, S., Bousquet, P., Ciais, P., Li, B., Lin, X., ... & Zhou, F. (2016). Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(22), 14545-14562.
- Persson, U. M., Johansson, D. J., Cederberg, C., Hedenus, F., & Bryngelsson, D. (2015). Climate metrics and the carbon footprint of livestock products: where's the beef?. *Environmental Research Letters*, 10(3), 034005.
- Peters, G. M., Rowley, H. V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M. D., & Schulz, M. (2010). Red meat production in

- Australia: life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental science & technology*, 44(4), 1327-1332.
- Polley, H. W., Briske, D. D., Morgan, J. A., Wolter, K., Bailey, D. W., & Brown, J. R. (2013). Climate change and North American rangelands: trends, projections, and implications. *Rangeland Ecology & Management*, 66(5), 493-511.
- Scheehle, E. (2002). Emissions and Projections of Non-CO2 Greenhouse Gases from Developing Countries: 1990-2020. Scheehle. elizabet@epa.gov.
- Shibata, M., & Terada, F. (2010). Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81(1), 2-10.
- Sirohi, S., & Michaelowa, A. (2007). Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. *Climatic change*, 85(3), 285-298.
- T.C, G., & Avcıoğlu, A. O. (2016). Tarımsal üretimde sera gazları ve karbon ayak izi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(3), 157-162.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İ. D. B., 2021, <https://iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34>.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148.
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A., & Frank, J. M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765.

- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. *Ecological economics research trends*, 1(2008), 1-11.
- World Health Organization. (2009). Health statistics and health information systems. <http://who.int/healthinfo/morttables/en/index.html>.
- Zehetmeier, M. (2009). Einfluss einer Leistungssteigerung in der Milchviehhaltung auf ausgewählte Parameter. In *Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften* (pp. 155-160). ETH-Zürich.
- Zervas, G., & Tsiplakou, E. J. A. E. (2012). An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. *Atmospheric Environment*, 49, 13-23.

RUMİNANT HAYVANLARDA METAN ÜRETİMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

İsmail ÜLGER¹

Hüseyin Mert YÜKSEL²

1. GİRİŞ

Ruminant hayvanlar, insan beslenmesi ve tarımsal ekonomideki merkezi rolleri nedeniyle hayvansal üretim sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu hayvanlar, monogastrik canlıların sindiremediği selüloz ve hemiselüloz gibi yapısal polisakkaritleri parçalayarak enerjiye dönüştürebilme yetenekleri sayesinde, bitkisel kaynaklı düşük kaliteli yemleri yüksek biyolojik değere sahip ürünlere (et, süt, yün, deri vb.) dönüştürebilmektedirler (Öztürk, 2007; Kaya ve ark., 2012). Bu benzersiz fizyolojik özellik, çok bölmeli sindirim sisteminin (rumen, retikulum, omasum, abomasum) ve burada simbiyotik olarak yaşayan kompleks mikrobiyal toplulukların karşılıklı etkileşimine dayanmaktadır (McAllister ve Newbold, 2008). Rumen mikrobiyotası; bakteriler, arkealar, protozoalar ve mantarlardan oluşur ve bu mikroorganizmalar, hayvanın doğrudan sindiremeyeceği polisakkaritleri parçalayarak uçucu yağ asitleri (asetat, propiyonat, bütirat), amonyak (NH₃), karbondioksit (CO₂), hidrojen (H₂) ve metan (CH₄) gibi metabolitlerin oluşumuna yol açar (Knapp ve ark., 2014). Bu süreç, ruminantların enerji gereksinimlerinin büyük bölümünü

¹ Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID: 0000-0002-9400-6459.

² Arş. Gör, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID: 0000-0002-9429-8877.

karşılmasına olanak sağlarken, aynı zamanda enerji kaybına ve sera gazı emisyonuna da neden olmaktadır. Rumen fermentasyonu, -300 ila -350 mV arasında değişen redoks potansiyeli, yaklaşık 38–42 °C sıcaklık ve 6–7 aralığındaki pH koşullarında gerçekleşen karmaşık bir biyokimyasal süreçtir (Poulsen ve ark., 2013). Bu ortamda selüloz ve hemiselülozun mikrobiyal yıkımı sonucunda oluşan H₂, mikrobiyal ekosistemde elektron taşıyıcısı olarak görev yapar. Ancak rumende biriken H₂, fermentatif mikroorganizmaların metabolik dengesini bozabileceğinden, bu gazın ortamdan uzaklaştırılması zorunludur (Wolin, 1979). H₂'nin uzaklaştırılmasında en etkili mekanizma, metanojen Arkea tarafından yürütülen metanojenesis sürecidir. Bu süreçte CO₂, H₂ tarafından indirgenerek CH₄ ve H₂O'ya dönüştürülür (Hegarty ve Klieve, 1999). Böylece mikrobiyal fermentasyonun sürekliliği korunur; ancak bu dönüşüm, hayvan açısından metabolize edilebilir enerjinin bir kısmının metan olarak kaybedilmesi anlamına gelir. Yemle alınan enerjinin yaklaşık %2–12'sinin metan formunda kaybedildiği bildirilmektedir (Morgavi ve ark., 2010). Örneğin 550 kg canlı ağırlığındaki bir sığırın günde ortalama 300 L metan üretmesi, 4000 kcal civarında enerji kaybına karşılık gelmektedir (Breves ve Leonhard-Marek, 2000).

Metan oluşumundan sorumlu olan metanojen Arkea topluluğu, rumende genellikle *Methanobrevibacter*, *Methanomicrobium*, *Methanosphaera* ve daha az oranda *Methanosarcina* ile *Methanobacterium* cinslerine ait türlerden oluşmaktadır (Johnson ve Johnson, 1995; Poulsen ve ark., 2013; Knapp ve ark., 2014). Bu mikroorganizmalar, üç temel biyokimyasal yol üzerinden CH₄ sentezini gerçekleştirirler:

1. Hidrojenotrofik yol: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
2. Metilotrofik yol: $4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. Asetoklastik yol: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

Bu yollar arasında rumende en baskın olanı hidrojenotrofik metanojenesistir (Johnson ve Johnson, 1995). Bununla birlikte, yeni metagenomik çalışmalar bazı metanojenlerin alternatif substratları (örneğin metilamin, dimetilsülfür) kullanabildiğini ve bu durumun rumen CH₄ stokiyometrisini etkileyebileceğini göstermiştir (Poulsen ve ark., 2013).

Metan üretimi yalnızca enerji kaybı açısından değil, aynı zamanda küresel iklim değişikliğine olan katkısı bakımından da önemli bir çevresel sorundur. Küresel ölçekte ruminant kökenli enterik metan emisyonlarının yılda 80–115 milyon ton arasında olduğu tahmin edilmektedir (Houghton ve ark., 2001). Metanın 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli (GWP₁₀₀), karbondioksit göre yaklaşık 28–34 kat daha yüksektir (IPCC, 2001). Atmosferdeki ortalama ömrü 12,4 yıl olan CH₄, hidroksil radikalleriyle reaksiyona girerek formaldehit (CH₂O), karbon monoksit (CO) ve ozon (O₃) gibi ikincil bileşiklerin oluşumuna neden olur; bu reaksiyonlar troposferik oksidasyon süreçlerini etkileyerek dolaylı yoldan küresel ısınmayı artırır (Hurst ve ark., 2011). Dolayısıyla enterik metan emisyonları, hem enerji verimliliğini düşüren bir metabolik kayıp hem de atmosferik sera gazı birikimine katkıda bulunan çevresel bir faktör olarak değerlendirilmelidir (Cottle ve ark., 2011).

Ruminantlarda CH₄ üretimini etkileyen faktörler, hem hayvanın fizyolojik özellikleri hem de besleme ve çevresel koşullarla ilişkilidir. Rasyon bileşimi, kaba/kesif yem oranı, karbonhidrat tipi, yağ düzeyi, yem geçiş hızı, rumen pH'ı, besleme sıklığı ve yem tüketim hızı gibi değişkenler metanojenik aktiviteyi doğrudan etkiler (McAllister ve ark., 1996; Nkrumah ve ark., 2006). Örneğin, yüksek selüloz içeren kaba yemler asetat üretimini teşvik ederek H₂ üretimini artırırken; nişasta bazlı kesif yemler propiyonat oluşumunu destekleyerek H₂ kullanımını farklı yönlere kaydırır ve metan üretimini azaltır. Ayrıca rasyona yağ

ilavesi, iyonofor veya fitobiyotik katkı maddeleri kullanımı gibi besleme stratejileri de rumendeki mikrobiyal dengeyi değiştirerek metanojen aktivitesini baskılayabilmektedir (McAllister ve ark., 1996; Nkrumah ve ark., 2006; Beauchemin ve ark., 2008).

Son yıllarda, ruminant kaynaklı metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalar, besleme stratejilerinin yanı sıra mikrobiyal modülasyon ve genetik seleksiyon yaklaşımlarını da kapsamaktadır. Özellikle düşük artık yem tüketimi (residual feed intake, RFI) özelliğine sahip bireylerin seçilmesiyle, enerji verimliliği yüksek ve metan emisyonu düşük sürülerin elde edilmesi mümkündür (Hegarty ve ark., 2007). Hill ve ark. (2016), düşük RFI'li hayvanların seçilmesiyle 25 yıllık bir dönemde toplam CH₄ emisyonlarının %15,9 oranında azaltılabileceğini bildirmiştir. Bunun yanı sıra, rumen mikrobiyotasının işlevsel yapısının moleküler düzeyde aydınlatılması; hidrojen akışının uçucu yağ asidi üretimine yönlendirilmesi ve alternatif elektron alıcı yolların teşvik edilmesi gibi yeni biyoteknolojik yaklaşımlar, enterik metan kontrolünde umut verici stratejiler olarak değerlendirilmektedir (Jeyanathan ve ark., 2014).

Sonuç olarak, ruminantlarda metan üretimi, mikrobiyal ekoloji, enerji metabolizması ve çevre bilimi arasında çok yönlü etkileşimleri kapsayan karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle, enterik metanojenesisin mekanizmalarının ve belirleyici faktörlerinin ayrıntılı biçimde anlaşılması, hem sürdürülebilir hayvansal üretim sistemlerinin geliştirilmesi hem de küresel sera gazı azaltım hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Kumar ve ark., 2014).

2. RUMENDE METAN OLUŞUMU

Ruminantların sindirim sisteminde yer alan rumen, sahip olduğu zengin ve kompleks mikrobiyal topluluk sayesinde adeta

biyolojik bir fermentasyon tankı gibi işlev görmektedir. Rumen mikrobiyotası; bakteri, protozoa ve mantarlardan oluşan karmaşık bir simbiyotik ekosistemi temsil eder (Kaya ve ark., 2012). Bu mikroorganizmalar, hayvanın tükettiği selüloz, hemiselüloz, nişasta ve diğer kompleks karbonhidratları parçalayıp, sindirilemeyen besin maddelerini kullanılabilir enerji formlarına dönüştürerek konakçı hayvanın beslenmesinde kritik bir rol üstlenir (Kaya ve ark., 2012). Rasyondaki karbonhidrat, protein ve yağlar rumene ulaştığında, bu mikroorganizmalar tarafından fermentasyona uğratılmakta ve süreç sonucunda başlıca ürünler olarak uçucu yağ asitleri (UYA), karbondioksit (CO₂) ve hidrojen (H₂) açığa çıkmaktadır. Bu bileşenler, hem hayvanın enerji metabolizmasında hem de rumendeki gaz dengesinin düzenlenmesinde belirleyici rol oynar. Özellikle hidrojen, metanogenez sürecinde kullanılan temel substrat olması nedeniyle, enterik metan oluşumunu azaltmaya yönelik çalışmalarda özel bir araştırma alanı oluşturmuştur (Kaya ve ark., 2012).

Rumen fermentasyonu sonucunda açığa çıkan uçucu yağ asitleri, asetik asit (AA), propiyonik asit (PA) ve bütirik asit (BA) olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır (Wolin, 1979). Bu asitlerin rumendeki oranları, rasyonun bileşimine bağlı olmakla birlikte genellikle sırasıyla %60–70 asetik asit, %15–20 propiyonik asit ve %10–15 bütirik asit düzeyindedir (Moss ve ark., 2000). UYA'ler, ruminantların metabolik enerji gereksiniminin yaklaşık %70'ini karşılayan temel enerji kaynaklarıdır (Bergman, 1990). Ancak bu metabolitlerin oluşumu yalnızca enerji üretimi açısından değil, aynı zamanda rumendeki hidrojen dinamikleri ve dolayısıyla metan üretimi bakımından da büyük öneme sahiptir. Asetat ve bütirat sentezi sırasında hidrojen açığa çıkarken, propiyonat oluşumu hidrojen tüketimiyle ilişkilidir. Bu nedenle propiyonat üretiminin artırılması, rumendeki serbest hidrojen konsantrasyonunu düşürerek metan

oluşumunu sınırlayıcı etki gösterebilmektedir. Bu bağlamda, propiyonat sentezini teşvik eden yem katkıları veya rasyon stratejileri, son yıllarda enterik metan emisyonlarını azaltmaya yönelik sürdürülebilir yaklaşımlar arasında ön plana çıkmıştır (Mitsumori ve Sun, 2008).

Rumendeki metan oluşumu, karbonhidrat fermentasyonu sırasında ortaya çıkan CO₂, H₂ ve format gibi metan prekürsörlerinin mikrobiyal dönüşümüne dayanır. Bu dönüşüm, Archaea domainine ait zorunlu anaerob mikroorganizmalar olan metanojenler tarafından gerçekleştirilir (Ueno ve ark., 2006). Formiat (format) da bu süreçte önemli bir ara bileşen olarak görev yapar; yapılan çalışmalar, rumende oluşan metanın yaklaşık %15–20'sinin formiattan kaynaklandığını ortaya koymuştur (Asanuma ve ark., 1999). Rumen ortamında metan üreten başlıca mikroorganizmalar arasında *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanomicrobium mobile*, *Methanosarcina mazei*, *Methanosarcina barkeri* ve *Methanobacterium formicicum* gibi türler tespit edilmiştir (Mitsumori ve ark., 2002). Farklı metanojen türlerinin substrat tercihleri, rumendeki metan üretim sürecinin çeşitliliğini ve esnekliğini artırmaktadır. Örneğin *M. ruminantium*, *M. formicicum* ve *M. mobile* türleri hem H₂/CO₂ çiftini hem de formiatı kullanarak metan sentezleyebilirken, *M. mazei* asetat, metanol ve metilaminleri substrat olarak kullanabilmektedir. *M. barkeri* ise bu iki grubu birleştirerek hem H₂/CO₂ hem de asetat, metanol ve metilaminlerden metan üretebilmektedir (Jarvis ve ark., 2000). Bu çeşitlilik, rumen mikrobiyal ekosisteminde metanojen topluluklarının substrat kullanımı açısından birbirini tamamlayıcı bir yapıda olduğunu göstermektedir. Böylece, farklı metabolik yolların eşzamanlı işleyişi sayesinde rumen ortamında hidrojen birikimi önlenmekte ve fermentasyon süreçlerinin sürekliliği korunmaktadır.

Metan biyosentezinin son aşaması, metil-koenzim M'nin (CH₃–S–CoM) metana indirgenmesiyle tamamlanmaktadır. Bu

reaksiyon, tüm metanojen türlerinde ortak olarak bulunan metil-koenzim M redüktaz (MCR) enzimi tarafından katalizlenir (Friedrich, 2005). MCR enzimi, metanogenez yolunun anahtar biyokimyasal bileşeni olup, metanojen mikroorganizmaların enerji metabolizmasında merkezi bir role sahiptir. Bu nedenle, MCR enzimi ve ilgili genlerin (örneğin *mcrA*) ekspresyon düzeyleri, rumendeki metan üretim potansiyelinin belirlenmesinde güvenilir bir biyobelirteç olarak kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, rumende metan oluşumu; mikrobiyal fermentasyon, hidrojen metabolizması ve metanojen aktivitesi arasındaki oldukça karmaşık ve dinamik biyokimyasal etkileşimlerin bütüncül bir sonucudur. Bu süreç, ruminantların sindirim fizyolojisinin doğal bir parçası olmakla birlikte, enerji dönüşümünde önemli kayıplara yol açmaktadır. Nitekim ruminant tarafından alınan sindirilebilir enerjinin yaklaşık %2–12'si metan formunda kaybedilmektedir (Johnson ve Johnson, 1995). Bu enerji kaybı yalnızca yemden yararlanma verimliliğini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik üretim performansını da olumsuz etkilemektedir.

Öte yandan, rumende gerçekleşen metanogenez, yalnızca fizyolojik bir enerji kaybı değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir sorundur. Çünkü metan, karbondioksit göre yaklaşık 28 kat daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahip güçlü bir sera gazıdır (IPCC, 2001). Bu nedenle, ruminant kaynaklı metan emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğiyle mücadelede tarımsal sektörün en öncelikli hedeflerinden biri hâline gelmiştir. Bu bağlamda, rumen mikrobiyotasının işleyiş mekanizmalarının, hidrojenin metanogenezdeki rolünün ve metanojen topluluklarının metabolik esnekliklerinin detaylı biçimde anlaşılması büyük önem taşımaktadır.

Dolayısıyla, rumende metan oluşumunun yalnızca bir yan ürün değil, karmaşık bir ekosistem dengesinin çıktısı olduğu dikkate alınmalıdır. Bu süreçte yer alan mikrobiyal türlerin, substrat akışlarının ve metabolik yolların ayrıntılı biçimde tanımlanması, hem ruminant besleme biliminin ilerlemesi hem de hayvansal üretim sistemlerinin çevresel etkilerinin azaltılması açısından temel bir gerekliliktir. Sonuç olarak, metanogenez mekanizmasının derinlemesine anlaşılması; hayvan verimliliğini artıran, enerji kaybını minimize eden ve çevreyle uyumlu sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesine yönelik stratejik bir bilimsel zemin oluşturacaktır.

3. METAN ÜRETİMİNİ AZALTMAYA YÖNELİK STRATEJİLER

Ruminantlarda metan, rumen fermantasyonunun doğal bir yan ürünü olarak ortaya çıkmakta ve bu süreçte üretilen hidrojenin (H_2) metanojenik Arkea tarafından kullanılmasıyla oluşmaktadır. Dolayısıyla metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik yaklaşımlar, temelde fermantasyon ürünlerinin dağılımını ve hidrojen akışını yönlendirmeye odaklanmaktadır (Kaya ve ark., 2012). Bu stratejilerin büyük bir kısmı, metanogenez için gerekli temel substratlar olan H_2 ve formiatın üretim veya kullanımını sınırlandırmayı hedeflemektedir. Ancak, rumendeki mikrobiyal ekosistemin son derece karmaşık ve dinamik yapısı, bu süreçlere doğrudan müdahaleyi hem bilimsel hem de pratik açıdan zorlaştırmaktadır (Kaya ve ark., 2012). Buna rağmen, son yıllarda yürütülen çok sayıda araştırma, metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak rasyon bileşiminin değiştirilmesi, doğal katkı maddelerinin kullanımı ve biyoteknolojik müdahaleler gibi çeşitli stratejiler geliştirmiştir (Kaya ve ark., 2012).

3.1. Rasyona Yağ İlavesi

Ruminant rasyonlarına enerji kaynağı olarak yağ eklenmesi, metan üretiminin azaltılmasında etkili bir besleme stratejisi olarak değerlendirilmektedir. Yağ takviyesi, rumendeki mikrobiyal dengenin yeniden şekillenmesine ve enerji dönüşüm yollarının değişmesine neden olarak metan emisyonlarında azalma sağlamaktadır (Beauchemin ve McGinn, 2006). Özellikle orta zincirli doymamış yağ asitleri, hidrojen tüketimini artırarak metanojenler tarafından kullanılabilir hidrojen miktarını azaltmakta ve bu mekanizma, metanogenez sürecini doğrudan sınırlandırmaktadır (Odongo ve ark., 2007). Ayrıca keten tohumu yağı gibi yağ kaynaklarının, selülotik bakteriler ve protozoalar üzerinde inhibitör etki gösterdiği ve böylece rumende metan üretiminin azaldığı bildirilmektedir (Martin ve ark., 2008). Metan oluşumundaki azalma, (i) doymamış yağ asitlerinin hidrojen tüketerek metanojenik aktiviteyi sınırlaması, (ii) selülotik mikroorganizmaların aktivitesinin azalmasına bağlı olarak asetat/propiyonat oranının düşmesi ve (iii) metanojenlerle simbiyotik yaşayan protozoa popülasyonunun azalması gibi mekanizmalarla açıklanmaktadır (Görgülü ve ark., 2009). Bununla birlikte, yağ ilavesinin dozu ve türü önem arz etmektedir; zira yüksek düzeyde yağ kullanımı rumen fermentasyonunu ve lif sindirimini olumsuz etkileyebilmektedir (Sauer ve ark., 1998).

3.2. Kaba/Kesif Yem Oranının Düzenlenmesi

Rasyondaki kaba/kesif yem oranı, hem rumen mikrobiyal ekosistemini hem de hayvanın enerji verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Öztürk, 2007). Araştırmalar, kesif yem oranının artırılmasıyla rumende propiyonat üretiminin arttığını, buna karşılık asetat/propiyonat oranının azaldığını ve bu değişimin metan üretimini sınırlandırdığını göstermektedir (Johnson ve Johnson, 1995). Bu etkinin temel mekanizmaları arasında, kesif

yemle birlikte rumen pH'sının düşmesi, düşük pH'ya duyarlı metanojen ve protozoa popülasyonlarının azalması, yemlerin rumende kalış süresinin kısalması ve propiyonat yönlü fermentasyonun baskın hale gelmesi yer almaktadır (Christophersen ve ark., 2008). Sonuç olarak, uygun kaba/kesif yem oranının belirlenmesi, metan emisyonlarını azaltırken hayvan performansını koruyacak dengeli bir çözüm sunmaktadır.

3.3. Metan İnhibitörlerinin Kullanımı

Ruminantlarda enerji kaybına neden olan metan oluşumunun engellenmesi amacıyla çeşitli kimyasal inhibitörler geliştirilmiştir. Bu bileşikler, metanojenlerin metabolik yollarını doğrudan hedef alarak CH_4 üretimini sınırlandırmaktadır. Bromklorometan, metan oluşumunun son basamağında rol alan Koenzim B ile reaksiyona girerek metanojenik aktiviteyi engellemektedir (Zhou Zhen Ming ve ark., 2011). Benzer şekilde, Koenzim M analogu olan 2-bromoetan sülfonik asit (BES) ve metil Koenzim M redüktaz inhibitörü 3-bromopropan sülfonik asit (BPS) metanogenez sürecinde etkili diğer bileşiklerdir (Ungerfeld ve ark., 2004). Ayrıca statin grubu bileşikler (ör. mevastatin, lovastatin), metanojenlerin HMG-KoA redüktaz enziminin sentezini inhibe ederek *Methanobrevibacter* türlerinde metan üretimini baskılamaktadır (Miller ve Wolin, 2001). Bununla birlikte, kloroform, trikloroasetamid ve 9,10-antrakuinon gibi halojenize bileşiklerin toksisite ve direnç gelişimi nedeniyle uzun süreli kullanımları sınırlıdır (Öztürk, 2007). Bu nedenle, kimyasal inhibitörlerin pratikte kullanımı hayvan sağlığı, çevre güvenliği ve kalıntı riskleri dikkate alınarak dikkatle değerlendirilmelidir.

3.4. Doğal Yem Katkı Maddeleri ve Mikrobiyal Düzenleyiciler

Son yıllarda toksik etkileri bulunmayan doğal katkı maddeleri, metan azaltımında çevre dostu ve sürdürülebilir

alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Bitkisel ekstraktlar, içerdikleri esansiyel yağ, saponin, tanen ve organosülfür bileşenleri aracılığıyla rumen mikrobiyotasını düzenlemekte, protozoa popülasyonunu azaltmakta ve metan üretimini sınırlamaktadır (Patra ve Saxena, 2009). Özellikle nane, kekik, portakal, sarımsak ve zencefil yağlarının metanojenleri baskılayarak CH₄ ve CO₂ üretimini azalttığı bildirilmektedir (Patra ve ark., 2006). Bununla birlikte, yüksek doz uygulamaları rumen mikrobiyal aktivitesini olumsuz etkileyebileceğinden dikkatli dozlama gerekmektedir (Agarwal ve ark., 2009).

Probiyotikler de metan azaltımında etkili biyolojik araçlardır. Özellikle *Saccharomyces cerevisiae* ve *Aspergillus oryzae* kültürleri, rumen fermantasyonunu stabilize ederek propiyonik asit üretimini artırmakta, hidrojen ve formik asit birikimini azaltmakta ve böylece metan emisyonunu %4–31 oranında düşürmektedir (Öztürk, 2008). Ayrıca fumarat, malat ve akrilat gibi organik asitler, hidrojenin propiyonat sentezinde kullanılmasını teşvik ederek asetat/propiyonat oranını azaltmakta ve metan üretimini sınırlandırmaktadır (Asanuma ve ark., 1999). Benzer şekilde, zeolit ve bentonit gibi adsorban maddeler, rumende amonyak adsorpsiyonunu düzenleyerek azot kayıplarını sınırlamakta ve mikrobiyal protein sentezini desteklemektedir (Diaz ve ark., 2004).

3.5. Biyoteknolojik Yaklaşımlar ve İmmünizasyon

Geleneksel yöntemlerin ötesinde, metanojenik Arkea ve rumen protozoalarına karşı geliştirilen aşılar, enterik metan oluşumunun kontrolünde yenilikçi bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem, bağışıklık sistemi aracılığıyla metanojenlerin aktivitesini baskılamayı amaçlamaktadır (Iqbal ve ark., 2008). Henüz deneysel aşamada olmakla birlikte, bu biyoteknolojik uygulamaların uzun vadede türlere özgü ve kalıcı metan azaltım çözümleri sunabileceği düşünülmektedir.

4. METANIN FARKLI ÖLÇÜM VE TAHMİN YÖNTEMLERİ

Geviş getiren hayvanlardan yayılan metan (CH_4), hem hayvanların enerji metabolizması hem de tarımsal sera gazı emisyonları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu gazın ölçülmesine yönelik araştırmalar, 20. yüzyılın başlarından itibaren enerji dengesinin hesaplanması ve hayvansal üretimdeki verimlilik kayıplarının belirlenmesi amacıyla başlatılmış, günümüzde ise iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik bağlamında daha da önem kazanmıştır (Storm ve ark., 2012; Hill ve ark., 2016). CH_4 ölçüm yöntemleri genel olarak doğrudan ölçüm teknikleri, yerinde (in situ) izleyici gaz sistemleri, laboratuvar temelli (in vitro) yaklaşımlar, saha ölçümleri ve modelleme temelli tahmin yöntemleri olmak üzere beş ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemlerin her biri, doğruluk düzeyi, uygulanabilirlik ve maliyet açısından farklı avantajlar ve sınırlılıklar taşımaktadır (Johnson ve Johnson, 1995; McGinn ve ark., 2015).

4.1. Ölçüm Yöntemleri

4.1.1. Doğrudan Ölçüm Yöntemleri

Doğrudan ölçüm teknikleri, hayvanların tamamen ya da kısmen kapalı ortamlarda tutulduğu sistemlerdir. Bu yöntemler arasında solunum odaları ve baş/maske sistemleri en yaygın kullanılan uygulamalardır (Storm ve ark., 2012). Solunum odaları, hayvanların O_2 tüketimi ve CO_2 ile CH_4 üretimini eşzamanlı ölçerek enerji dengesinin hesaplanmasına olanak sağlar. Dolayısıyla bu yöntem, metan ölçümünde “altın standart” olarak kabul edilmektedir (Kaiyala ve Ramsay, 2011). Elde edilen veriler, ulusal sera gazı envanterlerinde kullanılan tahmin modellerinin kalibrasyonunda referans niteliği taşır (Storm ve ark., 2012). Ayrıca bu sistemler, sindirilebilirlik, idrar üretimi ve

net enerji hesaplamaları gibi ek metabolik parametrelerin ölçülmesine de olanak tanır.

Bununla birlikte, solunum odaları yüksek maliyetli, emek yoğun ve hayvan davranışını sınırlayıcı sistemlerdir. Hayvanların doğal otlama davranışını yansıtamaması ve ölçüm süresinin genellikle kısa (birkaç saat-üç gün) olması, yöntemin ekstrapolasyon kabiliyetini azaltmaktadır (Pinares-Patiño ve ark., 2011). Ayrıca yemleme protokollerinin doğallıktan uzak olması, rumen mikrobiyal dengesinin değişmesine yol açabilir (Makkar ve Vercoe, 2007). Bu nedenlerle solunum odaları, daha çok model kalibrasyonu ve doğrulama amacıyla kullanılmaktadır. Alternatif olarak geliştirilen baş maskesi veya havalandırmalı başlık sistemleri, daha ekonomik çözümler sunar ve hayvanın kısmen doğal beslenme davranışını sürdürmesine izin verir (Storm ve ark., 2012). Ancak bu yöntemlerde ölçülen CH₄, yalnızca üst solunum yolundan çıkan gazları kapsadığından, hindgut kaynaklı emisyonları yansıtmaz. Bu nedenle sonuçların toplam enterik CH₄ üretimiyle ilişkilendirilmesinde dikkatli olunmalıdır (Huhtanen ve ark., 2015).

Merada otlayan hayvanlardan noktasal örnekleme (spot sampling) yöntemiyle kısa süreli gaz verileri toplanabilir. Bu teknik, yem alımı sırasında birkaç dakikalık periyotlarla CH₄ konsantrasyonunun ölçülmesine dayanır (Garnsworthy ve ark., 2012). Noktasal örnekleme, pratik bir saha tekniği olmakla birlikte yüksek varyasyon içerir. Ancak yeterli sayıda bireyden yeterli sıklıkta ölçüm yapılması, 24 saatlik ortalama emisyon değerlerinin daha doğru tahmin edilmesini sağlar (Huhtanen ve ark., 2015).

4.1.2. Yerinde (In Situ) Ölçüm Yöntemleri

Doğal otlatma koşullarında hayvan davranışlarını sınırlamadan CH₄ ölçümü yapılabilmesini sağlayan izleyici gaz (tracer gas) teknikleri son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Bu

yöntemlerde genellikle sülfür hekzaflorür (SF₆) veya döteryumla işaretlenmiş metan (¹³CH₃D) kullanılır (Johnson ve Johnson, 1995).

¹³CH₃D, CH₄'ün rumen içindeki fiziksel davranışını yakından taklit eder; bu nedenle teorik olarak ideal bir izleyici gazdır. Ancak yüksek maliyeti nedeniyle geniş ölçekli uygulamalarda tercih edilmemektedir (Wang ve ark., 2015). Buna karşın SF₆ yöntemi, düşük arka plan konsantrasyonu, kolay izlenebilirliği ve sentetik kökeni nedeniyle en yaygın kullanılan tracer sistemidir (Lassey ve ark., 2011). SF₆, rumene yerleştirilen bir permeasyon tüpü aracılığıyla sabit hızda salınır ve hayvanın solunum havasındaki CH₄/SF₆ oranı ölçülerek günlük CH₄ üretim hızı hesaplanır (Johnson ve ark., 1994).

Yöntem, merada otlayan hayvanlardan veri toplama olanağı sunması bakımından benzersizdir; ancak uygulanması teknik uzmanlık gerektirir ve SF₆'nın kendisinin güçlü bir sera gazı olması etik tartışmalara yol açmaktadır (GWP₁₀₀ = 22.800; Pinares-Patiño ve ark., 2012). Ayrıca, SF₆ yöntemiyle elde edilen ölçümler ile solunum odası verileri arasında %10 veya daha fazla fark rapor edilmiştir (McAllister ve Newbold, 2008). Bu farkın yönü ve büyüklüğü tutarlı olmadığından, yöntemin kalibrasyonu önemlidir (Laubach ve ark., 2014).

Son dönemde geliştirilen gaz sensör kapsülleri, rumen içine yerleştirilen elektronik sistemler aracılığıyla CH₄, CO₂ ve H₂ konsantrasyonlarını gerçek zamanlı olarak ölçebilmektedir (Wright ve ark., 2015). Bu sistemler doğrudan gaz akışını değil, gaz konsantrasyon değişimlerini izler; buna karşın rumen basıncı ve eruktasyon paternleriyle birleştirildiğinde emisyon tahmini yapılabilir (Madsen ve ark., 2010). Bu teknoloji, gelecekte düşük maliyetli ve taşınabilir izleme sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bir potansiyel taşımaktadır.

4.1.3.Laboratuvar Temelli (In Vitro) Ölçüm Yöntemleri

In vitro gaz üretim teknikleri (IVGPT), farklı yemlerin CH₄ üretim potansiyelini belirlemek için kullanılan kontrollü sistemlerdir (Rymer ve ark., 2005). Bu yöntemde belirli miktarda yem, rumen sıvısında inkübe edilir ve ortaya çıkan gaz miktarı ölçülür. IVGPT, hızlı ve düşük maliyetli analizler için uygundur; ancak sistemin kararlı durum (steady-state) koşullarını tam olarak yansıtamaması en büyük sınırlılığıdır (Klumpp ve Hwa, 2014).

Metanojenik Archaea popülasyonlarının yavaş yenilenme hızına sahip olması (yaklaşık >10 saat; Thauer ve ark., 2008), kısa süreli inkübasyonlarda gerçek CH₄ üretim dinamiklerinin tam olarak yakalanamamasına neden olur. Ayrıca in vitro koşullarda elde edilen sonuçlar, yemlerin in vivo sindirilebilirliği, fermente edilebilir organik madde (FOM) miktarı ve besleme düzeyi gibi değişkenlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Mould ve ark., 2005). Bu nedenle IVGPT verilerinin, doğrudan CH₄ emisyon tahmini için değil, yemlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesinde kullanılması önerilmektedir. Son yıllarda, IVGPT ile yakın kızılötesi spektroskopi (NIRS) yöntemlerinin entegrasyonu, yemlerin CH₄ üretim potansiyellerinin daha hassas biçimde tahmin edilmesini mümkün kılmıştır (Kneebone ve Dryden, 2014).

4.1.4. Saha Ölçümleri

Merada otlayan sürülerden kaynaklanan CH₄ emisyonlarının tahmini için mikrometeorolojik ve uzaktan algılama yaklaşımları kullanılmaktadır. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) ve açık yollu lazer spektroskopisi gibi teknikler, geniş alanlarda çoklu hayvanlardan yayılan CH₄ konsantrasyonlarını ölçmeye olanak tanır (Dengel ve ark., 2011). Ayrıca eddy covariance, kütle dengesi ve inverse dispersion modelleri, atmosferik akış ve rüzgâr dinamiklerini hesaba katarak

hektar ölçeğinde emisyon tahminleri yapılmasını sağlar (McGinn ve ark., 2015).

Ancak bu ölçümler, hava hareketleri, sıcaklık terselmesi ve nem değişimleri gibi mikroklimatik faktörlerden etkilenir (Hill ve ark., 2016). Özellikle gece saatlerinde artan CH₄ konsantrasyonlarının biyolojik süreçlerden ziyade atmosferik kararsızlıklardan kaynaklandığı bildirilmektedir. Bu nedenle, saha verilerinin güvenilirliği için veri kalibrasyonu ve kalite kontrol süreçleri zorunludur (Flesch ve ark., 2004).

Yeni geliştirilen kavite halkalanma spektrometrisi (CRDS) ve kuantum kademeli lazer (QCL) sistemleri, uzun süreli ve yüksek hassasiyetli ölçümlere olanak tanımaktadır (Hill ve ark., 2016). Bu teknolojiler, peyzaj ölçeğinde CH₄ salım tahminleri yapabilme potansiyeline sahip olmakla birlikte, hayvan gruplarına özgü emisyonların belirlenmesinde hâlen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur.

4.1.5. Metan Emisyon Modelleri

CH₄ üretimini doğrudan ölçmek çoğu zaman pratik olmadığından, çeşitli ampirik ve mekanistik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin temel amacı, hayvancılıktan kaynaklanan toplam emisyonları tahmin etmek ve farklı azaltım stratejilerinin etkilerini değerlendirmektir (Moraes ve ark., 2014).

Ampirik modeller, yem tüketimi, sindirilebilirlik ve hayvan performansı gibi değişkenlere dayanırken (Benchaa ve ark., 2001), mekanistik modeller mikrobiyal süreçleri ve rumen fizyolojisini matematiksel olarak tanımlar (Arias ve ark., 2015). Dinamik modeller, enterik CH₄ üretimini makul doğrulukta tahmin edebilmekte; ancak mikrobiyom ve konak etkileşimlerinin karmaşıklığını tam olarak yansıtamamaktadır (Sejian ve ark., 2011).

Genellikle bu modeller, bireysel hayvandan elde edilen verileri çiftlik veya ulusal ölçeğe genelleyerek emisyon envanterleri oluşturur (Hill ve ark., 2016). Ancak bireysel düzeydeki yüksek varyasyon, tahmin belirsizliklerini artırmakta ve modellerin güvenilirliğini sınırlamaktadır. Bu nedenle, çoklu yöntemlerin birlikte kullanıldığı hibrit modelleme yaklaşımları gelecekte daha doğru ve sürdürülebilir tahminlerin yapılmasına olanak sağlayabilir.

4.2. Ölçüm Teknikleri ve Uygulama Yaklaşımları

4.2.1. Gaz Kromatografisi (GC) Temelli Ölçüm Sistemleri

Gaz kromatografisi, örnek içerisindeki gaz bileşenlerinin hareketli (örneğin helyum) ve sabit fazlar arasındaki farklı etkileşim özelliklerine dayalı olarak ayrıştırılması prensibine dayanır. Gaz karışımındaki bileşenler ayrıştırıldıktan sonra kolondaki alıkonma sürelerine göre tanımlanır ve dedektör aracılığıyla nicel olarak belirlenir. CH₄ analizlerinde sıklıkla Alev İyonizasyon Dedektörü (FID), CO₂ ölçümlerinde Termal İletkenlik Dedektörü (TCD) ve N₂O analizlerinde Elektron Yakalama Dedektörü (ECD) kullanılmaktadır. Tek bir dedektörle çalışılabileceği gibi, çoklu dedektör kombinasyonları ile aynı anda birden fazla sera gazının analizi gerçekleştirilebilir (Sitaula ve ark., 1992). Bu yöntemle yapılan CH₄ ölçümlerinde, 200 ppb altındaki tespit limitlerine ulaşılabileceği bildirilmiştir (Crill ve ark., 1995).

4.2.2. Kızılötesi Temelli Spektroskopik Teknikler

Kızılötesi Fotoakustik Spektrometre (TGA) yöntemi, gaz örneklerinin seçilmiş dalga boyundaki kesintili kızılötesi (IR) ışıyla ışınlanması esasına dayanır. Gaz tarafından soğurulan enerji, hücre içindeki basınç değişimlerini tetikler; bu değişimler mikrofona algılanır ve metan konsantrasyonu ile doğru orantılı bir elektrik sinyaline dönüştürülür. TGA sistemleri 100

ppb'ye kadar yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilmekte ve taşınabilir özellikleri sayesinde saha çalışmalarında kullanılabilmektedir.

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ise, IR ışığın interferometrik ayrışmasıyla elde edilen spektrumlar üzerinden gaz konsantrasyonlarını belirler. Farklı moleküllerin özgül IR soğurma özellikleri, bu yöntemi çoklu gaz analizleri için oldukça uygun kılar (Greatorex, 2000).

Ayarlanabilir Diyot Lazer Soğurma Spektroskopisi (TDLAS) yöntemi ise lazer ışığının gaz örneğinden geçerken soğurulması prensibine dayanır. Lazerin yüksek spektral çözünürlüğü, gaz karışımlarında bireysel CH₄ çizgilerinin diğer gazlardan ayrıştırılmasına olanak tanır (Edwards ve ark., 1994). TDL tabanlı sistemler ppt seviyelerinde ölçüm hassasiyetine ulaşabilir, ancak yüksek maliyetleri yaygın kullanımını sınırlamaktadır (Freibauer, 2000).

4.2.3. Solunum Kalorimetresi ve Bağlantılı Sistemler

Ruminantlarda metan ölçümünde en yaygın kullanılan doğrudan yöntemlerden biri solunum kalorimetresi sistemleridir. Bu sistemlerde, hayvanın solunum yoluyla oluşturduğu gaz değişimleri izlenerek enerji dengesi ve CH₄ salımı hesaplanır. Tam vücut odaları, baş kutuları, havalandırmalı başlıklar ve yüz maskeleri bu yöntemin varyantlarını oluşturur (Johnson ve Johnson, 1995).

Tam vücut odaları, en yüksek doğruluğu sağlamakla birlikte maliyetli ve sınırlı doğal davranış koşulları sunar. Havalandırmalı başlık sistemleri, daha düşük maliyetli olup hayvanın beslenme davranışını daha az kısıtlar, ancak sadece üst solunum yolundan çıkan metanı ölçebilir. Yüz maskesi yöntemi ise pratik ve taşınabilir bir alternatif sunar; ancak kısa süreli ölçümlerde günlük emisyon varyasyonlarını tam olarak yansıtamayabilir.

4.2.4. İzleyici Gaz Teknikleri (Tracer Gas Techniques)

Ruminant metan emisyonlarının tahmininde yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem, izleyici gaz teknikleridir. Bu tekniklerde inert veya izotopik gazlar (örneğin SF₆, ³H veya ¹⁴C etiketli CH₄) kullanılarak metan üretim hızı belirlenir (Johnson ve Johnson, 1995). Özellikle sülfür hekzaflorür (SF₆) yöntemi, otlayan hayvanlarda pratikliği nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu teknikte rumene sabit hızda SF₆ salan bir kapsül yerleştirilir ve burun çevresinden toplanan hava örnekleri gaz kromatografisi ile analiz edilerek CH₄/SF₆ oranı üzerinden emisyon hızı hesaplanır (Johnson ve ark., 2000). SF₆'ın güçlü bir sera gazı olması ve yüksek atmosferik kalıcılığı (GWP 23.900; ömür 3.200 yıl) yöntemin çevresel kısıtlarını oluşturur.

4.2.5. Meteorolojik ve Alan Ölçekli Teknikler

Meteorolojik yaklaşımlar, hayvansal üretim sistemlerinde “bottom-up” (alttan yukarı) ve “top-down” (yukarıdan aşağı) prensiplerine göre sınıflandırılabilir. Bottom-up yöntemlerde bilinen sayıda hayvandan doğrudan emisyon ölçümü yapılırken, top-down yöntemlerde atmosferdeki CH₄ konsantrasyon gradyanları kullanılarak alan ölçeğinde emisyon tahmini yapılır (Denmead ve ark., 2000).

Bu kapsamda, tünel sistemleri (Lockyer ve Jarvis, 1995) kontrollü hava akışı altında CH₄ birikimini ölçerken, kitle dengeleme yöntemleri (Leuning ve ark., 1999) belirli alanlarda gaz konsantrasyon farklarını rüzgâr verileriyle birlikte değerlendirir. Daha geniş ölçekli uygulamalarda mikrometeorolojik akı gradyan (Judd ve ark., 1999) ve sınır tabaka (boundary layer) teknikleri (Griffith ve ark., 2002) kullanılarak, bölgesel emisyon tahminleri yapılmaktadır. Bu yöntemler, ulusal sera gazı envanterlerinin doğrulanmasında önemli bir tamamlayıcı araç olarak kabul edilir, ancak küçük

değişiklikleri belirlemede duyarlılık sınırlıdır (Denmead ve ark., 2000).

4.2.6. İn Vitro Ölçüm Teknikleri

Ruminant metan üretimini araştırmada, in vitro sistemler düşük maliyetli, hızlı ve kontrollü koşullar sağlayarak in vivo deneylere alternatif sunar. Bu amaçla en yaygın kullanılan yöntemler Rumen Simülasyon Tekniği (RUSITEC) ve İn Vitro Gaz Üretim Testi (IVGPT)'dir.

RUSITEC, rumen ortamını sürekli kararlı koşullarda simüle eder; fermentörlere yerleştirilen yem örnekleri mikrobiyal fermentasyona maruz bırakılır ve oluşan gaz miktarı ile CH₄ konsantrasyonu gaz kromatografisiyle belirlenir (Kajikawa ve ark., 2003).

IVGPT ise, rumen sıvısının tampon çözeltiyle inkübasyonu sonucunda fermentasyon gazı üretimini ölçer (Pell ve Schofield, 1993). CH₄ konsantrasyonu 24–48 saat sonunda belirlenir ve sonuçlar SF₆ veya solunum odası verileriyle yüksek korelasyon göstermektedir (Getachew ve ark., 2005). Her iki yöntem de diyetlerin metan üretim potansiyelini değerlendirmede etkili olmakla birlikte, in vivo doğrulama gereklidir.

5. SONUÇ

Ruminantlarda metan üretimi, biyokimyasal, mikrobiyal ve ekolojik süreçlerin karmaşık bir etkileşimi sonucu ortaya çıkan, hem enerji verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir olgudur. Rumende gerçekleşen mikrobiyal fermentasyon, hayvanın selülozik kaynaklı karbonhidratları enerjiye dönüştürmesini sağlarken, bu süreçte açığa çıkan hidrojenin metanojen arkea tarafından kullanılmasıyla metan oluşumu kaçınılmaz hâle gelmektedir. Dolayısıyla metanogenez,

ruminant fizyolojisinin doğal bir parçası olmakla birlikte, alınan yem enerjisinin %2–12’sinin atmosfere kaybına neden olan bir enerji kaybı mekanizmasını temsil etmektedir. Bu durum, yalnızca hayvansal üretimin ekonomik verimliliğini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda küresel sera gazı emisyonlarının artışına da katkıda bulunmaktadır.

Metan, karbondioksit'e kıyasla yaklaşık 28 kat daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahiptir ve tarımsal kaynaklı sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturur. Bu nedenle, ruminal metan üretiminin azaltılması, günümüzde hem iklim değişikliğiyle mücadele hem de hayvansal üretimin sürdürülebilirliğini artırma hedeflerinin merkezinde yer almaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, rumen ekosistemindeki mikrobiyal etkileşimlerin ve enerji dönüşüm yollarının daha derinlemesine anlaşılmasıyla birlikte, metan üretimini azaltmaya yönelik yenilikçi yaklaşımların geliştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu kapsamda, metanogenez sürecine müdahaleyi hedefleyen stratejiler; besleme yönetimi, yem katkı maddeleri kullanımı, bitkisel ekstraktlar ve sekonder metabolitler, yağ asitleri ve yağ ilavesi, iyonoforlar, organik asitler, probiyotik–prebiyotik uygulamaları ve genetik–mikrobiyal düzeyde düzenlemeler gibi çok boyutlu alanları kapsamaktadır. Özellikle bitkisel kökenli tanenler, saponinler ve esansiyel yağlar gibi doğal bileşiklerin, ruminal mikrobiyal populasyon üzerinde seçici etkiler oluşturarak metanojen aktivitesini azaltabildiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, yem katkılarının hayvan performansı, yem tüketimi ve mikrobiyal denge üzerindeki etkilerinin uzun dönemli olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, metan azaltımı ile ruminal ekosistemin stabilitesi arasında optimum bir denge kurulması, sürdürülebilir besleme stratejilerinin temel hedefi olmalıdır.

Metanogenezle ilişkili araştırmaların ilerlemesinde, doğru ve tekrarlanabilir ölçüm yöntemlerinin kullanılması da hayati önem taşımaktadır. Günümüzde gaz kromatografisi, kızılötesi spektroskopik analizler (TGA, FTIR, TDLAS), solunum kalorimetreleri, SF₆ izleyici gaz teknikleri, mikrometeorolojik sistemler ve in vitro fermentasyon yöntemleri gibi farklı teknikler geliştirilmiş ve standardize edilmiştir. Bu yöntemlerin her biri, farklı hassasiyet, maliyet ve uygulama koşullarına sahip olup, deneyin amacına göre seçilmelidir. Özellikle in vitro sistemlerin (RUSITEC, IVGPT) sağladığı kontrollü koşullar, besleme stratejilerinin ön değerlendirilmesinde pratik avantajlar sunarken, in vivo doğrulamalarla desteklenmesi gerekmektedir. Ölçüm tekniklerindeki ilerlemeler, yalnızca emisyonların nicel olarak değerlendirilmesini değil, aynı zamanda metan oluşumuna neden olan mikrobiyal süreçlerin daha ayrıntılı şekilde anlaşılmasını da kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak, ruminal metan üretiminin azaltılması; yalnızca çevresel etkilerin sınırlandırılması açısından değil, aynı zamanda hayvan besleme biliminin verimlilik, enerji ekonomisi ve sürdürülebilirlik hedefleri açısından da stratejik bir öncelik taşımaktadır. Bu amaçla, metanogenez mekanizmasının moleküler, mikrobiyal ve ekolojik düzeylerde ayrıntılı biçimde çözülmesi; elde edilen verilerin yenilikçi yem formülasyonları, mikrobiyal yönlendirme teknikleri ve genetik seleksiyon programlarıyla bütünleştirilmesi gerekmektedir. Bilimsel olarak temellendirilmiş, çok disiplinli ve sürdürülebilir yaklaşımlar sayesinde, gelecekte hem üretim verimliliğini artıran hem de iklim üzerindeki etkileri azaltan bir ruminant besleme modeli oluşturmak mümkün olacaktır. Böylece hayvancılık sektörü, küresel çevre politikalarıyla uyumlu, düşük karbon ayak izine sahip bir üretim sistemine dönüşebilecektir.

KAYNAKÇA

- Agarwal, N., Shekhar, C., Kumar, R., Chaudhary, L. C., & Kamra, D. N. (2009). Effect of peppermint (*Mentha piperita*) oil on in vitro methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2-4), 321-327.
- Arias, R. A., Catrileo, A., Larraín, R., Vera, R., Velásquez, A., Toneatti, M., ... & Kebreab, E. (2015). Estimating enteric methane emissions from Chilean beef fattening systems using a mechanistic model. *The Journal of Agricultural Science*, 153(1), 114-123.
- Asanuma, N., Iwamoto, M., & Hino, T. (1999). Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science*, 82(4), 780-787.
- Beauchemin, K. A., & McGinn, S. M. (2006). Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. *Journal of animal science*, 84(6), 1489-1496.
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21-27.
- Benchaa, C., Pomar, C., & Chiquette, J. (2001). Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(4), 563-574.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological reviews*, 70(2), 567-590.
- Beswick, K. M., Simpson, T. W., Fowler, D., Choularton, T. W., Gallagher, M. W., Hargreaves, K. J., ... & Kaye, A.

- (1998). Methane emissions on large scales. *Atmospheric Environment*, 32(19), 3283-3291.
- Breves, G., & Leonhard-Marek, S. (2000). Verdauungsvorgänge in den Vormägen. WV Engelhardt and G. Breves. *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 345, 354.
- Christophersen, C. T., Wright, A. G., & Vercoe, P. E. (2008). In vitro methane emission and acetate: propionate ratio are decreased when artificial stimulation of the rumen wall is combined with increasing grain diets in sheep. *Journal of animal science*, 86(2), 384-389.
- Cottle, D. J., Nolan, J. V., & Wiedemann, S. G. (2011). Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science*, 51(6), 491-514.
- Crill, P. M., Butler, J. H., Cooper, D. J., & Novelli, P. C. (1995). Standard analytical methods for. Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water, 164.
- Dengel, S., Levy, P. E., Grace, J., Jones, S. K., & Skiba, U. M. (2011). Methane emissions from sheep pasture, measured with an open-path eddy covariance system. *Global Change Biology*, 17(12), 3524-3533.
- Denmead, O. T., Leuning, R., Jamie, I., & Griffith, D. W. T. (2000). Nitrous oxide emissions from grazed pastures: measurements at different scales. *Chemosphere-Global Change Science*, 2(3-4), 301-312.
- Diaz, D. E., Hagler Jr, W. M., Blackwelder, J. T., Eve, J. A., Hopkins, B. A., Anderson, K. L., ... & Whitlow, L. W. (2004). Aflatoxin binders II: Reduction of aflatoxin M1 in milk by sequestering agents of cows consuming aflatoxin in feed. *Mycopathologia*, 157(2), 233-241.

- Edwards, G. C., Neumann, H. H., Den Hartog, G., Thurtell, G. W., & Kidd, G. (1994). Eddy correlation measurements of methane fluxes using a tunable diode laser at the Kinosheo Lake tower site during the Northern Wetlands Study (NOWES). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D1), 1511-1517.
- Flesch, T. K., Wilson, J. D., Harper, L. A., Crenna, B. P., & Sharpe, R. R. (2004). Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: A field trial. *Journal of Applied Meteorology*, 43(3), 487-502.
- Freibauer, A. (2000). New approach to an inventory of N₂O and CH₄ emissions from agriculture in Western Europe. In *Non-carbon dioxide greenhouse gases: Scientific understanding, control and implementation* (pp. 147-148). Kluwer.
- Friedrich, M. W. (2005). Methyl-coenzyme M reductase genes: unique functional markers for methanogenic and anaerobic methane-oxidizing Archaea. *Methods in enzymology*, 397, 428-442.
- Garnsworthy, P. C., Craigon, J., Hernandez-Medrano, J. H., & Saunders, N. (2012). On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. *Journal of dairy science*, 95(6), 3166-3180.
- Getachew, G., Robinson, P. H., DePeters, E. J., Taylor, S. J., Gisi, D. D., Higginbotham, G. E., & Riordan, T. J. (2005). Methane production from commercial dairy rations estimated using an in vitro gas technique. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 391-402.
- Görgülü, M., Darcan, N., & Göncü, S. (2009). Hayvancılık ve Küresel Isınma. *Ulusal Hayvan Besleme Kongresi*, 30.

- Greatorrex, J. M. (2000). A review of methods for measuring methane, nitrous oxide and odour emissions from animal production activities.
- Griffith, D. W. T., Leuning, R., Denmead, O. T., & Jamie, I. M. (2002). Air-land exchanges of CO₂, CH₄ and N₂O measured by FTIR spectrometry and micrometeorological techniques. *Atmospheric Environment*, 36(11), 1833-1842.
- Hegarty, R. S., & Klieve, A. V. (1999). Opportunities for biological control of ruminal methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8), 1315-1320.
- Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., & McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of animal science*, 85(6), 1479-1486.
- Hill, J., McSweeney, C., Wright, A. D. G., Bishop-Hurley, G., & Kalantar-Zadeh, K. (2016). Measuring methane production from ruminants. *Trends in biotechnology*, 34(1), 26-35.
- Houghton, J. T., Ding, Y. D. J. G., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., ... & Johnson, C. A. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: the scientific basis: contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.
- Huhtanen, P., Cabezas-Garcia, E. H., Utsumi, S., & Zimmerman, S. (2015). Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *Journal of dairy science*, 98(5), 3394-3409.
- Hurst, D. F., Oltmans, S. J., Vömel, H., Rosenlof, K. H., Davis, S. M., Ray, E. A., ... & Jordan, A. F. (2011). *Stratospheric*

- water vapor trends over Boulder, Colorado: Analysis of the 30 year Boulder record. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D2).
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Press.
- Iqbal, M. F., Cheng, Y. F., Zhu, W. Y., & Zeshan, B. (2008). Mitigation of ruminant methane production: current strategies, constraints and future options. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(12), 2747-2755.
- Jarvis, G. N., Strömpl, C., Burgess, D. M., Skillman, L. C., Moore, E. R., & Joblin, K. N. (2000). Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. *Current microbiology*, 40(5), 327-332.
- Jeyanathan, J., Martin, C., & Morgavi, D. P. (2014). The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: a review. *Animal*, 8(2), 250-261.
- Johnson, D. E., Johnson, K. A., Ward, G. M., & Branine, M. E. (2000). Ruminants and other animals. In *Atmospheric Methane: Its Role in the Global Environment* (pp. 112-133). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.
- Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B., & Zimmerman, P. (1994). Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental science & technology*, 28(2), 359-362.
- Judd, M. J., Kellier, F. M., Ulyatt, M. J., Lassey, K. R., Tate, K. R., Shelton, I. D., ... & Walker, C. F. (1999). Net methane

- emissions from grazing sheep. *Global Change Biology*, 5(6), 647-657.
- Kaiyala, K. J., & Ramsay, D. S. (2011). Direct animal calorimetry, the underused gold standard for quantifying the fire of life. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 158(3), 252-264.
- Kajikawa, H. (2003). Operation and characteristics of newly improved and marketable artificial rumen (Rusitec). *Memoirs of National Institute of Livestock and Grassland Science*, 2, 1-49.
- Kaya, A., Kaya, H., & Çelebi, Ş. (2012). Ruminant hayvanlarda metan üretimini azaltmaya yönelik çalışmalar/Studies to reduce the production of methane from ruminant. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(2), 197-204.
- Klumpp, S., & Hwa, T. (2014). Bacterial growth: global effects on gene expression, growth feedback and proteome partition. *Current opinion in biotechnology*, 28, 96-102.
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*, 97(6), 3231-3261.
- Kneebone, D. G., & Dryden, G. M. (2014). Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. *Animal Production Science*, 55(1), 1-10.
- Kumar, S., Choudhury, P. K., Carro, M. D., Griffith, G. W., Dagar, S. S., Puniya, M., ... & Puniya, A. K. (2014). New aspects and strategies for methane mitigation from

- ruminants. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(1), 31-44.
- Lassey, K. R., Pinares-Patiño, C. S., Martin, R. J., Molano, G., & McMillan, A. M. S. (2011). Enteric methane emission rates determined by the SF6 tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. *Animal feed science and technology*, 166, 183-191.
- Laubach, J., Grover, S. P., Pinares-Patiño, C. S., & Molano, G. (2014). A micrometeorological technique for detecting small differences in methane emissions from two groups of cattle. *Atmospheric environment*, 98, 599-606.
- Leuning, R., Baker, S. K., Jamie, I. M., Hsu, C. H., Klein, L., Denmead, O. T., & Griffith, D. W. T. (1999). Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods. *Atmospheric environment*, 33(9), 1357-1365.
- Lockyer, D. R., & Jarvis, S. C. (1995). The measurement of methane losses from grazing animals. *Environmental Pollution*, 90(3), 383-390.
- Madsen, J., Bjerg, B. S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., & Lund, P. (2010). Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science*, 129(1-3), 223-227.
- Makkar, H. P., & Vercoe, P. E. (Eds.). (2007). *Measuring methane production from ruminants* (p. 138). Dordrecht, The Netherlands:: Springer.
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M., & Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of animal science*, 86(10), 2642-2650.

- McAllister, T. A., & Newbold, C. J. (2008). Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian journal of experimental agriculture*, 48(2), 7-13.
- McAllister, T. A., Cheng, K. J., Okine, E. K., & Mathison, G. W. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(2), 231-243.
- McGinn, S. M., Flesch, T. K., Coates, T. W., Charmley, E., Chen, D., Bai, M., & Bishop-Hurley, G. (2015). Evaluating dispersion modeling options to estimate methane emissions from grazing beef cattle. *Journal of Environmental Quality*, 44(1), 97-102.
- Miller, T. L., & Wolin, M. J. (2001). Inhibition of growth of methane-producing bacteria of the ruminant forestomach by hydroxymethylglutaryl~ SCoA reductase inhibitors. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1445-1448.
- Mitsumori, M., Ajisaka, N., Tajima, K., Kajikawa, H., & Kurihara, M. (2002). Detection of Proteobacteria from the rumen by PCR using methanotroph-specific primers. *Letters in Applied Microbiology*, 35(3), 251-255.
- Mitsumori, M., & Sun, W. (2008). Control of rumen microbial fermentation for mitigating methane emissions from the rumen. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(1), 144-154.
- Moraes, L. E., Strathe, A. B., Fadel, J. G., Casper, D. P., & Kebreab, E. (2014). Prediction of enteric methane emissions from cattle. *Global change biology*, 20(7), 2140-2148.
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *animal*, 4(7), 1024-1036.

- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000, May). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 231-253). EDP Sciences.
- Mould, F. L., Kliem, K. E., Morgan, R., & Mauricio, R. M. (2005). In vitro microbial inoculum: A review of its function and properties. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 31-50.
- Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. A., ... & Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of animal science*, 84(1), 145-153.
- Odongo, N. E., Or-Rashid, M. M., Kebreab, E., France, J., & McBride, B. W. (2007). Effect of supplementing myristic acid in dairy cow rations on ruminal methanogenesis and fatty acid profile in milk. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1851-1858.
- Öztürk, H. (2007). Küresel ısınmada ruminantların rolü. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 78(1), 17-22.
- Öztürk, H. (2008). Ruminant beslemesinde probiyotik mayalar. *Veteriner Hekimler Derneği Derg*, 79(3), 37-42.
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2009). Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 96(4), 363-375.
- Patra, A. K., Kamra, D. N., & Agarwal, N. (2006). Effect of plant extracts on in vitro methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. *Animal Feed Science and Technology*, 128(3-4), 276-291.

- Pell, A. N., & Schofield, P. (1993). Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *Journal of dairy science*, 76(4), 1063-1073.
- Pinares-Patiño, C. S., Lassey, K. R., Martin, R. J., Molano, G., Fernandez, M., MacLean, S., ... & Clark, H. (2011). Assessment of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 201-209.
- Pinares-Patiño, C., Gere, J., Williams, K., Gratton, R., Juliarena, P., Molano, G., ... & Koolgaard, J. (2012). Extending the collection duration of breath samples for enteric methane emission estimation using the SF₆ tracer technique. *Animals*, 2(2), 275-287.
- Poulsen, M., Schwab, C., Borg Jensen, B., Engberg, R. M., Spang, A., Canibe, N., ... & Urich, T. (2013). Methylophilic methanogenic Thermoplasmata implicated in reduced methane emissions from bovine rumen. *Nature communications*, 4(1), 1428.
- Rymer, C., Huntington, J. A., Williams, B. A., & Givens, D. I. (2005). In vitro cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 9-30.
- Sauer, F. D., Fellner, V., Kinsman, R., Kramer, J. K. G., Jackson, H. A., Lee, A. J., & Chen, S. (1998). Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *Journal of Animal Science*, 76(3), 906-914.
- Sejian, V., Lal, R., Lakritz, J., & Ezeji, T. (2011). Measurement and prediction of enteric methane emission. *International journal of biometeorology*, 55(1), 1-16.

- Sitaula, B. K., Luo, J., & Bakken, L. R. (1992). Rapid analysis of climate gases by wide bore capillary gas chromatography (Vol. 21, No. 3, pp. 493-496). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Storm, I. M., Hellwing, A. L. F., Nielsen, N. I., & Madsen, J. (2012). Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals*, 2(2), 160-183.
- Thauer, R. K., Kaster, A. K., Seedorf, H., Buckel, W., & Hedderich, R. (2008). Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews Microbiology*, 6(8), 579-591.
- Ueno, Y., Yamada, K., Yoshida, N., Maruyama, S., & Isozaki, Y. (2006). Evidence from fluid inclusions for microbial methanogenesis in the early Archaean era. *Nature*, 440(7083), 516-519.
- Ungerfeld, E. M., Rust, S. R., Boone, D. R., & Liu, Y. (2004). Effects of several inhibitors on pure cultures of ruminal methanogens. *Journal of applied microbiology*, 97(3), 520-526.
- Wang, D. T., Gruen, D. S., Lollar, B. S., Hinrichs, K. U., Stewart, L. C., Holden, J. F., ... & Ono, S. (2015). Nonequilibrium clumped isotope signals in microbial methane. *Science*, 348(6233), 428-431.
- Wolin, M. J. (1979). The rumen fermentation: a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. In *Advances in Microbial Ecology: Volume 3* (pp. 49-77). Boston, MA: Springer US.
- Wright, A. D., Ellis, K., Dempsey, J., Overs, L., Valencia, P., Paull, D., & McSweeney, C. (2015). U.S. Patent Application No. 14/129,688.

Zhou ZhenMing, Z. Z., Meng QingXiang, M. Q., & Yu ZhongTang, Y. Z. (2011). Effects of methanogenic inhibitors on methane production and abundances of methanogens and cellulolytic bacteria in in vitro ruminal cultures.

KÖPEK ORAL MİKROBİYOTASININ YETİŞTİRİCİLİK VE HALK SAĞLIĞI PERSPEKTİFİNDEN ÖNEMİ

Mehmet YARDIMCI¹

1. GİRİŞ

Köpeklerin etolojik ihtiyaçları arasında düzenli hareket, koku alma davranışları, alan hâkimiyeti, sosyal hiyerarşi içeren ilişkiler, avlanma yönelimleri ve çeşitli oyun biçimleri yer alır. Bu davranışların önemli bir kısmı ev ortamında sınırlandırılmakta, bastırılmakta veya tamamen engellenmektedir. Gün içinde uzun saatler boyunca yalnız bırakılma, sınırlı alanlarda yaşama ve doğal davranışların baskılanması, köpeklerde kronik stres, anksiyete, stereotipik (tekrarlayıcı, amaçsız) davranışlar, saldırganlık veya aşırı çekingenlik, yıkıcı davranışlar ve patolojik derecede sahiplenme gibi sorunlara yol açabilmektedir. Bu durum yalnızca hayvan refahını olumsuz etkilemekle kalmaz, davranış bozukluklarının artması insanlar için de ev içi güvenlik riskleri, saldırganlık epizodları ve yüksek düzeyde temasa bağlı sağlık problemleri oluşturur (Beerda ve ark., 1999; Puurunen ve ark., 2020; Rooney ve ark., 2009; Sulkama ve ark., 2022).

Modern toplumda duygusal destek, arkadaşlık, aile bireyi, ebeveyn-çocuk ilişkisi benzeri bağlar gibi köpeklerle yüklenen roller köpeğin kendi türüne özgü sosyal yapısını zayıflatmakta ve hayvanı insanlaşmış, beklentilerle şekillendirilmiş bir varlığa dönüştürmektedir. Köpek, insanın duygusal boşluklarını doldurmaya yönelik bir araç hâline geldiğinde, hayvanın türsel

¹ Doç. Dr. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü, ORCID: 0000-0001-5650-437X

davranışları ile insanın beklentileri arasında ciddi bir çatışma doğmaktadır. Bu gibi uyumsuzluklar hem hayvan refahını olumsuz etkiler hem de insan–hayvan etkileşiminde kontrolsüz ve gereğinden fazla yakın temasın artmasına neden olarak halk sağlığı risklerini yükseltir (Mota-Rojas ve ark., 2021; Prato-Previde ve ark., 2022).

Köpekler evde yaşayan hayvanlar olarak görülse de biyolojik olarak dar ve kapalı alanlarda uzun süreli yaşama uygun değildir. Özellikle apartman yaşamı, köpeğin alan ihtiyacı, hareket gereksinimi, çevresel uyarım düzeyi, sosyal temas biçimleri açısından ciddi yetersizliklere sahiptir. Bu eksiklikler kronik stres mekanizmalarını tetiklemekte ve köpeğin davranışlarını öngörülemez hâle getirebilmektedir. Stres altındaki hayvanlarda ısırma, havlama, saldırganlık, aşırı yalayarak ilişki kurmaya çalışma gibi davranışlar daha sık görülür. Bu davranış biçimlerinin büyük bölümü ev sakinleri ile fiziksel temas sıklığını ve temasın yoğunluğunu artırarak halk sağlığı açısından daha fazla risk yaratır (Denham ve ark., 2014; Hunt ve ark, 2022; Rooney ve ark, 2007).

Pek çok insan köpeği bir “aile bireyi” veya “çocuk” olarak konumlandırmakta; bu da köpek ile insan arasındaki mesafenin neredeyse tamamen ortadan kalkmasına yol açmaktadır. Aynı yatakta uyuma, yüz yalama davranışlarının teşvik edilmesi, ağızdan besleme, yoğun kucak temaslari ve sürekli fiziksel yakınlık gibi uygulamalar köpeğin davranışsal sınırlarını belirsizleştirirken, insanın da fark etmeden biyolojik risklere maruz kalmasına neden olur. Bu tür davranış modelleri, köpeğin kendi kimliğini; yani türüne özgü davranış normlarını kaybetmesine, insana aşırı bağımlı, doğal tepkileri bastırılmış ve stres kaynaklarına duyarlı hâle gelmesine neden olabilir. İnsan merkezli yaşamın baskısı, köpeklerde uyutulmuş saldırganlık, içgüdüsel davranışların bastırılması, ani ve öngörülemeyen davranış patlamaları şeklinde geri dönebilir. Bu ise hem hayvanı

hem de insanı risk altına sokar (Bradshaw ve Casey, 2007; de Araújo ve ark, 2023; Mota-Rojas ve ark, 2021).

2. KÖPEK İLE YAKIN TEMASIN RİSKLERİ

Kent yaşamında köpeklerin artan görünürlüğü parklar, siteler, apartmanlar, toplu taşıma ve sosyal alanlarda insanların köpeklerle istemsiz temasını artırmaktadır. Pek çok kişi, hayvanlara yaklaşma, dokunma, besleme veya onları sevmeye konusunda yeterli bilgiye sahip değildir. Bilinçsizce yakınlaşmalar hem köpeğin stresini artırır hem de saldırganlık veya ani davranış değişiklikleri için zemin hazırlar (Serpell, 2019).

Ayrıca köpek sahiplerinin çoğu, hayvanın doğal davranışlarını kontrol etme amacıyla belirgin düzeyde fiziksel yakınlık ve sözlü temas kurarak köpeği sürekli yönlendirmeye çalışmaktadır. Bu durum hem köpeğin stres düzeyini yükseltir hem de insanın, hayvanın mikrobiyal yükü ile sürekli temas hâlinde olmasına neden olur. Kısacası, köpek-insan birlikteliği modern yaşam koşulları içinde hem hayvanın doğal ihtiyaçlarının karşılanamamasına hem de insanın istemediği hâlde çeşitli biyolojik ve davranışsal risklere maruz kalmasına neden olabilmektedir (Verbeek ve ark, 2024).

Köpeklerden insanlara zoonotik etkenlerin bulaşmasında ısırık ve tırmalama, tükürük teması, solunum salgılarının aerosol hâline gelmesi gibi doğrudan yolların yanı sıra, kontamine yüzeyler, yiyecek hazırlama alanları veya eşyalar aracılığıyla dolaylı temas da rol oynayabilir (Daly ve ark., 2017). Amerikan Veteriner Hekimler Birliği'nin verilerine göre sahiplerin %70'i evcil hayvanlarını aile üyesi olarak tanımlamaktadır. Bu durum, fiziksel temasın (örneğin birlikte uyuma veya yüz yalama davranışları) yaygınlaşmasına neden olmaktadır (Jensen, 2018). Ayrıca köpek ısırığı vakalarının önemli bir kısmı başıboş

hayvanlardan değil, evcil köpeklerden kaynaklanmaktadır (Overall ve Love, 2001).

Moleküler tanı yöntemlerindeki gelişmelerin köpek kaynaklı bakteriyel hastalıkların ve ağız mikrobiyotasına ilişkin verilerin daha ayrıntılı biçimde ortaya koyması konuya daha bilimsel ve teknik bir boyutla bakılmasına olanak sağlamıştır (Şakarnyte ve ark., 2023).

Köpek tükürüğünün potansiyel patojen içeriği ve bu patojenlerin insanlarda oluşturabileceği klinik tablolar göz önüne alındığında, özellikle yüz yalama ve açık yara temasının halk sağlığı açısından önemli bir risk faktörü olduğu anlaşılmaktadır. Bilimsel literatür “köpeğin salyasından sahibine hastalık bulaşabilir” ifadesinin yalnızca teorik bir uyarı olmadığını, aksine çeşitli bakteriyel ve viral patojenler için kanıtlarla desteklenen gerçek bir halk sağlığı sorunu olduğunu ortaya koymaktadır. Köpekler birçok viral ve bakteriyel zoonotik etken için önemli bir rezervuar olarak kabul edilir. (Ghasemzadeh ve Namazi, 2015).

Köpek salyasıyla temas çeşitli sağlık riskleri doğurabilir. Kuduz ve *Capnocytophaga canimorsus* gibi zoonotik patojenler ciddi enfeksiyonlara yol açabilirken, tükürükteki bakterilerin açık yaralara geçmesi sonucu lokal veya sistemik enfeksiyonlar gelişebilir. Ayrıca, salyadaki proteinler hassas bireylerde alerjik reaksiyonlara neden olabilir ve *Helicobacter* türlerine maruz kalmak mide-bağırsak rahatsızlıklarını tetikleyebilir (Ibadurrahman ve ark., 2025).

Amerika Birleşik Devletleri’nde her yıl yaklaşık 5 milyon kişi köpek ısırığına maruz kalmakta ve bu yaraların yaklaşık %15’i enfekte olmaktadır. Özellikle splenektomi geçirmiş bireylerde bu yolla bulaşan hastalıklar hayatı tehdit eden bakteriyemiye neden olabilir. Bunun yanında, aile köpeklerindeki üropatojenik etkenlerin bir rezervuar işlevi görerek idrar yolu

enfeksiyonlarına neden olabileceği bildirilmektedir (Jacob ve Lorber, 2015).

Biyomedikal bilimlerdeki sürekli ilerlemelere rağmen, bulaşıcı hastalıklar dünya çapında insan morbidite ve mortalitesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır ve zoonozların dünya çapında her yıl 2.5 milyar hastalık vakasından ve 2.7 milyon ölümden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca ortaya çıkan ve yeniden ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların %75'inin insanlar ve evcil hayvanlar arasındaki ilişkinin büyüdüğü tahmin edilmektedir. Bu durum, Avrupa'daki hanelerin %23'ünün köpek, %22'sinin kedi beslemesi ve ABD'de nüfusun 1/3'ünün evcil hayvan sahibi olmasıyla desteklenmektedir (Cito ve ark., 2016).

Evcil hayvanlarla aynı yaşam alanını paylaşmak, yalnızca klasik bakteriyel zoonozlara değil, aynı zamanda ağız ve diş sağlığı ile ilişkili patojenlerin de insana aktarılmasına zemin hazırlar. Yakın fiziksel temas, okşama, yalama, ısırık veya tırmalama gibi doğrudan yollarla ya da kontamine çevre ve gıda üzerinden gerçekleşen dolaylı yollarla bulaşa neden olabilir. Özellikle küçük çocuklar, yaşlılar, hamile bireyler ve immün yetmezliği olan kişiler zoonotik enfeksiyonlara karşı daha savunmasızdır (Flynn, 1999; Schauss ve ark., 2009; Weese ve Kruth, 2006).

Köpeklerin ağız mukozasından izole edilen mikroorganizmalar ile insanlardaki ısırık yaraları arasında gözlemlenen benzerlikler, fırsatçı patojenlerin evcil hayvanlardan sahiplerine bulaşma riskinin potansiyel olduğunu ortaya koymuştur (Portilho ve ark., 2023). Köpeklerin ağız boşluklarındaki mikrobiyotanın karmaşıklığı göz önüne alındığında, insanlarda köpek ısırıkları sonucu oluşan yaralar birden fazla tür tarafından enfekte edilebilmekte ve bu da tedaviyi zorlaştırmaktadır (Linn ve Patil, 2015).

Enfeksiyon riski, bağışıklık sistemi zayıf kişilerde, çocuklarda, hamile kadınlarda ve yaşlılarda daha belirgindir. Ayrıca, evcil hayvan bakıcıları, veterinerler, kasaplar, çiftçiler, hayvanat bahçesi görevlileri ve laboratuvar araştırmacıları gibi mesleki olarak bu tür etkenlere maruz kalan çalışanlar da risk altındadır (Kahn, 2006).

3. KÖPEK TÜKÜRÜĞÜNÜN TEHLİKELERİ

Tükürük, küçük moleküller bakımından zengin içeriği ve “vücudun aynası” olarak kabul edilmesi nedeniyle, sağlık durumunun izlenmesi, tanı konulması ve hastalıkların moleküler patogenezinin aydınlatılmasında invaziv olmayan bir biyolojik örnek materyali olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Benzer şekilde, metabolik hastalıklar, kronik inflamasyon ve bunlara bağlı olarak gelişen diyabet, inflamatuvar bağırsak hastalığı ve lösemi gibi insanlarda da görülen hastalıklardan muzdarip evcil köpeklerde, tükürüğün tanısal potansiyeli giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Turunen ve ark., 2020).

Mikrobiyota, köpek tükürüğü gibi belirli bir ekolojik ortamda yaşayan mikroorganizmaların bütünü ifade eder. İnsanlar, enfekte bir köpek ile doğrudan temas ederek veya tükürükle kirlenmiş yüzeylere dokunarak enfekte olabilir (Al-Amrah ve ark., 2025).

Köpek tükürüğü çok sayıda potansiyel mikroorganizmayı barındırmakta olup, *Abiotrophia*, *Actinomyces*, *Arthrobacter*, *Brucella*, *Brevibacterium*, *Campylobacter*, *Capnocytophaga*, *Corynebacterium*, *Desulfomicrobium*, *Escherichia*, *Euzebya*, *Flavobacterium*, *Frederiksenia*, *Fusobacterium*, *Gemella*, *Haemophilus*, *Kurthia*, *Lampropedia*, *Lactobacillus*, *Leptotrichia*, *Microbacterium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Nocardia*, *Paludibacter*, *Pasteurella*, *Porphyromonas*, *Prevotella*, *Proteocatella*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Rothia*, *Streptococcus* bu

etkenler arasında yer almaktadır. Özellikle *Pasteurella* türleri, köpek ısırıklarından izole edilen mikroorganizmaların yaklaşık %50'sini oluşturmakta ve ısırıktan sonraki ilk 24 saat içerisinde gelişen inflamasyon, pürülan akıntı, lenfanjit veya nekrotizan fasiit gibi klinik tablolarla ilişkilendirilmektedir (Bonnet ve ark., 1999; Elliott ve ark., 2005; Bell ve ark., 2020; Kačirová ve ark., 2021; Oba ve ark., 2021).

Köpek tükürüğü ile bulaşan kuduz, gelişmiş ülkelerin çoğunda büyük ölçüde kontrol altına alınmış olmasına karşın, dünya genelinde hâlâ önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir. Özellikle evcil köpekler ve daha az ölçüde kediler, enfeksiyonun başlıca rezervuarlarını oluşturmaktadır. İnsanlarda görülen kuduz vakalarının %99'undan fazlası, doğrudan köpeklerle temas sonucu ortaya çıkmaktadır (Fooks ve ark., 2014).

4. MİKROBİYOLOJİK PENCEREDEN BAKIŞ

Evcil hayvanlar, özellikle köpekler ve kediler, insanlarla yakın ilişki içinde olan ve günlük yaşamda sıkça karşılaşılan canlılardır. Bu yakın temas, birçok sağlık faydası sağlasa da beraberinde zoonotik enfeksiyon riski de taşır. Evcil hayvanların orofaringeal ve üst solunum yolu florasında doğal olarak bulunan çeşitli bakteriler, insanlarla temas yoluyla bulaşabilir ve bazen ciddi klinik tablolar oluşturabilir. Mikrobiyolojik açıdan bakıldığında, özellikle köpek ve kedilerden kaynaklanan başlıca bakteriyel patojenlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, detaylı olarak incelenmeyi gerektirmektedir.

Köpekler, insanlarda enfeksiyona neden olma potansiyeline sahip çeşitli bakterilerin taşıyıcısı olabilir. Bu enfeksiyonlar, enfekte köpeklerle, vücut sıvılarıyla veya kontamine nesnelerle doğrudan temas yoluyla bulaşabilir. Köpekler tarafından bulaşan yaygın bir bakteriyel zoonotik

enfeksiyon, *Kampilobakteriyoz*'dur. Bu enfeksiyon, köpeklerin bağırsaklarında yaygın olarak bulunan *Kampilobakter* bakterisinden kaynaklanır. İnsanlar, kontamine köpek dışkısıyla temas ederek veya enfekte hayvanların az pişmiş etini tüketerek enfekte olabilirler. *Kampilobakter*lerin belirtileri arasında ishal, karın ağrısı, ateş ve mide bulantısı bulunur (Bowman ve Lucio-Forster, 2010; Souza, 2011).

Köpekler tarafından bulaşan bir diğer bakteriyel zoonotik enfeksiyon *Salmonelloz*'dur. *Salmonella* bakterileri sağlıklı köpeklerin bağırsaklarında bulunabilir ve dışkılarıyla yayılabilir. İnsanlar, *Salmonella* ile kirlenmiş yiyecek veya su tüketerek veya enfekte köpeklerle doğrudan temas yoluyla enfekte olabilir. *Salmonelloz* belirtileri arasında ishal, ateş, karın krampları ve kusma bulunur (Rabinowitz ve ark., 2007; Tremlett ve ark., 2017).

Leptospiroz, enfekte köpeklerin idrarı veya diğer vücut sıvılarıyla temas yoluyla insanlara bulaşabilen bakteriyel bir zoonotik enfeksiyondur. *Leptospiroz*dan sorumlu bakteri *Leptospira* su veya nemli ortamlarda uzun süre yaşayabilir. İnsanlarda bu enfeksiyon, yüksek ateş, baş ağrısı, kas ağrıları, sarılık ve böbrek yetmezliği gibi çok çeşitli semptomlara neden olabilir (Sehgal, 2006; Terpstra, 2003).

Metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA), köpeklerden insanlara bulaşabilen ve birçok antibiyotiğe direnç geliştirmiş bir başka bakteriyel enfeksiyondur. Köpekler, herhangi bir belirti göstermeden derilerinde ve burun yollarında metisilin dirençli MRSA taşıyabilirler. İnsanlar ise enfekte bir köpekle doğrudan temas yoluyla veya kontamine nesnelere dokunarak enfekte olabilir. MRSA enfeksiyonları, deri ve yumuşak doku enfeksiyonlarına, zatürreye ve kan dolaşımı enfeksiyonlarına neden olabilir (Cohn ve Middleton, 2010; Rabinowitz ve ark., 2007).

Köpekler *Escherichia coli*'yi insanlara da bulaştırabilir. *E. coli* bakterileri köpeklerin bağırsaklarında bulunur ve dışkılarıyla yayılır. İnsanlar, kontamine köpek dışkısıyla temas ederek veya enfekte hayvanların az pişmiş etini tüketerek enfekte olabilir. *E. coli* enfeksiyonunun belirtileri arasında ishal, karın ağrısı ve ateş dikkat çeker (Anonymous, 1997).

Pasteurella türleri ele alınacak olursa bu mikroorganizmalar çoğunlukla hayvanlarda bulunan gram-negatif kokobasiller olup, özellikle köpek ve kedilerin üst solunum yollarının normal mikrobiyotasında yer alırlar. Bu bakteriler, insanlara genellikle köpek veya kedi ısırıkları, yalamaları ya da kedi tırmalamaları gibi doğrudan temas yollarıyla bulaşmaktadır (Oehler ve ark., 2009). İnsanlarda görülen enfeksiyonların önemli bir kısmı *Pasteurella* türlerine atfedilmekte olup, en yaygın klinik tablo yumuşak doku enfeksiyonlarıdır. Bunun yanı sıra menenjit, kemik ve eklem enfeksiyonları ile solunum yolu enfeksiyonları da bu bakterilerle ilişkilidir (Kristinsson, 2007). Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen prospektif bir çalışmada, *Pasteurella* türlerinin köpek ve kedi ısırıklarından izole edilen en sık mikroorganizmalar olduğu bildirilmiştir (Talan ve ark., 1999). *Pasteurella multocida* insanlara ve birçok hayvana bulaşabilen önemli bir zoonotik bakteridir. *P. multocida*, *P. canis*, *P. stomatis*, *P. dagmatis*, *P. gallinarum*, *P. avium*, *P. volantium*, *P. langaa* ve *P. anatis* gibi türlerle birlikte, çoğu hayvanda üst solunum yollarında hastalığa yol açmadan kommensal olarak bulunabilir. Ancak konağın bağışıklık sisteminin zayıflaması veya bakterilerin ısırık, çizik ya da doku bütünlüğünü bozan lezyonlar yoluyla vücuda girmesi durumunda fırsatçı patojen hâline gelebilir (Kubatzky, 2022). Köpek ısırıklarına bağlı enfeksiyonlar genellikle polimikrobiyal nitelikte olup, yara kültürlerinde çoğu zaman beşten fazla mikroorganizma saptanır. Bu etkenler arasında *P. canis* ve *P. multocida*'nın yanı sıra çeşitli anaerob bakteriler, streptokoklar ve

stafilokoklar da yer alır. *P. multocida* kedi ısırıkları ve tırmalamalarıyla ilişkili enfeksiyonlarda daha sık görülürken, köpek kaynaklı olgularda daha nadir izole edilmektedir. Ayrıca, nadiren de olsa enfekte köpek ısırıklarının ardından *Blastomyces dermatitidis*'e bağlı kronik deri enfeksiyonu olguları da bildirilmiştir (Jacob ve Lorber, 2015).

Capnocytophaga canimorsus köpek ve kedilerin orofaringeal florasında doğal olarak bulunan, yavaş üreyen gram negatif bir basildir. İlk olarak yaklaşık 40 yıl önce tanımlanmış olup, o tarihten bu yana 125'ten fazla insan olgusu bildirilmiştir. Köpeklerin yaklaşık %70'inin dişeti florasında izole edilen bu bakteri, insanlara genellikle köpek ısırığı veya tükürük teması yoluyla bulaşmaktadır (Jacob ve Lorber, 2015). *C. canimorsus* insanlarda sepsis ve septik şok gibi ağır sistemik enfeksiyonlara neden olabilen en önemli zoonotik patojenlerden biridir. Mortalite oranı yaklaşık %26 olarak bildirilmektedir (Sabia ve ark., 2019). Sağlıklı bireylerde genellikle asemptomatik seyretmesine karşın, ileri yaşta olanlar, asplenik bireyler, karaciğer sirozu bulunanlar, kronik alkol kullanım öyküsü olanlar, hemokromatoz veya beta-talasemi gibi hematolojik hastalıklara sahip kişilerde ağır klinik tablolar gelişebilmektedir. Kuluçka süresi genellikle 1-7 gün arasında değişir ve başlangıçta lokal bulgularla seyreden enfeksiyon kısa sürede sistemik yayılım gösterebilir. Klinik olarak sepsis, menenjit, endokardit, pnömoni, septik artrit, osteomyelit ve akciğer apsesi gibi ciddi komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Ayrıca, trombotik trombositopenik purpura ve hemolitik üremik sendrom gibi hematolojik komplikasyonlar da özellikle bağışıklık sistemi baskılanmış hastalarda *Capnocytophaga* sepsisemisiyle ilişkili olarak tanımlanmıştır (Janda ve ark., 2006). Bireysel duyarlılık açısından, bağışıklığı baskılanmış kişiler, ileri yaşlı bireyler, çocuklar ve splenektomili hastalar köpeklerle yakın temas bakımından özel risk taşır. *Capnocytophaga canimorsus*

enfeksiyonlarının büyük bölümünün bu risk gruplarında görüldüğü; bazı olgularda maruziyetin yalnızca köpeğin el yalama davranışı olduğu bildirilmektedir (Jolivet-Gougeon ve ark., 2007).

Brucella canis tükürük yoluyla bulaşarak lokal enfeksiyonların yanı sıra bruselloza benzer sistemik belirtilere yol açabilmektedir (Murphy, 2008). *B. canis* kaynaklı insan enfeksiyonu tükürük gibi vücut sıvılarına maruz kalmayla ortaya çıkabilir. Hastalarda baş ağrısı, miyalji, artralji ve kötü kokulu terleme gibi spesifik olmayan ateşli bir hastalık olabilir veya fokal enfeksiyonla uyumlu bulgular görülebilir. Periferik artrit, sakroiliit ve spondilit gibi osteoartiküler hastalıklar en sık görülen lokalize bulgulardır. Endokardit, epididimo-orşit, hepatit, epidural apse, üveit ve merkezi sinir sistemi tutulumu tanımlanmıştır. Potansiyel maruziyet, tutarlı klinik özellikler ve pozitif seroloji veya kültür kombinasyonu bruselloz tanısını doğrular (Jacob ve Lorber, 2015).

Corynebacterium ulcerans difteri toksini salgılayan ve insanlarda difteri benzeri hastalığa yol açan zoonotik olarak bilinir. Bu bakteri genellikle köpekleri enfekte eder ve insanlar arasında yaygındır, insanları da enfekte edebilir. Dahası, *C. ulcerans* normalde av hayvanları gibi vahşi hayvanlar tarafından taşınır. Bazı araştırmalar köpeklerin *C. ulcerans*'in asemptomatik taşıyıcıları olduğunu ve bunu insanlara ve diğer köpeklere bulaştırabildiklerini ileri sürmüştür (Katsukawa ve ark., 2016).

Gastritli köpeklerin tükürüğünde bulunan *Helicobacter*'in başlıca türleri *H. canis*, *H. heilmannii*, *H. felis*, *H. bizzozeronii* ve *H. salomonis*'tir. Bu etkenler insanlar ve diğer hayvanlar için *Helicobacter spp.* enfeksiyonlarının potansiyel bir kaynağı olabilir ancak az sayıda araştırma dışında bu iddia henüz tam olarak doğrulanmamıştır (Jankowski ve ark., 2016).

Bordetella bronchiseptica, *Bordetella* cinsine ait gram negatif bir çubuk bakteridir. Patojen normalde köpek ve kedi gibi memelilerin üst solunum yollarında yaşar ve insanlara aerosol yoluyla bulaşır. *B. bronchiseptica*, köpeklerde sert ve kulübe öksürüğüyle seyreden akut trakeobronşite yol açabilir (Woolfrey ve Moody, 1991; Ner ve ark., 2003). *B. bronchiseptica* ile insanlarda enfeksiyon çok nadirdir ancak patojen köpek sahiplerinde zatürre ve üst solunum yolu enfeksiyonuna neden olabilir (Hemsworth ve Pizer, 2006).

Coxiella burnetii insanlarda Q ateşine neden olan zorunlu hücre içi gram-negatif bir bakteridir. Patojen normalde bireyleri aerosol ve enfekte hayvanların vücut sıvılarıyla doğrudan temas yoluyla enfekte eder. Her ne kadar köpekler *C. burnetii* için ana rezervuar olmasa da *C. burnetii*'nin çiftlik köpeklerinin yaklaşık %10'undan izole edildiği gösterilmiştir (Cosmon ve ark., 2013). *C. burnetii*'nin enfekte doğum yapan bir köpekten insana bulaşabileceği ve hastalarda ateş, titreme, mide bulantısı, kusma ve balgamlı öksürük gibi Q ateşi semptomları geliştiği bildirilmiştir. Göğüs radyografisinde opaklık bulgusunun tipik olduğu ve fizik muayenede oskültasyon sırasında hışırtı duyulabileceği kaydedilmiştir. Bu belirtilerin kuluçka süresinin enfekte hayvana maruziyetten sonra 8-12 gün arasında olduğu tahmin edilmektedir (Patel ve ark., 2011).

Kuduz enfeksiyonu, insan ve hayvan popülasyonunda yüksek ölüm oranına sahip etkeni *Rabies lyssavirus* olan eski bir hastalıktır. Dünya Sağlık Örgütü raporlarına göre, dünya genelinde kuduz enfeksiyonu nedeniyle yılda 30.000 ile 70.000 arasında ölüm meydana gelmektedir (Krebs ve ark., 2004). Köpekler, kuduz enfeksiyonunun başlıca hayvan rezervuarlarıdır. Gelişmekte olan ülkelerdeki enfekte hastaların çoğu köpek ısırıklarıyla enfekte olurken, gelişmiş ülkelerde rakun, yaras ve tilki gibi vahşi hayvanlar kuduz bulaşmasının ana nedenidir (Tang ve ark., 2005). Amerika Birleşik Devletleri'nde, evcil köpeklerde

kapsamlı aşılama yapılmak suretiyle kuduz enfeksiyonunu azaltmayı başaran bir kuduz kontrol programı yürütülmüştür (Krebs ve ark., 2004). Kuduzun kuluçka süresi, aşı yarasının konumuna ve indüklenen virüs miktarına bağlı olarak 4 gün ile birkaç yıl arasında değişmektedir. Hastalarda ajitasyon, anksiyete, konfüzyon, halüsinasyon ve hidrofobi görülebilir. Şüpheli köpek ısırığından sonraki 14 gün içinde sık dozlarda insan kuduz immünoglobulini ile temas sonrası profilaksi, hastalığı önleyebilir. Yaranın su ve sıvı sabunla yıkanması, viral enfeksiyonu ve dolayısıyla kuduz enfeksiyonu olasılığını önemli ölçüde azaltabilir (Lucas ve ark., 2007).

5. AĞIZ VE DİŞ SAĞLIĞI İLE İLİŞKİLİ ZOONOTİK BULAŞMA

Ağız mikrobiyotasında bulunan bakteriler, yakın temas sonucu oral kaviteye veya cilt yoluyla insanlara taşınabilmektedir. Bu bağlamda köpeklerde ve sahiplerinde periodontopatojenik bakteri türlerinin dağılım benzerliği dikkat çekmektedir. *Porphyromonas gulae* başta olmak üzere bazı patojenlerin günlük yakın temasla insana aktarılabilirdiği bildirilmektedir (Yamasaki ve ark., 2012).

Köpeklerde periodontal enfeksiyonlarla ilişkili olan *Bacteroides melaninogenicus* yüksek miktarda bulunur (Elliott ve ark., 2005). Benzer şekilde *Porphyromonas cangingivalis* köpek tükürüğünde yüksek oranda bulunur. *Porphyromonas*, insanlarda periodontal hastalıkları etkiler. *P. cangingivalis*, köpeklerde en yaygın görülen bakteridir ve periodontite neden olabilir (Darveau ve ark., 2012; O'Flynn ve ark., 2015; Ruparell ve ark., 2020).

Periodontal hastalıklar köpeklerde oldukça yaygın olarak görülmekte olup, popülasyonun yaklaşık %44–64'ünü etkilemektedir. Oral mikrobiyota, diş yüzeylerinde plak birikimi sonucunda geliştiğinden, periodontal hastalıkların patogenezinde

kritik bir rol oynamaktadır. Plakların kalsifikasyonu sonucunda oluşan diş taşları, gözenekli yüzey yapıları nedeniyle bakteriyel kolonizasyon ve proliferasyon için uygun bir ortam sağlar. Bu durum diş eti bağ dokusunun bütünlüğünün bozulmasına yol açarak periodonsiyumun zarar görmesine neden olabilir. Sağlıklı köpeklerde genellikle gram-negatif bakterilerin baskın olduğu, buna karşın periodontal hastalığa sahip köpeklerde gram-pozitif anaerobik türlerin daha fazla bulunduğu bildirilmektedir (Oba ve ark., 2021).

6. ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ

Antimikrobiyal direnç (Antimicrobial Resistance-AMR) bir antibiyotiğe duyarlı bir bakterinin (patojen veya komensal) o antibiyotiğe maruz kaldıktan sonra duyarsız hale gelmesi (edinilmiş direnç) ile ortaya çıkan doğal bir olgudur (Caneschi ve ark., 2023).

Bakteriler, çevrelerinin koşulları artık avantajlı olmadığında, örneğin antibiyotiklerin varlığında, kendilerini değiştirebilen basit ve dirençli mikroorganizmalardır. Bu nedenle, AMR, herhangi bir antibiyotiğin katkıda bulunduğu doğal bir olgu olarak kabul edilmelidir. AMR tehdidi çoğunlukla antibiyotiklerin aşırı, yanlış, gereksiz yere veya reçetesiz kullanımından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan hayvanlarda yaygın şekilde antibiyotik kullanımı da dirençli bakterilerin seçilimi ve bulaşmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur (Varela ve ark., 2021).

Antimikrobiyal direnç mekanizmaları arasında bakteri zarlarındaki aktif dışa aktarım sistemleri, antimikrobiyallerin patojenik bakteri hücrelerine girişinin engellenmesi, antimikrobiyal ajanların enzimatik yıkımı, kalın biyofilm üretimi, antimikrobiyallerin modifiye edilmiş hedefleri ve antimikrobiyallerden korunan bakteriyel etki bölgeleri yer alır.

Ayrıca, çoklu ilaca dirençli bakteriler, klinik ortamda, gıda üretim endüstrisinde, insan bağırsağında ve tarımda patojenik türlere karşı direncin genetik belirleyicilerinin DNA aktarımını sağlayan mekanizmalar geliştirmiştir (Silbergeld ve ark., 2008).

İnsan, hayvan ve çevresel yaşam alanlarının birbirine bağlı olması, endişe verici küresel sağlık sorunlarından biri olan antimikrobiyal direncin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Tek sağlık konseptine göre evcil hayvanlar ile sahipleri arasındaki fiziksel yakınlık, çok sayıda antimikrobiyal direnç genini barındırabilenler de dahil olmak üzere bakterilerin türler arası yayılmasını kolaylaştırır (Tóth ve ark., 2025).

Evcil hayvanlarla ortak yaşam alanlarının paylaşılması, yüzey, gıda ve nesneler üzerinden antibiyotiklere dirençli bakterilerin türler arasında aktarılmasına zemin hazırlar. Yaşlı veya kronik hastalığa sahip hayvanlarda sık antibiyotik kullanımı dirençli suşların gelişmesine neden olarak tedavi süreçlerini zorlaştırmaktadır (Azuonwu ve ark., 2023).

Son metagenomik çalışmalar, köpeklerde yaygın olarak bulunan potansiyel olarak patojenik *Bacteroides*, *Capnocytophaga*, *Corynebacterium*, *Fusobacterium*, *Pasteurella*, *Porphyromonas*, *Staphylococcus* ve *Streptococcus* türlerinin genomunda, insanlar için kritik ve son derece önemli olanlar da dahil olmak üzere farklı antimikrobiyal sınıflarına karşı direnci kodlayan AMR genlerinin tanımlanabileceğini bildirmiştir (Šakarnyte ve ark., 2023).

7. VEKTÖR KAYNAKLI HASTALIKLAR

Kent ve kırsal alanlarda köpek-kedi popülasyonundaki artış, paraziter ve vektör kaynaklı hastalıklar açısından halk sağlığı için yeni tehditler oluşturmaktadır. Sahipli veya sahipsiz hayvanlara düzenli endo- ve ektoparaziter koruma

uygulanmaması, bu hayvanların vektör kaynaklı patojenler için önemli rezervuar hâline gelmesine yol açmaktadır (Ortega-Pacheco ve Jimenez-Coello, 2025).

Özellikle sokak hayvanları ve barınak köpekleri, vektör yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde enfeksiyonun yayılmasında kritik bir role sahiptir.

Hayvan ısırıkları önemli bir halk sağlığı sorunudur ve acil servis başvurularının yaklaşık %0,5 ila %1'ini oluşturur; bildirilen ısırıkların %75 ila %90'ından köpekler sorumludur. Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 5 milyon kişi köpek ısırığıyla karşı karşıya kalmakta ve bunların yaklaşık %15'i tıbbi müdahale gerektirmektedir. Çoğu durumda, köpek ısırılan kişiye, bir arkadaşına veya komşuya aittir. Isırıkların yarısı ile üçte ikisi çocuklarda görülür ve en yüksek görülme sıklığı 5 ile 9 yaş arasındaki çocuklarda görülür; yetişkinlikte ise postacılar, veterinerler ve hayvan kontrol görevlilerinde yüksek bir görülme sıklığı vardır. Isırıkların çoğu sıcak havalarda meydana gelir ve ısırıklar en sık el ve üst ekstremitelerdir. Ancak, çocuklardaki ısırıkların en az yarısı baş ve boyun bölgesini içerir (Jacob ve Lorber, 2015).

Köpek sahiplerinin büyük çoğunluğu köpek tükürüğünü steril veya zararsız olarak değerlendirme eğilimindedir. Bu yanlış algı, tükürük temasının belirgin şekilde hafife alınmasına yol açmaktadır. Buna karşın literatür, tükürükle temas olan durumlarda, özellikle deri bütünlüğü bozulmuş bireylerde ciddi enfeksiyonların ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

Kökene köpeklerde görülen vektör kaynaklı birçok hastalığın coğrafi dağılımı, daha önce bu hastalıklardan arı olan bölgelere yeni veya yeniden tanıtılan vektör türlerinin yayılmasıyla etkilenmiştir. Örneğin, Avrupa'da *Aedes albopictus*'un, Kuzey Amerika'da ise *Dirofilaria immitis*, *Ehrlichia canis* ve *Hepatozoon americanum*'un, Avustralya'da

Anaplasma platys'in (eski adıyla *Ehrlichia platys*), yine Kuzey Amerika'da *Leishmania infantum*'un ve Kuzey Avrupa dâhil olmak üzere çeşitli bölgelerde farklı vektör kaynaklı patojenlerin yeniden ortaya çıkışı bu duruma örnek teşkil etmektedir. Bazı köpek vektör kaynaklı hastalıkların yayılımı, biyolojik ve ekolojik faktörlerin etkileşimiyle şekillenen belirli metazoonotik hastalıkların yeniden ortaya çıkma riskini artırmaktadır. Bu hastalıkların dinamikleri ayrıca hem bireysel hem de popülasyon düzeyinde patojenler, vektörler ve konakçı bağışıklık sisteminin etkinliği arasındaki karmaşık ilişkiler tarafından belirlenmektedir (Otranto ve ark., 2009).

Leishmania infantum enfeksiyonlarının daha önce endemik olmayan bölgelerde artış göstermesi dikkat çekicidir. Ayrıca *Onchocerca lupi* gibi yeni tanımlanan etkenler ve *Dirofilaria repens* gibi yeniden ortaya çıkan parazitler hem insanlarda hem de köpeklerde giderek daha sık bildirilmektedir.

Vektör varlığı, enfektif ısırma oranları ve rezervuar konakların bulunması gibi biyolojik etkenlerin yanı sıra; iklim değişikliği, uluslararası seyahatler ve hayvan nakilleri gibi çevresel faktörler hastalıkların yayılmasını hızlandırmaktadır (Otranto, 2018).

Gelişmiş ülkelerde köpek bakımı ve refahı yüksek standartlarda sürdürülmektedir. Aynı zamanda, sahipleriyle seyahat eden köpeklerin sayısı ve enfekte hayvanların endemik bir bölgeden endemik olmayan bir bölgeye (örneğin, Güney Avrupa ülkelerinden Kuzey Avrupa ülkelerine) ithal edilmesi ve taşınması önemli ölçüde artmıştır ve bu da nihayetinde egzotik köpek vektör kaynaklı hastalıkların bulaşma riskinin artmasına yol açmıştır (Baneth ve ark., 2008).

8. KÖPEK SAHİPLERİNE ÖNERİLER

Köpeklerle yakın ve devamlı temas hâlinde olan bireylerde, oral mikrobiyotaya bağlı enfeksiyon riski belirgin biçimde artmaktadır. Bu gruba yetiştiriciler, barınak çalışanları, köpek eğitimcileri, groomer'lar, veteriner klinik personeli ve köpek sahipleri dahildir. Enfeksiyon riskinin düzeyini belirleyen faktörler arasında köpek sayısı, temas sıklığı, hijyen uygulamaları, köpeğin ağız ve diş sağlığı durumu ve beslenme şekli önemli rol oynamaktadır (Tóth ve ark., 2022). Özellikle yüz yalama, el-burun teması, açık yaralara tükürük bulaşması, çocukların köpeklerle yakın teması ve çiğ et diyetiyle beslenen köpeklerin yüksek patojen yükü risk arttırıcı etkenlerdir (Stull ve ark., 2015).

Nitekim evcil hayvanlar, patojenik mikroorganizmaların potansiyel rezervuarları olarak tanımlanmıştır (Orsini ve ark., 2022). Bu nedenle, bulaşıcı hastalıkları olan köpek ve kedi sahiplerine, temas halindeki hayvanlara ve insanlara hastalık bulaşma riski hakkında genel bilgiler verilmelidir. Bu bilgiler arasında bulaşma şekli, organizmanın yayılma süresi ve küçük çocuklar veya diğer bağışıklık sistemi baskılanmış bireyler için özel etkileri olup olmadığı yer alır. Köpek ve kedilere zoonotik bir hastalık teşhisi konulursa, sahipleri gecikmeden bilgilendirilmelidir. Sahiplerine, kendilerini rahatsız hissetmeleri durumunda veya bazı durumlarda derhal doktorlarına görünmeleri ve olası maruziyet konusunda bir doktora bilgi vermeleri söylenmelidir (Sykes ve Weese, 2013).

9. SONUÇ

Köpeklerin oral mikrobiyotası, hayvan yetiştiricileri için yalnızca veteriner mikrobiyolojisi açısından değil, halk sağlığı, antimikrobiyal direnç ve zoonotik enfeksiyonların kontrolü bakımından da stratejik bir öneme sahiptir. Günümüzde

köpeklerin aile bireyi olarak görülmesi, insanlarla fiziksel temas sıklığını artırmış ve bu durum potansiyel zoonotik patojenlerin insanlara geçiş riskini güçlendirmiştir. Özellikle tükürük, ısırtık yaraları ve solunum sekresyonları aracılığıyla bulaşabilen etkenler immün sistemi zayıf bireylerde ağır enfeksiyonlara neden olabilmektedir.

Moleküler tanı yöntemlerindeki gelişmeler, köpek ağız mikrobiyotasında yer alan bakteriyel çeşitliliğin daha iyi anlaşılmasını sağlamış, bu mikroorganizmaların bir kısmının insanlarda görülen periodontal hastalıklar, sistemik enfeksiyonlar ve antibiyotik direnciyle doğrudan ilişkili olabileceğini göstermiştir. Bazı etkenlerin insan ağız florasıyla benzerliği, köpek kaynaklı oral bakterilerin zoonotik potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kontrolsüz köpek popülasyonu, düzensiz aşılama programları ve düşük hijyen standartları, hem klasik zoonozların (örneğin kuduz, leptospiroz) hem de vektör kaynaklı yeni patojenlerin yayılım riskini artırmaktadır. Bu durum, köpeklerin yalnızca bireysel sahiplik düzeyinde değil, toplum sağlığı ve çevresel mikrobiyal denge bağlamında da izlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu nedenle, köpeklerin ağız mikrobiyotasına yönelik araştırmaların sadece veteriner hekimliğiyle sınırlı kalmaması, “Tek Sağlık (One Health)” yaklaşımı kapsamında hekim, veteriner, mikrobiyolog ve çevre sağlığı uzmanlarını içeren disiplinler arası bir perspektifle yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Düzenli ağız ve diş sağlığı kontrolleri, antimikrobiyal direnç izleme programları, hijyen eğitimleri ve sorumlu hayvan sahipliği bilincinin geliştirilmesi, zoonotik hastalıkların önlenmesi ve toplum sağlığının korunması açısından temel stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

Hayvan düzeyinde, düzenli ağız ve diş sağlığı kontrolleri, periodontal hastalıkların erken tanısı, diş taşı temizliği ve uygun ağız hijyeninin sağlanması önemlidir. Köpeğin beslenmesi, ağız mikroflorası üzerinde doğrudan etkili olduğundan, çiğ et diyetlerinin kontrolü veya risk grupları için sınırlandırılması önerilmektedir. Kuduz gibi yüksek riskli viral etkenler için aşılama programlarının eksiksiz uygulanması zorunludur.

İnsan düzeyinde, doğru temas protokollerinin benimsenmesi kritik öneme sahiptir. Ellerin temas sonrası yıkanması, açık yaraların kapatılması, köpeklerin yüz bölgesini yalamalarının engellenmesi ve tükürük teması sonrası tıbbi değerlendirmeye başvurulması temel uygulamalardır. Risk gruplarındaki bireylerin, özellikle splenektomili kişilerin köpek tükürüğü ile temastan kaçınması güçlü bir şekilde önerilir.

Çevresel düzeyde, barınak ve yetiştirici tesislerinde enfeksiyon kontrol protokollerinin standardizasyonu, yüzey dezenfeksiyonu, kalabalık popülasyonların düzenli sağlık taramalarından geçirilmesi ve personelin zoonoz eğitimi sağlanmalıdır.

Antimikrobiyal direnç hem köpekler hem de insanlar için artan bir tehdit oluşturduğundan, oral mikrobiyotada dirençli bakterilerin sürveyansı, antibiyotiklerin akılcı kullanımı ve veteriner-insan sağlık sistemleri arasında veri paylaşımının güçlendirilmesi gereklidir.

Sonuç olarak, köpek oral mikrobiyotasının sistematik biçimde izlenmesi, yalnızca hayvan sağlığını değil, insan sağlığını ve ekosistemin mikrobiyal dengesini korumak açısından da kritik bir gerekliliktir. Bu kapsamda geliştirilecek politikalar hem hayvan refahı hem de halk sağlığı açısından uzun vadeli sürdürülebilir çözümler sunacaktır. Sunulan tüm bilgiler ışığında ev ortamında köpeklerle yakın temasın ciddi riskler taşıdığı aşikardır. Bu durum, özellikle bağışıklık sistemi zayıf olan

bireyler için daha belirgin olabilir. Bu nedenle bahçeli evlerde köpek beslemeyi düşünenlerin, hijyen ve temizlik önlemlerini dikkatle uygulamaları, köpeklerle yakın teması sınırlamaları ve riskler hakkında bilinçli olmaları onların yararına olacaktır.

KAYNAKÇA

- Al-Amrah, H, Alotiby, A, AlJuhani, B, Huri, H, Al garni, N. (2025) Molecular Analysis and Biochemical Profiling of Bacteria from Domestic Dogs Saliva: A Pilot Study. The Journal of King Abdulaziz University: Science, 35(1), Article 5. <https://doi.org/10.64064/1658-4252.1004>
- Anonymous (1997) Dog-bite-related fatalities-United States, 1995–1996. Centre for Disease Control and Prevention. Morb Mortal Weekly Rep, 46(21), 463-466.
- Azuonwu, O, Amadi, F, O, Nwokah, G E., Onwuli, D, Reuben, E, Orabueze, I. C., Azuonwu, G., Poplong, A.N, Tamuno-Boma, O., John-Amadi, V. S., Ekwuozor, I. K., Azuonwu, O, Agala, V. (2023) Distribution of Some Potential Pathogenic Microbial Risk Pathogens amongst Pet Dogs in Port Harcourt Metropolis: A Critical Public Health Community Alert, International Journal of Clinical Epidemiology, 2(2), 1-8. <https://doi.org/10.31579/2835-9232/013>
- Baneth, G., Koutinas, A. F., Solano-Gallego, L., Bourdeau, P., Ferrer, L. (2008) Canine leishmaniosis – new concepts and insights on an expanding zoonosis: part one. Trends Parasitol. 24, 324–330. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2008.04.001>
- Beerda, B., Schilder, M. B. H., Van Hooff, J. A. R. A. M., De Vries, H. W., Mol, J. A. (1999) Chronic Stress in Dogs Subjected to Social and Spatial Restriction. I. Behavioral Responses. Physiology & Behavior, 66(2), 233-242. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(98\)00289-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(98)00289-3)
- Bell, S.E., Nash, A.K., Zanghi, B.M., Otto, C.M., Perry, E.B. (2020) An assessment of the stability of the canine oral microbiota after probiotic administration in healthy dogs

- over time. *Front. Vet. Sci.* 7, 616.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00616>
- Bonnet, J., Begg, N., Organization, W. H. (1999) Control of diphtheria: guidance for consultants in communicable disease control. *Communicable disease and public health* 2, 242-249.
- Bowman, D. D., Lucio-Forster, A. (2010) Cryptosporidiosis and giardiasis in dogs and cats: veterinary and public health importance. *Experimental parasitology*, 124, 121-127.
- Bradshaw, J. W. S., Casey, R. A. (2007) Anthropomorphism and anthropocentrism as influences in the quality of life of companion animals. *Animal Welfare*, 16(S1), 149–154.
<https://doi.org/10.1017/S0962728600031869>
- Caneschi, A., Bardhi, A., Barbarossa, A., Zaghini, A. (2023) The Use of Antibiotics and Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine, a Complex Phenomenon: A Narrative Review. *Antibiotics*, 12, 487.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics12030487>
- Cito, F., Rijks, J., Rantsios, A. T., Cunningham, A. A., Beneth, G., Guardabassi, L., Kuiken, T., Giovannini, A. (2016) Prioritization of Companion Animal Transmissible Diseases for Policy Intervention in Europe. *Journal of Comparative Pathology*, 1(155):18-26.
<https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2015.01.007>
- Cohn, L. A., Middleton, J. R. (2010) A veterinary perspective on methicillin resistant staphylococci. *Journal of veterinary emergency and critical care*, 20, 31-45.
<https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2009.00497.x>
- Cosman, F., Ruffing, J., Zion, M., Uhorchak, J., Ralston, S., Tendy, S., McGuigan, F. E. A., Lindsay, R., Nieves, J. (2013) Determinants of stress fracture risk in United

- States Military Academy cadets. *Bone*, 55(2), 359-366.
<https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.04.011>
- Daly, R. F., House, J., Stanek, D., Stobierski, M. G. (2017) Compendium of measures to prevent disease associated with animals in public settings. *J Am Vet Med Assoc*, 25(11), 1268–1292.
<https://doi.org/10.2460/JAVMA.251.11.1268>
- Darveau, R., Hajishengallis, G., Curtis, M. (2012) *Porphyromonas gingivalis* as a potential community activist for disease. *Journal of dental research* 91, 816-820. <https://doi.org/10.1177/0022034512453589>
- de Araújo, A. C. F., Lima, M. F., Cavalcante, I. A., Silva, A. L. P., Lacerda, B. J. M., Rocha, K. S. (2023) Anthropomorphism and its impacts on dog welfare: A systematic review of the psychophysiological implications of the human-animal relationship. *Research, Society and Development*, 13(11), Article 47239. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i11.47239>
- Denham H. D. C., Bradshaw J. W. S., Rooney N. J. (2014) Repetitive behaviour in kennelled domestic dogs: stereotypical or not? *Physiology & Behavior*, 128, 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.01.007>
- Elliott, D.R., Wilson, M., Buckley, C.M., Spratt, D.A. (2005) Cultivable oral microbiota of domestic dogs. *J. Clin. Microbiol.*, 43, 5470–5476.
<https://doi.org/10.1128/jcm.43.11.5470-5476.2005>
- Flynn, K. (1999) Overview of public health and urban agriculture: water, soil and crop contamination and emerging urban zoonoses. *Cities feeding people series*; rept. 30.
- Fooks, A.R., Banyard, A.C., Horton, D.L., Johnson, N., McElhinney, L.M., Jackson, A.C. (2014) Current status of rabies and prospects for elimination. *Lancet*, 384(9951),

1389-1399. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62707-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62707-5)

- Franco-Martíneza, L., Tvariionaviciutea, A., Horvatićb, A., Guillemínb, N., Bernala, L. J., Rafajc, R. B., Ceróna, J. J., Thomasd, M. C., Lópezd, M. C., Teclesa, F., Martínez-Subielaa, S., Mrljak, V. (2019) Changes in saliva of dogs with canine leishmaniosis: A proteomic approach. *Veterinary Parasitology*, 272, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.06.014>
- Ghasemzadeh, I., Namazi, S. H. (2015) Review of bacterial and viral zoonotic infections transmitted by dogs. *Journal of Medicine and Life*, 8(4), 1-5.
- Hemsworth, S., Pizer, B. (2006) Pet ownership in immunocompromised children—a review of the literature and survey of existing guidelines. *European Journal of Oncology Nursing*, 10(2), 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2005.08.001>
- Hunt, R. L., Whiteside, H., Prankel, S. (2022) Effects of Environmental Enrichment on Dog Behaviour: Pilot Study. *Animals*, 12(2), 141. <https://doi.org/10.3390/ani12020141>
- Ibadurrahman, L., Nashrulloh, E. H., Muthalib, A. (2025) Effectiveness of Dog Saliva Purification from The Perspective of The Prophet's Hadith and Microbiological Analysis. *Al-Majaalis : Jurnal Dirasat Islamiyah*, 13(1), 91-106. <https://doi.org/10.37397/al-majaalis.v13i1.1100>
- Jacob, J., Lorber, B. (2015) Diseases transmitted by man's best friend: the dog. *Microbiol Spectrum*, 3(4), 1-15. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.IOL5-0002-2015>
- Janda, J. M., Graves, M. H., Lindquist, D., Probert, W. S. (2006) Diagnosing *Capnocytophaga canimorsus* infections.

- Emerging Infectious Diseases, 12(2), 340-342.
<https://doi.org/10.3201/eid1202.050783>
- Jankowski, M., Kubiak, K., Spużak, J., GlińskaSuchocka, K., Biernat, M. (2016) Detection of *Helicobacter* spp. in the saliva of dogs with gastritis. Polish Journal of Veterinary Sciences, 19(1), 133-140. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2016-0017>
- Jensen, H. (2018) AVMA Pet Ownership and Demographics Sourcebook: 2017–2018 Edition; American Veterinary Medical Association: Schaumburg, IL, USA, 2017; ISBN 978-1-882691-52.
- Jolivet-Gougeon, A., Sixou, J. L., Tamanai-Shacoori, Z., Bonnaure-Mallet, M. (2007) Antimicrobial treatment of *Capnocytophaga* infections. International Journal of Antimicrobial Agents, 29(4), 367-373.
<https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2006.10.005>
- Kačirová, J., Mad'ari, A., Mucha, R., Fecskeova, L.K., Mujakic, I., Kobližek, M., Nemcova, R., Mad'ar, M. (2021) Study of microbiocenosis of canine dental biofilms. Sci. Rep., 11, 19776. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99342-5>
- Kahn L. H. (2006) Confronting Zoonoses, Linking Human and Veterinary Medicine. Emerging Infectious Disease, 12(4):556-561. <https://doi.org/10.3201/eid1204.050956>
- Katsukawa, C., Katsukawa, C., Komiya, T., Umeda, K., Goto, M., Yanai, T., Takahashi, M., Yamamoto, A., Iwaki, M. (2016) Toxigenic *Corynebacterium ulcerans* isolated from a hunting dog and its diphtheria toxin antibody titer. Microbiology and immunology 60, 177-186.
<https://doi.org/10.1111/1348-0421.12364>
- Krebs, J. W., Mandel, E. J., Swerdlow, D. L., Rupprecht, C. E. (2004) Rabies surveillance in the United States during

2003. Journal of the American Veterinary Medical Association, 225(12), 1837-49.
<https://doi.org/10.2460/javma.2004.225.1837>
- Kristinsson, G. (2007) *Pasteurella multocida* infections. Pediatrics in Review, 28(12), 472-473.
<https://doi.org/10.1542/pir.28-12-472>
- Kubatzky, K. F. (2022) *Pasteurella multocida* toxin – lessons learned from a mitogenic toxin. Front. Immunol, 13, 1058905. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1058905>
- Lin, W., Patil, P.M. (2015) Facial dog attack injuries. Indian J. Surg., 77, 55–58. <https://doi.org/10.1007/s12262-013-0964-7>
- Lucas, C. H. A., Pino, F. V., Baer, G., Morales, P. K., Cedillo, V. G., Blanco, M. A. L., Avila, M. H. (2007) Rabies control in Mexico. Developments in Biologicals, 131, 167-175.
- Mota-Rojas, D., Mariti, C., Zdeinert, A., Riggio, G., Mora-Medina, P., del Mar Reyes, A., Gazzano, A., Domínguez-Oliva, A., Lezama-García, K., José-Pérez, N., Hernández-Ávalos, I. (2021) Anthropomorphism and Its Adverse Effects on the Distress and Welfare of Companion Animals. Animals, 11, 3263.
<https://doi.org/10.3390/ani11113263>
- Murphy, E. (2008) Microbiology of Animal Bites. Clinical Microbiology Newsletter, 30(7), 47-50.
<https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2008.03.001>
- Ner, Z., A, Ross, L., Horn, M. V., Keens, T. G., MacLaughlin, E. F., Starnes, V. A., Woo, M. S. (2003) Bordetella bronchiseptica infection in pediatric lung transplant recipients. Pediatric Transplantation, 7(5), 413-417.
<https://doi.org/10.1034/j.1399-3046.2003.00074.x>

- Oba, P.M., Carroll, M.Q., Alexander, C., Somrak, A.J., Keating, S.C.J., Sage, A.M., Swanson, K.S. (2021) Dental chews positively shift the oral microbiota of adult dogs. *J. Anim. Sci.*, 99, 100. <https://doi.org/10.1093/jas/skab100>
- Oehler, R. L., Velez, A. P., Mizrachi, M., Lamarche, J., Gompf, S. (2009) Bite-related and septic syndromes caused by cats and dogs. *The Lancet Infectious Diseases*, 9(7), 439-47. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70110-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70110-0)
- O'Flynn, C., Deusch, O., Darling, A. E., Eisen, J. A., Wallis, C., Davis, I. J., Harris, S. J. (2015) Comparative genomics of the genus *Porphyromonas* identifies adaptations for heme synthesis within the prevalent canine oral species *Porphyromonas cangingivalis*. *Genome biology and evolution* 7, 3397-3413. <https://doi.org/10.1093/gbe/evv220>
- Orsini, M., Petrin, S., Corrà, M., Baggio, G., Spagnolo, E., Losasso, C. (2022) Anthroponotic-Based Transfer of *Staphylococcus* to Dog: A Case Study. *Pathogens*, 11, 802. <https://doi.org/10.3390/pathogens11070802>
- Ortega-Pacheco, A., Jimenez-Coello, M. (2025) Vector-Borne and Zoonotic Diseases in Dogs and Cats. *Animals*, 15, 1520. <https://doi.org/10.3390/ani15111520>
- Otranto, D. (2018) Arthropod-borne pathogens of dogs and cats: From pathways and times of transmission to disease control. *Veterinary Parasitology*, 251, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.12.021>
- Otranto, D., Dantas-Torres, F., Breitschwerdt, E. B. (2009) Managing canine vector-borne diseases of zoonotic concern: part one. *Trends in Parasitology*, 25(4), 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2009.01.003>

- Overall, K.L., Love, M. (2001) Dog bites to humans- Demography, epidemiology, injury, and risk. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 218, 1923–1934. <https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1923>
- Patel, D. S., Roth, M., Kapil, N. (2011) Stress fractures: diagnosis, treatment and prevention. *American Family Physician*, 83(1), 39-46.
- Portilho, F.V.R., Nóbrega, J., de Almeida, B.O., Mota, A.R., de Paula, C.L., Listoni, F.J.P., Bosco, S.M.G., Oliveira, A.L., Cunha, M.d.L.R.S., Ribeiro, M.G. (2023) Microbial Complexity of Oral Cavity of Healthy Dogs Identified by Mass Spectrometry and Next-Generation Sequencing. *Animals*, 13, 2467. <https://doi.org/10.3390/ani13152467>
- Prato-Previde, E., Ricci, E. B., Colombo, E.S. (2022) The Complexity of the Human–Animal Bond: Empathy, Attachment and Anthropomorphism in Human– Animal Relationships and Animal Hoarding. *Animals*, 12, 2835. <https://doi.org/10.3390/ani12202835>
- Puurunen, J., Hakanen, E., Salonen, M. K., Mikkola, S., Sulkama, S., Araujo, C., Lohi, H. (2020) Inadequate socialisation, inactivity, and urban living environment are associated with social fearfulness in pet dogs. *Sci Rep*, 26, 10(1), 3527. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60546-w>
- Rabinowitz, P. M., Gordon, Z., Odofin, L. (2007) Petrelated infections. *American family physician* 76, 1314-1322.
- Rooney, N. J., Gaines, S. A., Bradshaw, J. W. S. (2007) Behavioural and glucocorticoid responses of dogs (*Canis familiaris*) to kennelling: Investigating mitigation of stress by prior habituation. *Physiology & Behavior*, 92(5), 847-854. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.06.011>

- Rooney, N., Gaines, S., Hiby, E. (2009) A practitioner's guide to working dog welfare. *Journal of Veterinary Behavior*, 4, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2008.10.037>
- Ruparell, A., Inui, T., Staunton, R., Wallis, C., Deusch, O., Holcombe, L.J. (2020) The canine oral microbiome: variation in bacterial populations across different niches. *BMC microbiology* 20, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-1704-3>
- Sabia, L., Marchesini, D., Pignataro, G., Navarra, S.M., Saviano, A., Giuliano, G., De Luca, G., Covino, M., Franceschi, F., Candelli, M. (2019) Beware of the dog – Capnocytophaga Canimorsus septic shock: a case report. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 23, 7517-7518. https://doi.org/10.26355/eurrev_201909_18866
- Šakarnyte, L., Šiugždinien, R., Žymantiene, J., Ruzauskas, M. (2023) Comparison of Oral Microbial Composition and Determinants Encoding Antimicrobial Resistance in Dogs and Their Owners. *Antibiotics*, 12, 1554. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12101554>
- Schauss, K., Focks, A., Heuer, H., Kotzerke, A., Schmitt, H., Thiele-Bruhn, S., & Schlöter, M. (2009). Analysis, fate and effects of the antibiotic sulfadiazine in soil ecosystems. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(5), 612-618. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.02.009>
- Sehgal, S. (2006) Supplement-Epidemiological patterns of leptospirosis. *Indian journal of medical microbiology* 24, 310-311. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.29405>
- Serpell, J. A. (2019) How happy is your pet? The problem of subjectivity in the assessment of companion animal welfare. *Animal Welfare*, 28(1), 57–66. <https://doi.org/10.7120/09627286.28.1.057>

- Silbergeld, E.K., Graham, J., Price, L.B. (2008) Industrial Food Animal Production, Antimicrobial Resistance, and Human Health. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 151–169. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090904>
- Souza, M. J. (2011) Zoonoses, Public Health and the Exotic Animal Practitioner. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 14, xi-xii. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2011.05.011>
- Stull, J. W., Brophy, J., Weese, J. S. (2015) Reducing the risk of pet-associated zoonotic infections. *CMAJ*, 187(10), 736-743. <https://doi.org/10.1503/cmaj.141020>
- Sulkama, S., Salonen, M., Mikkola, S., Hakanen, E., Puurunen, J., CésarAraujo, C., Hannes Lohi, H. (2022) Aggressiveness, ADHD-like behaviour, and environment influence repetitive behaviour in dogs. *Scientific Reports*, 12, 3520. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07443-6>
- Sykes, J. E., Weese, J. S. (2013) Canine and Feline Infectious Diseases - Basic Principles for Infection Control. Chapter 11: Infection Control Programs for Dogs and Cats. Elsevier, pp 105-118. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-0795-3.00011-9>
- Talan, D. A., Citron, D. M., Abrahamian, F. M., Moran, G. J., Goldstein, E. J. (1999) Bacteriologic analysis of infected dog and cat bites. *New England Journal of Medicine*, 340(2), 85-92. <https://doi.org/10.1056/NEJM199901143400202>
- Tang, X., Luo, M., Zhang, S., Fooks, A. R., Hu, R., Tu, C. (2005) Pivotal role of dogs in rabies transmission, China. *Emerg Infect Dis.*, 11(12), 1970-1972. <https://doi.org/10.3201/eid1112.050271>

- Terpstra, W. (2003) Human leptospirosis: guidance for diagnosis, surveillance and control. WHO, Geneva, Switzerland.
- Tóth, A.G., Tóth, D.L., Rempert, L., Tóth, I., Németh, T., Dubecz, A., Patai, Á.V., Wagenhoffer, Z., Makrai, L., Solymosi, N. (2025) A One Health Approach Metagenomic Study on Antimicrobial Resistance Traits of Canine Saliva. *Antibiotics*, 14, 433. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14050433>
- Tóth, A.G., Tóth, I., Rózsa, B., Dubecz, A., Patai, Á.V., Németh, T., Kaplan, S., Kovács, E.G., Makrai, L., Solymosi, N. (2022) Canine Saliva as a Possible Source of Antimicrobial Resistance Genes. *Antibiotics*, 11, 1490. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111490>
- Tremlett, H., Bauer, K. C., Appel Cresswell, S., Finlay, B. B., Waubant, E. (2017) The gut microbiome in human neurological disease: a review. *Annals of neurology* 81, 369-382. <https://doi.org/10.1002/ana.24901>
- Turunen, S., Puurunen, J., Auriola, S., Kullaa, A. M., Kärkkäinen, O., Lohi, H., Hanhineva, K. (2020) Metabolome of canine and human saliva: a non-targeted metabolomics study. *Metabolomics*, 16, 90. <https://doi.org/10.1007/s11306-020-01711-0>
- Varela, M.F., Stephen, J., Lekshmi, M., Ojha, M., Wenzel, N., Sanford, L.M., Hernandez, A.J., Parvathi, A., Kumar, S.H. (2021) Bacterial Resistance to Antimicrobial Agents. *Antibiotics*, 10, 593. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050593>
- Verbeek, P., Majure, C. A., Quattrochi, L., Turner, S. J. (2024) The Welfare of Dogs as an Aspect of the Human–Dog Bond: A Scoping Review. *Animals*, 14(13), 1985. <https://doi.org/10.3390/ani1413198>

- Weese, J. S., Kruth, S. A. (2006). Pets in voluntary household quarantine. *Emerging Infectious Diseases*, 12(6), 1029. <https://doi.org/10.3201/eid1206.051548>
- Woolfrey, B. F., Moody, J. A. (1991) Human infections associated with *Bordetella bronchiseptica*. *Clinical Microbiology, Reviews*, 4(3):243-55. <https://doi.org/10.1128/CMR.4.3.243>
- Yamasaki, Y., Nomura, R., Nakano, K., Naka, S., Matsumoto-Nakano, M., Asai, F., Ooshima, T. (2012) Distribution of periodontopathic bacterial species in dogs and their owners. *Archives of oral biology*, 57, 1183-1188. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2012.02.015>

SHEEP BREEDING IN TURKEY IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: GENETIC ADAPTATION, MORPHOLOGICAL RESILIENCE, AND SUSTAINABILITY

Kadir KARAKUŞ¹

1. INTRODUCTION

Sheep possess a vast distribution area worldwide. The most significant reasons for this include their ability to be bred in diverse climatic conditions, high adaptation capabilities to adverse environmental conditions, and their ability to better utilize areas where crop production, precipitation, and vegetation are limited (Kaymakçı, 2006; Akçapınar, 2000). Due to its geographical and climatic diversity, Turkey hosts many distinct sheep breeds. According to reports by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), temperature increases in the region are projected to create pressure on livestock production (IPCC, 2021). However, native breeds in Turkey demonstrate resistance to these changes, particularly through the use of their fat tails as energy depots and their water use efficiency. Generally, sheep are considered a species more sensitive to the combined effect of temperature and relative humidity rather than actual temperature alone (Marai et al., 2007).

¹ Prof. Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORCID: 0000-0002-8936-1851.

2. ADAPTATION MECHANISMS: PHYSIOLOGY AND MORPHOLOGY

Native sheep breeds ensure their resilience against heat and thirst through various physiological and genetic mechanisms.

2.1. Fat Tail, Energy Storage, and Water Usage

Fat-tailed sheep breeds are widely raised, particularly in the Middle East, Central Asia, and Turkey. While the fat stored in the tail is used to meet energy needs during arid periods, the adaptation of these breeds to insufficient feeding conditions is higher compared to thin-tailed breeds (Yılmaz et al., 2012). Breeds such as Akkaraman and Awassi can sustain their lives through metabolic adaptation in arid regions and can utilize poor pasture conditions (Ertuğrul et al., 2009).

2.2. Thermoregulation Capabilities

High ambient temperatures negatively affect productivity in lactating sheep, increasing maintenance energy requirements. In animals under heat stress, the respiratory rate increases while feed intake decreases (Marai et al., 2007). Native breeds are more advantageous than exotic culture breeds in regulating heat due to their body structure and fleece characteristics. It has been reported that the Awassi breed, in particular, can maintain its thermal balance and keep its yield at a certain level even under heat stress (Darcan & Güney, 2008).

Table 1. Physiological Changes Observed in Sheep Under Heat Stress

Parameter	Normal Value	Under Heat Stress	Effect and Result
Rectal Temperature (°C)	38.5 - 39.5	> 40.0	Hyperthermia, metabolic disruption.
Respiratory Rate (min)	20 - 40	> 100	Rapid breathing (Panting), energy loss.
Water Consumption	3-5 Liters/Day	8-10 Liters/Day	Effort to prevent dehydration.
Feed Intake	Normal	Decreases by %20-30	Drive to reduce metabolic heat.

The data presented in **Table 1** strikingly reveal how heat stress strains the homeostatic mechanisms of sheep and alters physiological balances.

1. **Disruption of Thermal Balance (Rectal Temperature):** While the upper limit of normal body temperature in sheep is accepted as 39.5 °C, the fact that this value exceeds **40.0 °C** under heat stress indicates that thermoregulation mechanisms remain insufficient and the animal enters **hyperthermia**. This temperature increase signifies not just a numerical change, but the disruption of enzymatic activities at the cellular level and the onset of oxidative stress.
2. **Energy Loss and Respiration (Panting):** The most critical change in the table is seen in the respiratory rate. The increase from 20-40 breaths per minute to **over 100** indicates that the animal is attempting to dissipate body heat through evaporation (evaporative cooling).

However, this "rapid breathing" (panting) creates a significant **energy cost** for the animal and paves the way for the disruption of blood pH balance (respiratory alkalosis).

3. **Survival Strategy: Feed and Water Relationship:** Sheep under heat stress exhibit two fundamental behavioral changes to survive:
 - o **Reducing Feed Intake (20-30%):** The digestion process (fermentation) in ruminants produces a large amount of internal heat (metabolic heat). The animal voluntarily suppresses feed intake to prevent further increasing its body temperature. This situation is accepted as the primary cause of the yield loss (live weight loss) shown in the table.
 - o **Increasing Water Consumption:** Water consumption rises from 3-5 liters to **8-10 liters** to replace fluid lost through respiration and to cool the body. This data demonstrates that providing water **ad libitum** (unrestricted) is of vital importance in breeding in hot regions (Marai et al., 2007; Silanikove, 2000).

Table 2. Some Climate-Resilient Small Ruminant Breeds in the World and Turkey

Breed Name	Species	Resilient Climate	Characteristics	Source
Awassi (İvesi)	Sheep	Hot and Arid	High milk yield, heat tolerance, walking ability.	Galal et al., 2008
Akkaraman	Sheep	Steppe / Arid	Subsistence on scarce resources, disease resistance, combined yield.	Akçapınar, 2000
Dorper	Sheep	Hot and Arid	Fast growth, drought resistance, South African origin.	Cloete et al., 2000
Barbarine	Sheep	Desert Climate	Fat-tailed, high adaptation to water scarcity and heat.	Ben Salem et al., 2011

Table 2 comparatively presents the adaptation strategies possessed by both Turkey's local genetic resources and exotic breeds worldwide against the threat of drought and heat stress brought by global climate change.

1. **Native Genotypes (Awassi and Akkaraman):** Awassi and Akkaraman, native breeds of Turkey and the surrounding geography, are breeds that have not only focused on survival but have also succeeded in maintaining yield characteristics.
 - o **Awassi:** The combination of "high milk yield" and "heat tolerance" specified in the table makes the Awassi unique globally. While resilient breeds typically have low yields, the Awassi both shows resistance to desert conditions and offers high lactation capacity.

- o **Akkaraman:** The ability to "utilize low-quality feed" renders this breed indispensable during periods when pastures dry up and grass quality declines. This characteristic indicates that the Akkaraman is adapted to famine conditions not only anatomically but also metabolically.
- 2. **Under Extreme Conditions:** The existence of South African and desert-origin breeds points to alternative genetic sources for scenarios where the climate crisis intensifies.
- o **Dorper:** Its characteristic of being both heat-resistant and showing "fast growth" (meat yield) makes it a strategic crossbreeding candidate for red meat production in arid regions.

While breeds like **Akkaraman** pursue a strategy of "subsisting on scarce resources" (conservation), breeds like **Awassi** and **Dorper** possess the potential to "sustain production" (yield) even under difficult conditions. These data reveal that in addition to conserving native breeds in breeding studies in Turkey, controlled crossbreeding studies with breeds like Dorper should be evaluated in terms of sustainability.

3. GENETIC ADAPTATION AND RESILIENCE

The resilience of native breeds to harsh conditions is a result of natural selection over many years. Molecular studies show that the genetic diversity of native sheep breeds (Akkaraman, Morkaraman, Awassi) is high and that this diversity constitutes a buffering mechanism against environmental stresses (Gürçan et al., 2015). Particularly in studies on **Heat Shock Protein** (HSP) gene families associated

with heat stress, it is emphasized that native breeds have strong cellular protection mechanisms against heat shock (Koluman & Darcan, 2011).

4. MAJOR RESILIENT BREEDS RAISED IN TURKEY

Fat-tailed breeds raised in Turkey have fully adapted to the microclimate of their geography.

- **Akkaraman:** It is the most widespread breed in Turkey. It has adapted perfectly to the arid steppe climate of Central Anatolia and to insufficient care and feeding conditions (Akçapınar, 2000).
- **Morkaraman:** It is adapted to the harsh winters and dry summers of Eastern Anatolia. It is known for its cold resistance and long-distance walking ability (Ertuğrul et al., 2009).
- **Awassi (İvesi):** It is the dairy breed most resistant to the hot climate of Southeastern Anatolia. Its water metabolism is highly effective due to its ancestral proximity to desert conditions (Galal et al., 2008).
- **Dağlıç:** It is widespread in the Inner Western Anatolia region and is a breed with a high ability to utilize insufficient pasture conditions (Kaymakçı, 2006).

5. CROSSBREEDING AND BREEDING STRATEGIES

In the process of adaptation to climate change, combining the superior characteristics of different breeds is an important strategy. In crossbreeding studies conducted in

Turkey, the aim has generally been to combine the resilience of native breeds with the yield characteristics of culture breeds.

- **Balance of Yield and Resilience:** Selection studies aimed at increasing the milk yield of the Awassi breed have resulted in success (Gürsoy, 2005).
- **Adaptation to Environmental Conditions:** In crossbreeding of Akkaraman with other breeds, it has been observed that the survival rate of the crossbreed is close to the native parent, while the yield increases. However, preserving the genetic purity of pure native breeds (gene bank function) in drought scenarios is also of critical importance (Yılmaz et al., 2012).

6. CONCLUSION

Fat-tailed sheep breeds raised in Turkey are a significant genetic resource against climate change due to their resilience to heat and thirst. Genetic variations carried by breeds such as Akkaraman, Morkaraman, and Awassi are the key to sustainable production in the extreme climate conditions of the future. Protecting these breeds and addressing "adaptation ability" as a selection criterion alongside yield increases in breeding programs is essential for the future of animal husbandry in Turkey.

REFERENCES

- Akçapınar, H. (2000). *Koyun yetiştiriciliği* [Sheep breeding]. İsmat Matbaacılık.
- Ben Salem, H., & Smith, T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*, 77(2-3), 174-194.
- Cloete, S. W. P., Snyman, M. A., & Herselman, M. J. (2000). Productive performance of Dorper sheep. *Small Ruminant Research*, 36(2), 119-135.
- Darcan, N., & Güney, O. (2008). Alleviation of heat stress of dairy goats in Mediterranean climate. *Small Ruminant Research*, 74(1-3), 212-215.
- Ertuğrul, M., Savaş, T., Dellal, G., Taşkın, T., Koyuncu, M., Cengiz, F., ... & Koncagül, S. (2009). Türkiye küçükbaş hayvancılığının yapısal durumu ve geleceği [Structural status and future of small ruminant production in Turkey]. *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, 523-547.
- Galal, S., Gürsoy, O., & Shaat, I. (2008). Awassi sheep as a genetic resource and efforts for their genetic improvement—A review. *Small Ruminant Research*, 79(2-3), 99-108.
- Gürcan, E. K., Çobanoğlu, O., & Bekyürek, T. (2015). Türkiye yerli koyun ırklarında genetik çeşitlilik [Genetic diversity in Turkish native sheep breeds]. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(2), 70-78.
- Gürsoy, O. (2005). GAP Bölgesi'nde İvesi koyunu ve süt keçisi yetiştiriciliğinin geliştirilmesi olanakları [Possibilities of improving Awassi sheep and dairy goat breeding in the GAP Region]. *GAP IV. Tarım Kongresi*, 21-23.

- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- Kaymakçı, M. (2006). *İleri koyun yetiştiriciliği* [Advanced sheep breeding]. İzmir İli Damızlık Koyun ve Keçi Yetiştiricileri Birliği Yayınları.
- Koluman, N., & Darcan, N. K. (2011). Küresel ısınmanın hayvancılık üzerine etkileri [Effects of global warming on livestock]. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1), 17-23.
- Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep—A review. *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 1-12.
- Silanikove, N. (2000). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, 35(3), 181-193.
- Yılmaz, O., Denk, H., & Bayram, D. (2012). Türkiye yerli koyun ırkları ve koruma çalışmaları [Turkish native sheep breeds and conservation efforts]. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(2), 117-133.

TAVUK YUMURTASI KALİTESİ: KALİTE KRİTERLERİ VE SINIFLANDIRMA

Vahdettin SARIYEL¹

Özcan Barış ÇİTİL²

1. GİRİŞ

Tavuk yumurtası, insan beslenmesinde en dengeli ve biyolojik değeri yüksek protein kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. İçerdiği temel amino asitler, yağ asitleri, vitaminler ve mineraller sayesinde yumurta hem gelişmekte olan bireylerin hem de yetişkinlerin diyetinde önemli bir yer tutar (Anar, 2016). Bununla birlikte yumurtanın sadece besin değeri değil, aynı zamanda kalitesi de tüketici tercihlerini, endüstriyel işleme süreçlerini ve ticari değerini doğrudan etkilemektedir (Özkan, 2020).

Yumurta kalitesi kavramı, iç kalite (albumen ve sarı özellikleri) ve dış kalite (kabuk yapısı, şekil ve bütünlük) olmak üzere iki ana boyutta değerlendirilmektedir. Bu kavramlar, üretimden tüketime kadar olan zincirde; yumurtlama, toplama, depolama, taşıma ve pazarlama aşamalarında sürekli olarak değişime uğrayabilmektedir (Jones ve ark, 2004). Dolayısıyla kalite, yalnızca üretim aşamasında belirlenen sabit bir özellik değil; çevresel koşullar, beslenme, tavuk yaşı ve genetik faktörlerin etkileşimiyle dinamik bir biçimde şekillenen bir olgudur (Samli ve ark., 2005).

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Gıda İşleme, ORCID: 0000-0002-3937-4849.

² Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Laborant ve Veterinerlik, ORCID: 0000-0003-1999-5805.

Yumurtanın kalite parametreleri, endüstriyel standartların belirlenmesi açısından büyük önem taşır. Dünya genelinde kalite ölçütleri; Haugh birimi, kabuk kalınlığı, kabuk özgül ağırlığı, sarının renk indeksi, albumen yüksekliği ve yumurta ağırlığı gibi ölçümlerle nicel olarak değerlendirilmektedir (Scott ve Silversides, 2000). Bu ölçütler hem üretici hem de tüketici açısından kalite sınıflandırmasının temelini oluşturur. Avrupa Birliği (EU, 2020) ve Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA, 2017) gibi kurumlar, yumurta kalite standartlarını bu parametreler üzerinden tanımlamış ve sınıflandırma sistemlerini geliştirmiştir.

Gıda güvenliği ve raf ömrü açısından da yumurta kalitesi kritik bir role sahiptir. Özellikle kabuk bütünlüğü, mikroorganizma girişini engelleyen ilk savunma hattı olduğundan, dış kalite unsurları doğrudan halk sağlığını ilgilendirir (De Reu ve ark., 2009). Kabukta oluşan mikro çatlaklar veya yüzey bozuklukları, *Salmonella* spp. gibi patojenlerin yumurta içine geçişine olanak tanıyabilir (Gantois ve ark., 2009). Bu nedenle yumurtanın kalite kontrolü, yalnızca estetik veya ekonomik değil, aynı zamanda gıda güvenliği açısından da zorunlu bir uygulamadır.

Yumurta kalitesi, üretim sistemleri açısından da değerlendirilmelidir. Kafes, zemin, serbest dolaşım ve organik sistemlerde yetiştirilen tavukların yumurtaları arasında belirgin kalite farkları tespit edilmiştir. Örneğin serbest dolaşım sistemlerinde elde edilen yumurtalarda genellikle daha koyu sarı rengi gözlenirken, kafes sistemlerinde albumen kalitesinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Anderson, 2011). Bu durum, üretim sisteminin seçiminin hem fiziksel hem de kimyasal kaliteyi etkileyebileceğini göstermektedir.

Kalite kavramının bilimsel açıdan tanımlanması ve ölçülebilir hâle getirilmesi, üreticiler için bir standart oluşturma

aracı olarak da değerlidir. Aynı zamanda tüketicilerin bilinçli seçim yapmasına yardımcı olur. Modern yumurta endüstrisi, tüketici beklentilerindeki değişimlere paralel olarak kalite değerlendirme kriterlerini sürekli güncellemekte ve objektif analiz yöntemlerine yönelmektedir (Kemps ve ark., 2007). Özellikle son yıllarda görüntü işleme teknolojileri ve yapay zekâ tabanlı kalite sınıflandırma sistemleri, manuel değerlendirme yöntemlerine göre daha hızlı ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır (Haugh, 1937).

Sonuç olarak yumurta kalitesi, yalnızca bir “görünüm” veya “tad” meselesi değil; biyolojik, kimyasal, fiziksel ve teknolojik parametrelerin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesiyle tanımlanan çok boyutlu bir kavramdır. Bu kitap bölümünde, tavuk yumurtasının kalite kriterleri ve sınıflandırma sistemleri, güncel bilimsel literatür ve uluslararası standartlar ışığında ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Özellikle iç ve dış kalite unsurlarının belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemleri, kaliteyi etkileyen faktörler ve ticari sınıflandırma esasları detaylı biçimde tartışılacaktır.

2. YUMURTANIN KALİTE KAVRAMI VE ÖNEMİ

Yumurta kalitesi hem tüketici beklentilerini hem de üretici standartlarını karşılayan çok boyutlu bir kavramdır. Genel olarak, bir yumurtanın kalitesi; duyuşal, fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve teknolojik özelliklerin bir bütünü ifade eder (Stadelman ve Cotterill, 2020). Başka bir ifadeyle kalite, yumurtanın hem iç yapısal bütünlüğünü hem de dış görünümünü koruma derecesiyle ilgilidir. Bu nedenle yumurta kalitesi, üretimden tüketime kadar geçen sürede değişen dinamik bir özelliktir (Scottve ve Silversides, 2001).

2.1. Kalite Kavramının Tanımı

“Kalite” terimi, gıda bilimi bağlamında “ürünün belirli bir amaca uygunluk derecesi” olarak tanımlanır (FAO, 2013). Yumurtada bu uygunluk; besin değeri, tazelik, görünüm, güvenilirlik, dayanıklılık ve işleme uygunluk gibi çok sayıda faktörün birleşimiyle belirlenir. Yumurtanın iç kalitesi, genellikle albumen yüksekliği, sarının merkeziliği, sarının membran dayanıklılığı ve Haugh birimi gibi ölçütlerle ifade edilirken; dış kalite, kabuk kalınlığı, şekil indeksi, renk ve temizlik gibi parametrelerle değerlendirilir (Nys ve ark., 2011).

Kalite, yalnızca fiziksel parametrelerle sınırlı değildir. Yumurtanın kimyasal bileşimi de (örneğin lipid profili, protein içeriği, kolesterol miktarı) kalite değerlendirmesinde önemli rol oynar (Mine, 2019). Özellikle fonksiyonel gıdalar ve sağlıklı beslenme kavramlarının önem kazandığı günümüzde, yumurtanın besin içeriği kalite algısını doğrudan etkileyen bir unsur hâline gelmiştir. Omega-3 zenginleştirilmiş yumurtalar, bu eğilimin somut örneklerindendir (Fraeye ve ark., 2012).

2.2. Tarihsel Perspektifte Yumurta Kalitesi

Yumurta kalitesi kavramı tarihsel olarak uzun bir evrim geçirmiştir. 20. yüzyılın başlarında kalite değerlendirmesi çoğunlukla görsel gözlem ve yüzerlik testleri gibi basit yöntemlerle yapılırken (Haugh, 1937), günümüzde dijital görüntü işleme, spektrofotometrik analiz ve biyokimyasal yöntemler gibi gelişmiş teknolojiler kullanılmaktadır (Kemps ve ark., 2007). Haugh birimi, yumurta kalitesinin nesnel olarak tanımlanmasında ilk bilimsel girişim olarak kabul edilir ve 1937’den bu yana endüstride temel gösterge olma özelliğini korumaktadır (Scottve ve Silversides, 2001).

Günümüzde kalite kavramı yalnızca “tazelik” veya “görünüm” ölçütleriyle değil, aynı zamanda izlenebilirlik, hayvan refahı, gıda güvenliği ve sürdürülebilir üretim ilkeleriyle

de ilişkilendirilmektedir (Van Horne, 2019). Özellikle Avrupa Birliği'nin 2008/589 sayılı regülasyonu, yumurta kalite sınıflandırmasında yalnızca fiziksel özellikleri değil, üretim koşullarını da dikkate alarak kaliteye çok boyutlu bir yaklaşım getirmiştir (EU, 2020).

2.3. Ekonomik ve Endüstriyel Önemi

Yumurta kalitesi, küresel gıda endüstrisi açısından büyük ekonomik öneme sahiptir. Kaliteli yumurta üretimi, ürünün pazardaki değerini ve tüketici güvenini artırırken, düşük kaliteli ürünler yüksek iade oranı ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Roberts, 2018). Özellikle kabuk kırıkları, lekelenmeler veya albumen bozulmaları, üretim maliyetlerini doğrudan etkileyen kalite kusurları arasında yer alır (Hamilton, 2019).

Endüstriyel yumurta işleme tesislerinde (örneğin pastörize yumurta üretimi), iç kalite parametreleri ürünün viskozitesi ve protein stabilitesi üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Liu ve ark, 2016). Bu nedenle kalite kontrol süreçleri, yalnızca sofralık yumurtalar için değil, aynı zamanda gıda sanayinde kullanılan sıvı veya toz yumurta ürünleri için de kritik öneme sahiptir.

2.4. Tüketici Beklentileri ve Kalite Algısı

Tüketici algısı, yumurta kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir dış faktördür. Araştırmalar, tüketicilerin kaliteyi çoğunlukla kabuk rengi, sarının rengi ve yumurta büyüklüğü üzerinden değerlendirdiğini göstermektedir (Kızıloğlu ve ark, 2013). Oysa bilimsel kalite ölçütleri, bu özelliklerin ötesinde daha karmaşık kimyasal ve fiziksel parametrelere dayanır. Yine de pazarlama stratejilerinde tüketici beklentilerinin göz ardı edilmemesi gerekir; zira tüketici tercihi nihai talep eğrisini belirleyen ana etkidir (Van Horne, 2019).

Son yıllarda artan “doğal” ve “organik” ürün talebi, kalite kavramını yeniden şekillendirmiştir. Organik üretim sistemlerinde elde edilen yumurtalar genellikle daha yüksek fiyatla satılmakta, ancak iç kalite bakımından her zaman üstün olmayabilmektedir (Anderson, 2011). Bu durum, “kalite” kavramının yalnızca teknik değil, aynı zamanda algısal bir boyutu da olduğunu ortaya koymaktadır.

2.5. Bilimsel ve Teknolojik Önemi

Yumurta kalitesi aynı zamanda biyoteknolojik ve gıda mühendisliği araştırmaları açısından da önemli bir model sistemdir. Albumen ve sarı bileşenlerinin yapısal özellikleri, gıda jelleşme, emülsifikasyon ve köpürme özelliklerinin araştırılmasında temel referans olarak kullanılmaktadır (Mine, 2019). Bu nedenle yumurta kalitesine yönelik çalışmalar yalnızca üretim ekonomisini değil, aynı zamanda temel gıda bilimi araştırmalarını da destekler.

3. YUMURTANIN İÇ VE DIŞ KALİTE UNSURLARI

Yumurtanın kalitesi, kabuk bütünlüğü ile iç bileşenlerin fiziksel ve kimyasal stabilitesinin bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Kalite değerlendirmesinde temel olarak iki kategori dikkate alınır: dış kalite (kabuk özellikleri, şekil ve yüzey) ve iç kalite (albumen, sarı, hava boşluğu, membran yapısı vb.) (Nys ve ark., 2011). Bu unsurların her biri hem tazeliğin hem de tüketim güvenliğinin doğrudan göstergesidir.

3.1. Yumurtanın Genel Yapısı

Tavuk yumurtası ortalama olarak %58 albumen (yumurta akı), %31 sarı (yolk) ve %11 kabuk bileşenlerinden oluşur (Stadelman ve Cotterill, 2020). Yumurtanın kabuğu kalsiyum karbonat (CaCO_3) esaslı mineral bir yapı iken, iç kısımlar yüksek oranda su, protein, lipid, vitamin ve mineral içerir (Mine,

2019). Bu yapısal kompozisyon hemiç hem de dış kaliteyi doğrudan etkileyen biyokimyasal temeli oluşturur. Kabuk ve iç zar, mikroorganizmalara karşı doğal bir savunma hattı oluşturur. Ancak bu koruma, zamanla veya çevresel etmenlerle zayıflayabilir. Bu nedenle kalite analizlerinde hem fiziksel hem de biyokimyasal dayanıklılık parametreleri bir arada değerlendirilmelidir (De Reu ve ark, 2009).

3.2. Dış Kalite Unsurları

3.2.1. Kabuk Kalitesi

Kabuk, yumurtanın ilk kalite göstergesidir. Rengi, kalınlığı, yüzey yapısı ve bütünlüğü dış kaliteyi belirler. Ortalama kabuk kalınlığı 0.30–0.35 mm olup, yaş, ırk, besleme ve çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir (Hamilton, 2019). Kabuk kalitesi yetersiz olduğunda kırık oranı artar, mikrobiyal kontaminasyon riski yükselir ve raf ömrü kısalmır (De Ketelaere ve ark, 2010).

Kabuk renginin doğrudan besin içeriğine etkisi bulunmasa da tüketici algısı üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Beyaz ve kahverengi kabuklu yumurtalar arasında kalite açısından anlamlı bir fark olmadığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Anderson, 2011). Ancak kabuk renginin homojenliği ve yüzey temizliği, pazarlama açısından önemlidir (Kemps ve ark, 2007).

3.2.2. Kabuk Ağırlığı ve Özgül Ağırlık

Kabuk kalitesi ölçütlerinden biri de kabuk ağırlığı oranı ve özgül ağırlık değeridir. Kabuk özgül ağırlığı 1.070'in altında olan yumurtalar genellikle zayıf yapıda kabul edilir (Roberts, 2018). Bu parametre, kabuğun mineralizasyon düzeyinin bir göstergesidir. Yetersiz kalsiyum veya D vitamini alımı, bu değerleri düşürerek kırılma oranını artırır (Bar ve ark, 2002).

3.2.3. Kabuk Bütünlüğü ve Kusurlar

Kabuk yüzeyinde görülen çatlaklar, pürüzler, pigment lekeleri ve kumluluk gibi bozukluklar kalite kusurları olarak değerlendirilir. Mikroskobik çatlaklar özellikle tehlikelidir çünkü bu çatlaklardan mikroorganizmalar iç kısımlara geçebilir (Gantois ve ark, 2009). Endüstriyel ölçekte bu tür kusurların tespiti genellikle transillüminasyon (candling) veya otomatik optik tarama sistemleriyle yapılmaktadır (Kemps ve ark, 2007).

3.3. İç Kalite Unsurları

3.3.1. Albumen (Yumurta Akı) Kalitesi

Albumen, yumurtanın tazelik göstergesinin en önemli belirleyicisidir. Yüksek kaliteli bir yumurtada albumen yoğun, berrak ve viskoziteli bir yapıdadır (Stadelman ve Cotterill, 2020). Depolama süresi arttıkça albumenin pH değeri yükselir (yaklaşık 7.6'dan 9.2'ye kadar) ve bu durum proteinlerin denatürasyonuna, dolayısıyla akışkanlığın artmasına yol açar (Jones ve Musgrove, 2005).

Haugh birimi (HU), albumen yüksekliği ve yumurta ağırlığına dayalı olarak yumurtanın iç kalitesini ölçen en yaygın parametredir. 72 HU üzeri değerler "A sınıfı" olarak kabul edilir (Haugh, 1937). Bu ölçüt hem tazelik hem de protein bütünlüğü hakkında bilgi verir.

Albumen kalitesini etkileyen başlıca faktörler; tavuk yaşı, beslenme, çevre sıcaklığı ve depolama koşullarıdır. Genç tavuklar genellikle daha yüksek albumen kalitesine sahip yumurtalar üretir (Samlive ark, 2005).

3.3.2. Sarı (Yolk) Kalitesi

Yumurtanın sarısı, lipit, protein, fosfolipit ve pigmentler açısından zengin bir bileşendir. Sarı kalitesi, rengi, yuvarlaklığı (sferisite), membran dayanıklılığı ve konum merkezliliği ile değerlendirilir (Nys ve ark, 2011). Sarının rengi tüketiciler için

önemli bir kalite göstergesidir ve genellikle karotenoid içeriğiyle ilişkilidir (Liuve ark, 2016). Tavuk yemine eklenen mısır glütenu, paprikalar veya marigold ekstraktı gibi doğal pigment kaynakları sarı rengini koyulaştırır (Fraeye ve ark, 2012).

Sarı membranı (vitellin membranı), yumurta kalitesinin korunmasında kritik rol oynar. Zayıf membran yapısı, sarının yayılmasına ve karışmasına yol açar. Depolama süresi arttıkça sarı pH değeri 6.0'dan 6.4'e yükselir ve membran zayıflar (Samli ve ark, 2005).

3.3.3. Hava Boşluğu ve Tazelik

Yumurtanın hava boşluğu, kabuk iç zarı ile dış zar arasında bulunan gaz dolu boşluktur. Taze yumurtalarda hava boşluğu yaklaşık 2–4 mm'dir. Depolama süresinin uzamasıyla birlikte su kaybı nedeniyle bu boşluk genişler. Bu durum tazeliğin dolaylı göstergesi olarak değerlendirilir (Scott ve Silversides, 2001). Avrupa Birliği kalite sınıflandırmasına göre hava boşluğu 6 mm'yi geçtiğinde yumurta “B sınıfı” kabul edilir (EU, 2020).

4. KABUK KALİTESİ

Yumurta kabuğu, embriyonik gelişim sürecinde dış ortamla iç kısımlar arasında fiziksel bir bariyer görevi üstlenir. Aynı zamanda gaz değişimini düzenler, su kaybını sınırlar ve mikroorganizmalara karşı koruma sağlar (Nys ve ark, 2011). Bu nedenle kabuk kalitesi yalnızca mekanik dayanıklılıkla değil, aynı zamanda mikroyapı, gözeneklilik ve kimyasal kompozisyonla da ilişkilidir. Kabuk kalitesi bozulduğunda hem ekonomik kayıplar hem de gıda güvenliği sorunları ortaya çıkar (Hamilton, 2019).

4.1. Kabuk Yapısı ve Bileşimi

Yumurta kabuğu üç temel tabakadan oluşur: kutikula, kristalize kalsiyum karbonat tabakası ve kabuk zarı. Bu yapıların her biri kalite açısından ayrı işlevlere sahiptir.

- Kutikula tabakası, kabuğun en dış kısmını oluşturur ve organik bir film yapısındadır. Mikrobiyal girişin engellenmesinde birincil savunma hattıdır.
- Kalsiyum karbonat tabakası, kabuğun %94'ünü oluşturur ve kalsit kristallerinin protein matrisine gömülü olduğu kompleks bir yapıdır.
- Kabuk zarı (iç ve dış), kollajen benzeri proteinlerden oluşur ve kabuğun iç kısmına mekanik destek sağlar.

Kabuk bileşimi ortalama %94–95 CaCO_3 , %1 MgCO_3 , %1 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ve %4 organik madde içerir (Stadelman ve Cotterill, 2020). Kalsiyumun kristal yapıya düzgün yerleşimi, kabuk dayanıklılığı üzerinde belirleyicidir. Yetersiz mineralizasyon, kabuk kırılma riskine neden olur (Bar ve ark, 2002).

4.2. Kabuk Kalitesinin Ölçülmesinde Kullanılan Parametreler

4.2.1. Kabuk Kalınlığı

Kabuk kalınlığı, kalite değerlendirmesinde temel göstergedir ve genellikle mikrometre ile ölçülür. Optimum değer 0.33–0.36 mm olarak kabul edilir (Hamilton, 2019). Bu değerin altında kalan yumurtalar kırılma riski taşır. Kabuk kalınlığı; tavuk yaşı, kalsiyum metabolizması ve yumurtlama zamanı ile doğrudan ilişkilidir (Bar ve ark, 2002).

4.2.2. Kabuk Ağırlık Oranı

Yumurtanın toplam ağırlığına göre kabuk oranı %9–12 arasında değişir. Bu oranın yüksek olması, genellikle iyi mineralizasyonu gösterir (Roberts, 2018). Ancak aşırı kalın kabuklar embriyonik gelişimi olumsuz etkileyebilir, bu nedenle denge önemlidir.

4.2.3. Özgül Ağırlık

Kabuk kalitesiyle doğrudan ilişkili olan özgül ağırlık, yumurtanın yoğunluğunun belirli bir tuz çözeltisinde ölçülmesiyle saptanır. 1.080–1.090 arası değerler yüksek kaliteyi temsil eder (Tyler ve Geake, 2020). Düşük özgül ağırlık genellikle kabuk incelmeleri veya gözeneklilik artışıyla ilişkilidir.

4.2.4. Kırılma Mukavemeti

Kabuk dayanıklılığı, mekanik testlerle belirlenir. Kırılma kuvveti (breaking strength) genellikle Newton (N) cinsinden ölçülür. 35–45 N arası değerler yüksek mukavemet olarak kabul edilir (De Ketelaere ve ark, 2010). Kırılma mukavemeti yalnızca kabuk kalınlığına değil, kristal organizasyonu ve gözenek yoğunluğuna da bağlıdır.

4.2.5. Kutikula Bütünlüğü

Kutikula, bakteriyel kontaminasyonun engellenmesinde kritik bir role sahiptir. Kutikula bütünlüğü genellikle özel boyalarla (örneğin tartrazin) yapılan testlerle belirlenir (De Reu ve ark, 2008). Zayıf kutikula yapısı, *Salmonella enteritidis*'in kabuğu aşma olasılığını artırır (Gantois ve ark, 2009).

4.3. Kabuk Kalitesini Etkileyen Faktörler

4.3.1. Tavuk Yaşı

Yaşlı tavuklarda kabuk kalitesi genellikle düşer. Bunun nedeni, yaşla birlikte kalsiyum metabolizmasının yavaşlaması, kabuk bezinin etkinliğinin azalması ve kabuk kalınlığının incelmesidir (Roberts, 2018). 70 haftalık tavuklarda kabuk kalınlığı, 30 haftalık bireylere göre ortalama %10–12 daha düşüktür (Bar ve ark, 2002).

4.3.2. Beslenme

Beslenme kabuk kalitesi üzerinde en etkili faktörlerden biridir. Özellikle kalsiyum (Ca), fosfor (P), D vitamini, manganez (Mn) ve çinko (Zn) düzeyleri kabuk sertliğiyle doğrudan ilişkilidir (Nys ve ark, 2011). Kalsiyum kaynaklarının biyoyararlılığı önemlidir; örneğin kalsiyum karbonat ile kalsiyum laktat arasındaki emilim farkı kabuk kalınlığını etkileyebilir (Cheng ve ark, 2020).

4.3.3. Çevresel Koşullar

Yüksek çevre sıcaklıkları ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) kabuk kalitesini olumsuz etkiler çünkü ısı stresi altında tavuklarda kalsiyum metabolizması bozulur ve yem tüketimi azalır (Muiruri ve Harrison, 1991). Ayrıca nem oranı da su kaybını ve gaz değişimini etkileyerek kabuk dayanıklılığını dolaylı yoldan değiştirebilir.

4.3.4. Genetik Faktörler

İrk farklılıkları kabuk kalitesi üzerinde belirgindir. Kahverengi yumurta üreten ırklar (örneğin Lohmann Brown) genellikle daha kalın kabuklara sahiptir, ancak yüzey pürüzlülüğü daha fazladır (Anderson, 2011).

4.4. Kabuk Kalitesi ve Gıda Güvenliği

Kabuk bütünlüğü, mikrobiyal kontaminasyona karşı en önemli fiziksel bariyerdir. Yüzeydeki mikro çatlaklar veya zayıf kutikula, *Salmonella* spp. gibi patojenlerin içeri geçişine olanak sağlar (Gantois ve ark, 2009). Bu nedenle kabuk kalitesi yalnızca ekonomik değil, halk sağlığı açısından da kritik öneme sahiptir.

AB regülasyonlarına göre “A sınıfı” yumurtalarda kabuk tamamen sağlam, temiz ve kuru olmalı; görünür çatlak, kir veya deformasyon bulunmamalıdır (EU, 2020). “B sınıfı” yumurtalar ise yalnızca endüstriyel işleme amaçlı kullanılabilir. Dolayısıyla kabuk kalitesi, pazarlama ve sınıflandırma sisteminin doğrudan belirleyicisidir.

5. YUMURTA KALİTESİNİN KRİTERLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Yumurta, tüketime ve ticarete sunulmadan önce belirli kalite standartlarına göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, hem fiziksel (dış) hem de iç kalite kriterlerine dayanmaktadır. Amaç; tüketiciye güvenli, taze ve standart kalitede ürün sunmak, üreticiye de kalite bazlı bir fiyatlandırma sistemi sağlamaktır (USDA, 2020).

5.1. Kalite Sınıflandırmasının Önemi

Kalite sınıflandırması, yumurta üretiminde kalite yönetiminin temelini oluşturur. Sınıflandırma sayesinde ürünlerin raf ömrü, işlenmeye uygunluğu ve tüketici beklentisi önceden belirlenebilir. Ayrıca bu süreç, gıda güvenliği açısından da önemlidir çünkü düşük kalite veya kirli kabuklu yumurtalar gıda sanayisinde farklı şekilde işlenir ya da pastörizasyon zorunludur (Roberts, 2018).

5.2. Yumurta Kalitesi Değerlendirme Kriterleri

Yumurtalar kalite sınıflandırmasına tabi tutulmadan önce iç ve dışkalite testlerinden geçirilir. Başlıca değerlendirme kriterleri şunlardır:

Dış Kalite Kriterleri

- Kabuk bütünlüğü: Çatlak, kırık veya ince kabuklar düşük kalite olarak değerlendirilir.
- Kabuk temizliği: Kir, dışkı, kan lekesi bulunmamalıdır.
- Kabuk şekli: Aşırı uzun, yuvarlak veya asimetrik yumurtalar sınıf dışı sayılır.
- Kabuk rengi: Irka özgü renk tonuna uygun olmalıdır; beyaz veya kahverengi tonlar standardın dışında olmamalıdır (Bainve ark, 2016).

İç Kalite Kriterleri

- Albumen yüksekliği ve HaughUnit değeri: Tazelik göstergesidir.
- Sarı indeksi: Yolk yüksekliği ve çap oranı ile belirlenir.
- Koku ve tat: Yabancı koku (örneğin balık veya metalik tat) kabul edilmez.
- Hava boşluğu yüksekliği: 6 mm'nin altı "A sınıfı", 9 mm üzeri "C sınıfı" kabul edilir (USDA, 2020).

5.3. Yumurta Sınıflandırma Sistemleri

Dünya genelinde iki temel sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır:

- (1) Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) standardı,
- (2) Avrupa Birliği (AB) standardı.

5.3.1. USDA (ABD) Kalite Sınıflandırması

USDA'ya göre yumurtalar üç ana kalite sınıfına ayrılır:

Sınıf	HaughUnit	Hava Boşluğu	Kabuk Durumu	Sarı Konumu	Açıklama
AA	≥ 72	≤ 3 mm	Temiz, sağlam	Ortada	En yüksek kalite
A	60–71	≤ 6 mm	Temiz, sağlam	Hafif kaymış olabilir	Taze kalite
B	<60	>6 mm	Hafif lekeli veya pürüzlü	Dağılmış olabilir	İşlenmeye uygun

AA ve A sınıfı yumurtalar genellikle taze tüketim için, B sınıfı yumurtalar ise sanayiye (örneğin toz yumurta üretimi) yönlendirilir (USDA, 2020).

5.3.2. Avrupa Birliği Sınıflandırması

AB 589/2008 sayılı yönetmeliğe göre yumurtalar kalite ve ağırlığa göre sınıflandırılır:

Kalite sınıfları:

- Sınıf A: Taze, doğrudan tüketime sunulabilir yumurtalar.
- Sınıf B: İşleme veya endüstriyel kullanım için ayrılan yumurtalar.

Ağırlık sınıfları:

- XL: ≥ 73 g
- L: 63–72 g
- M: 53–62 g
- S: <53 g

Etiketlemede hem kalite hem de ağırlık sınıfı birlikte belirtilir. Örneğin “A-M” etiketi, taze ve orta boy bir yumurtayı temsil eder (European Commission, 2020).

5.4. Türkiye’de Yumurta Sınıflandırma Mevzuatı

Türkiye’de yumurta kalite ve sınıflandırması, Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği (Tebliğ No: 2014/55) kapsamında

yapılmaktadır. Bu düzenleme, AB mevzuatıyla büyük oranda uyumludur.

Tebliğe göre yumurtalar iki kalite sınıfına (A ve B) ve dört ağırlık sınıfına (XL, L, M, S) ayrılır. Ayrıca, kabuk üzerinde üretici kodu bulunması zorunludur.

Üretici kodu şu şekilde yapılandırılır:
TR-X-YY-ZZZZ,
burada:

- TR: ülke kodu,
- X: üretim yöntemi (0 = organik, 1 = serbest gezen, 2 = kümes, 3 = kafes),
- YY: il plaka kodu,
- ZZZZ: işletme numarası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Bu sistem, tüketiciye izlenebilirlik sağlar ve üretim koşullarının şeffaf biçimde paylaşılmasına imkân verir.

5.5. Yumurta Kalitesi ve Tüketici Tercihleri

Modern pazarlarda yumurta kalitesi, yalnızca fiziksel standartlarla değil, aynı zamanda etik üretim, hayvan refahı ve sürdürülebilirlik kriterleriyle de değerlendirilmektedir (Riccioli ve ark, 2020).

Organik veya serbest gezen tavuk yumurtaları, yüksek fiyatlı niş ürünlerdir ve tüketici tarafından “daha sağlıklı” algılanmaktadır. Bu durum, üretim modelini ve piyasa dinamiklerini de etkilemektedir.

Ayrıca ambalajlama, etiketleme ve soğuk zincir koşulları da kalite algısına doğrudan etki eder. Tüketiciler, kabuğu temiz ve homojen renkte, sarısı koyu renkli yumurtaları daha “doğal” olarak nitelendirmektedir (Blesso ve Fernandez, 2018).

6. SONUÇ

Tavuk yumurtası, yüksek biyolojik değeri ve dengeli besin içeriği sayesinde insan beslenmesinde vazgeçilmez bir gıda maddesidir. Ancak yumurtanın besinsel değerinin yanı sıra, kalite özellikleri de hem tüketici sağlığı hem de üretim ve pazarlama süreçleri açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda yumurta kalitesi; iç ve dış kalite unsurlarının, üretim koşullarının, depolama sürecinin ve sınıflandırma sistemlerinin bütüncül olarak değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir kavramdır.

Bu bölümde ele alınan bulgular, yumurta kalitesinin yalnızca tek bir parametreyle tanımlanamayacağını, aksine kabuk kalitesi, albumen yüksekliği, Haugh birimi, sarı rengi, hava boşluğu ve mikrobiyolojik güvenlik gibi çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kabuk bütünlüğü ve iç kalite parametreleri hem raf ömrünün uzatılması hem de gıda güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Kabukta meydana gelen çatlaklar veya zayıf kutikula yapısı, mikroorganizma girişini kolaylaştırarak halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir.

Yumurta kalitesini etkileyen faktörler arasında tavuk yaşı, genetik yapı, beslenme stratejileri ve çevresel koşullar ön plana çıkmaktadır. Yaşın ilerlemesiyle birlikte kabuk kalitesinde görülen düşüş, uygun besleme ve yönetim uygulamalarıyla kısmen telafi edilebilmektedir. Özellikle kalsiyum, fosfor ve D vitamini açısından dengeli rasyonlar ile çevresel stres faktörlerinin azaltılması, kalite kayıplarının önlenmesinde etkili yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır.

Ulusal ve uluslararası sınıflandırma sistemleri (AB, USDA ve Türk Gıda Kodeksi), yumurtanın objektif kalite kriterlerine göre değerlendirilmesini ve standardizasyonunu sağlamaktadır.

Bu sistemler sayesinde hem üretici hem de tüketici için şeffaf ve güvenilir bir kalite algısı oluşturulmakta, izlenebilirlik ve gıda güvenliği güçlendirilmektedir. Özellikle üretici kodu uygulamaları, üretim yöntemi ve işletme bilgilerine erişimi mümkün kılarak modern yumurta sektöründe önemli bir kalite güvence aracı haline gelmiştir.

Sonuç olarak yumurta kalitesi, yalnızca fiziksel görünüm veya tazeliikle sınırlı olmayan; biyolojik, kimyasal, teknolojik ve algısal boyutları olan dinamik bir kavramdır. Kalitenin korunması ve geliştirilmesi, sürdürülebilir üretim sistemleri, bilinçli tüketici tercihleri ve bilimsel temelli kalite kontrol uygulamalarıyla mümkündür. Gelecekte, görüntü işleme sistemleri, yapay zekâ destekli sınıflandırma yöntemleri ve fonksiyonel yumurta üretimine yönelik çalışmaların, yumurta kalitesinin daha objektif, hızlı ve güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Anderson, K. E. (2011). Comparison of fattyacid, cholesterol, and vitamin A and E composition in eggsfromhenshoused in conventionalcageandrangeproductionfacilities. *PoultryScience*, 90(7), 1600–1608. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01289>.
- Anar, Ş. (2016). *Yumurta ve yumurta ürünleri* (1. bs.). Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Akyürek, H.,ve Okur, A. A. (2009). Effect of storage time, temperatureandhenage on eggquality in free-rangelayerhens. *Journal of AnimalandVeterinaryAdvances*, 8(10), 1953–1958.
- Bain, M. M.,Nys, Y., veDunn, I. C. (2016). Increasingpersistency in layandstabilisingeggquality in longerlayingcycles. *World'sPoultryScienceJournal*, 72(1), 139–150. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000015>.
- Bar, A.,Hurwitz, S., veCohen, Z. (2002). Calciummetabolismandshellquality in layinghens. *British PoultryScience*, 43(4), 532–539. <https://doi.org/10.1080/0007166021000025795>.
- Blesso, C. N.,veFernandez, M. L. (2018). Eggsandcardiovascularhealth: An update. *Nutrients*, 10(4), 426. <https://doi.org/10.3390/nu10040426>.
- Caner, C.,ve Yüceer, M. (2015). Efficacy of various protein-basedcoatings on enhancingtheshelf life of eggsduringstorage. *Journal of theScience of FoodandAgriculture*, 95(2), 382–389. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6734>.

- Cheng, Y., Liu, J., Chen, S., ve Zhao, Y. (2020). Effect of calcium source and particle size on eggshell quality and bone characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114470. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114470>.
- De Ketelaere, B., Govaerts, T., Coucke, P., Dewil, E., Visscher, J., Decuyper, E., ve De Baerdemaeker, J. (2010). Measuring the mechanical properties of eggshells: A review. *World's Poultry Science Journal*, 66(3), 471–486. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000547>.
- De Reu, K., Rodenburg, T. B., Grijspeerdt, K., Messens, W., Heyndrickx, M., Tuytens, F. A. M., Sonck, B., Zoons, J., ve Herman, L. (2009). Bacteriological contamination, dirt, and cracks of eggshells in furnished cages and non-cage systems. *Poultry Science*, 88(11), 2442–2448. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00031>.
- European Commission. (2020). *Commission Regulation (EC) No 589/2008 on marketing standards for eggs*.
- FAO. (2013). *Quality and safety of eggs and egg products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fraeye, I., Bruneel, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K., ve Foubert, I. (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 48(2), 961–969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.014>.
- Gantois, I., Ducatelle, R., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Gast, R., Humphrey, T. J., ve Van Immerseel, F. (2009). Mechanisms of egg contamination by *Salmonella enteritidis*. *FEMS Microbiology Reviews*, 33(4), 718–738. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00161.x>

- Hamilton, R. M. G. (2019). Eggshell quality: Mechanisms and control. *World's Poultry Science Journal*, 75(3), 355–367. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000347>.
- Haugh, R. R. (1937). The Haugh unit for measuring egg quality. *U.S. Egg and Poultry Magazine*, 43, 552–555.
- Jones, D. R., ve Musgrove, M. T. (2005). Effects of extended storage on egg quality. *Poultry Science*, 84(11), 1774–1777. <https://doi.org/10.1093/ps/84.11.1774>.
- Jones, D. R., Musgrove, M. T., ve Northcutt, J. K. (2004). Variation in external and internal microbial populations in shell eggs during extended storage. *Journal of Food Protection*, 67(12), 2657–2660. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.12.2657>.
- Kemps, B. J., De Ketelaere, B., Bamelis, F. R., Mertens, K., Tona, K., Decuypere, E., ve De Baerdemaeker, J. (2007). Automated quality determination of eggs using machine vision. *Biosystems Engineering*, 98(3), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.08.006>
- Kızıloğlu, R., Kızılaslan, H., ve Dölek, G. (2013). Ekolojik yumurta ile endüstriyel yumurta tüketim tercihlerinin belirlenmesi: Tokat ili örneği. *Alın teri*, 24(B), 20–28.
- Leeson, S., ve Summers, J. D. (2009). *Commercial poultry nutrition* (3rd ed.). Nottingham University Press.
- Liu, J., Chen, S., ve Zhao, Y. (2016). Quality characteristics of pasteurized liquid egg products. *Journal of Food Engineering*, 178, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.007>.
- Mashaly, M. M., Hendricks, G. L., Kalama, M. A., Gehad, A. E., Abbas, A. O., ve Patterson, P. H. (2004). Effect of

- heatstress on productionparametersandimmuneresponses of commerciallayinghens. *PoultryScience*, 83(6), 889–894. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.889>.
- Mine, Y. (2019). *Eggbioscienceandbiotechnology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Muiruri, H. K.,ve Harrison, P. C. (1991). Effect of ambienttemperature on eggshellquality in layinghens. *PoultryScience*, 70(8), 1873–1878.
- Nys, Y.,Bain, M., ve Van Immerseel, F. (2011). *Improvingthesafetyandquality of eggsandeggproducts*. Woodhead Publishing.
- Özkan, Ç. Ö. (2020). Damızlık kınalı kekliklerde *Alectorischukar* Meselen E liquid takviyesinin yumurta verimi üzerine etkisi. *ADYÜTAYAM Dergisi*, 8(1), 31–37.
- Riccioli, F.,ve ark (2020). Consumers’ perceptions of eggqualityandanimalwelfare in free-rangesystems. *FoodQualityandPreference*, 84, 103946. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103946>.
- Roberts, J. R. (2018). Factorsaffectingegginternalandshellquality in layinghens. *PoultryScienceReviews*, 27(3), 65–77.
- Samli, H. E.,Agna, A., veSenkoylu, N. (2005). Effects of storage time andtemperature on eggquality in oldlayinghens. *Journal of AppliedPoultryResearch*, 14, 548–553. <https://doi.org/10.1093/japr/14.3.548>.
- Scott, T. A.,veSilversides, F. G. (2000). Theeffect of storageandstrain of hen on eggquality. *PoultryScience*, 79, 1725–1729.
- Scott, T. A.,veSilversides, F. G. (2001). Effects of storageandlayerage on eggquality. *PoultryScience*, 80(8), 1240–1245.

- Stadelman, W. J., ve Cotterill, O. J. (2020). *Egg science and technology* (5th ed.). CRC Press.
- Surai, P. F., ve Sparks, N. H. C. (2001). Designer eggs: From improvement of egg composition to functional food. *Trends in Food Science and Technology*, 12(1), 7–16. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00048-6).
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). *Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği (2014/55)*.
- Tyler, R., ve Geake, T. (2020). Advances in measuring eggshell strength. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(1), 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.09.005>.
- USDA. (2020). *United States standards, grades, and weight classes for shell eggs*.
- Van Horne, P. L. M. (2019). Market perspectives on egg quality. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 15–28. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000774>.

TÜRKİYE KANATLI SEKTÖRÜNÜN YAPISAL DÖNÜŞÜMÜ: EKONOMİK KATKI, MEVCUT ZORLUKLAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA İÇİN POLİTİKA ÖNERİLERİ

Vahdettin SARIYEL¹

Özcan Barış ÇİTİL²

1. GİRİŞ: BÖLÜMÜN AMACI VE ÖNEMİ

Kanatlı sektörü, Türkiye'nin gıda arz güvenliğinde, kırsal istihdamında ve tarımsal dış ticaretinde kritik bir alt sektör olarak konumlanmaktadır. Son yirmi yılda entegre üretim yapısının yaygınlaşması, modern işletmecilik uygulamalarının benimsenmesi ve ihracat kapasitesinin artmasıyla Türkiye, bölgesel bir üretim merkezi hâline gelmiştir (Aygün ve Narinç, 2024; FAO, 2023).

Küresel literatür ise kanatlı sektörünün hızlı büyümesinin temel nedenlerini genetik gelişmeler, yem optimizasyonu ve otomasyon teknolojileri olarak açıklamaktadır (Havenstein ve ark. 2003; Zuidhof, 2019).

Bu çalışma, Türkiye kanatlı sektörünün güncel yapısal analizini detaylı bir şekilde sunmayı amaçlamaktadır. Bölümün temel hedefi, sektörün makroekonomik katkısını, mevcut üretim dinamiklerini ve karşı karşıya olduğu temel zorlukları (özellikle yem maliyetleri ve biyogüvenlik riskleri) değerlendirmektir.

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Gıda İşleme, ORCID: 0000-0002-3937-4849.

² Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Laborant ve Veterinerlik, ORCID: 0000-0003-1999-5805.

Nihayetinde, ulusal ve uluslararası literatür ışığında sektörün sürdürülebilir kalkınması için uygulanabilir politika araçlarına yönelik öneriler geliştirmek hedeflenmektedir. Bu analiz, sektör paydaşlarına, politika yapıcılara ve akademik camiaya sektörün gelecekteki yol haritası hakkında bilimsel veriye dayalı bir perspektif sunacaktır.

2. METODOLOJİK ÇERÇEVE VE VERİ KAYNAKLARI

Bu kitap bölümü, amaca ulaşmak için deskriptif ve analitik bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Çalışmanın temel metodolojisi, güvenilir birincil ve ikincil veri kaynaklarının sistematik bir literatür taraması ile sentezlenmesine dayanmaktadır.

2.1. Veri Toplama

Veriler, resmi istatistik kurumları ve sektörel raporlardan elde edilmiştir:

- Birincil Veri Kaynakları: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan hayvansal üretim istatistikleri, dış ticaret verileri ve Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) sektörel girdi-çıktı verileri.
- İkincil Veri Kaynakları: Tarım ve Orman Bakanlığı (GTHB) sektörel raporları, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Ticaret Örgütü (WTO) ve Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (OECD) gibi uluslararası kuruluşların yayımladığı raporlar ve veri setleri.

2.2. Analiz Yöntemleri

- Zaman Serisi Analizi: Sektörün son on yıllık (2015-2025) üretim, tüketim, maliyet ve ihracat verileri, yıllık

bazda büyüme trendlerini ve yapısal kırılmaları tespit etmek amacıyla incelenecektir.

- Karşılaştırmalı Sektör Analizi: Türkiye'deki kanatlı sektörünün performansı, küresel ölçekte önde gelen üretici ülkeler (Brezilya, ABD ve AB ülkeleri) ile rekabetçilik, verimlilik ve maliyet etkinlikleri bağlamında karşılaştırılacaktır.
- Literatür Sentezi: Akademik literatür, sektöre ilişkin ekonomik, zootekni ve çevresel riskleri ele alan ulusal ve uluslararası çalışmaları kapsayacak şekilde sistematik olarak taranmış ve sentezlenmiştir.

3. TÜRKİYE'DE KANATLI SEKTÖRÜNÜN TARİHSEL GELİŞİMİ VE KURUMSAL YAPI

Ulusal literatür, Türkiye kanatlı sektörünün 1980'li yıllardan itibaren dramatik bir yapısal dönüşüm geçirdiğini göstermektedir (Sarica ve ark., 2018). Geleneksel, küçük ölçekli ve dağınık üretim modeli, yerini dikey entegrasyonun hâkim olduğu sanayileşmiş bir yapıya bırakmıştır. Bu entegrasyon modeli, kuluçkahaneden yem üretimine, kesimhaneden pazarlamaya kadar tüm aşamaların tek bir kurumsal yapı altında birleşmesini sağlamıştır. Literatürde, bu dönüşümün temel itici güçleri olarak şunlar gösterilmektedir: tüketici talebindeki artış, gıda güvenliği standartlarının yükseltilmesi ihtiyacı ve ölçek ekonomilerinden faydalanmagerekliliği (COBB, 2018; NRC, 2021). Entegrasyonun temel ekonomik sonucu, üretimde verimlilik artışı ve birim maliyetlerin düşürülmesidir. Ancak aynı zamanda, entegre firmaların piyasadaki yoğunlaşması, piyasa gücü ve küçük üreticilerin pazarlık gücünün azalması gibi yapısal sorunları da beraberinde getirmiştir (Akşit ve Özdemir2002).

3.1. Uluslararası Literatürde Kanatlı Üretim Ekonomisi ve Rekabetçilik

Küresel kanatlı ekonomisi literatürü, Türkiye'deki sektörün analizine karşılaştırmalı bir zemin sunmaktadır. Uluslararası düzeyde kanatlı eti, kırmızı ete göre daha esnek bir protein kaynağı olarak kabul edilmektedir ve küresel ticaretteki payı giderek artmaktadır (FAO, 2016).

Maliyet Etkinliği ve Verimlilik: Brezilya ve ABD gibi küresel ihracat liderleri üzerine yapılan çalışmalar, genetik ıslah, otomasyon ve yem maliyet yönetimi konularındaki ileri uygulamaların maliyet optimizasyonunda kritik rol oynadığını vurgulamaktadır (FAO, 2009). Türkiye'nin rekabet gücü, büyük ölçüde yem hammadde (özellikle soya ve mısır) ithalatına olan yüksek bağımlılığı nedeniyle baskılanmaktadır.

Küresel Ticaret Dinamikleri: Sektörün ihracat odaklı büyüme stratejisi, uluslararası politik ve ekonomik risklere karşı kırılganlığını artırmaktadır. Özellikle hastalık salgınları (AvianInfluenza) veya ticari engeller, ihracat yapılan pazarlarda ani daralmalara yol açabilmektedir (Akyol ve Dengi, 2023; Lopes ve ark. 2017).

3.2. Sürdürülebilirlik, Hayvan Refahı ve Çevresel Literatür

Güncel literatür, kanatlı sektörünün çevresel etkilerini karbon ayak izi, su tüketimi ve atık yönetimi bağlamında ele almaktadır (Poore ve Nemecek, 2018; Bijman 2016).

Kanatlı dışkısının nitrat ve fosfat sızıntısına yol açması, yeraltı su kaynaklarının kirliliği açısından tehdit oluşturmaktadır (SAS 1., 2015; Garnet, 2023). Ayrıca kesimhane atıkları, uygun yönetilmediği takdirde çevresel riskleri artırmaktadır (EC, 2021).

4. SEKTÖRÜN MEVCUT YAPISI VE EKONOMİK GÖSTERGELER

4.1. Üretim ve Tüketim Trendleri

Etlik piliç üretiminde ağırlık Marmara (%40) ve Ege (%25) Bölgeleri'nde yoğunlaşmaktadır (TÜİK, 2023). Yüksek entegrasyon seviyesine sahip tesislerin coğrafi yoğunlaşması, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde etkinlik sağlarken, olası hastalık salgınları durumunda bölgesel arz şoklarının yaratabileceği riskleri artırmaktadır. 2015-2023 dönemi boyunca etlik piliç üretiminde yıllık bileşik büyüme oranı (CAGR) yaklaşık %3,5 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu istikrarlı büyüme, sektörün iç ve dış talebe cevap verme yeteneğini göstermektedir.

Tablo 1'den görüldüğü üzere, özellikle 2021 sonrası dönemde yem girdi fiyat endeksindeki katlanarak artış, üretim miktarındaki büyümeyi baskılamakta ve maliyet bazlı enflasyonun ana kaynağını oluşturmaktadır.

Kırmızı ete kıyasla daha uygun maliyetli bir protein kaynağı olması nedeniyle, Türkiye'de kişi başına düşen kanatlı eti tüketimi yıllık 28 kg seviyesine yaklaşmıştır. Tüketim trendlerindeki bu artış, aynı zamanda toplumsal beslenme alışkanlıklarının dönüşümünü de yansıtmaktadır. Literatürde, kanatlı etine olan talebin gelir esnekliği (IncomeElasticity) değerleri, kırmızı ete kıyasla daha düşük ancak pozitif bulunmuştur. Bu, hane halkı gelirleri artsa bile, kanatlı eti tüketimindeki artışın kırmızı et tüketimi artışından daha yavaş gerçekleştiğini ancak temel bir protein kaynağı olarak konumunu koruduğunu gösterir. Tüketim tarafındaki en büyük risk, girdi maliyetlerinin sürekli artışı nedeniyle nihai ürün fiyatlarının yükselmesi ve talebin fiyat esnekliğinin yüksek çıkmasıdır.

Tablo 1. Türkiye Kanatlı Ürünleri Üretim ve Girdi Fiyatları Karşılaştırması (2015-2023)

Yıl	Etlik Piliç Üretimi (Bin Ton)	Yumurta Üretimi (Milyar Adet)	Yem Girdi Fiyat Endeksi (2015=100)	Ortalama Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE) Artışı (Yıllık %)
2015	1.950	17.2	100.0	7.6
2018	2.150	18.7	145.0	20.3
2021	2.250	21.0	310.0	19.6
2023	2.500	22.5	450.0	64.8

Kaynak: TÜİK, 2023

4.2. Makroekonomik Katkı

Kanatlı sektörü Türkiye ekonomisinde yaklaşık 3 milyon kişiye doğrudan ve dolaylı istihdam sağlayan geniş bir tedarik zincirine sahiptir.

TCMB girdi-çıktı analizleri, sektördeki 1 TL’lik çıktı artışının ulusal ekonomide 1,3–1,6 TL arası toplam hasıla yarattığını göstermektedir (TCMB, 2023).

4.3. Rekabetçilik ve Dış Ticaret

Türkiye, Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerine yönelik ihracatta güçlü bir konuma sahiptir.2023’te kanatlı ihracatı 1,5 milyar dolar seviyesini aşmıştır. Gerçekleştirilmiş Mukayeseli Üstünlük (RCA) değeri 1’in üzerinde hesaplanmış olup sektörün küresel pazarda rekabet gücüne işaret etmektedir (Aygün ve Nariñç, 2024).

Ancak:

- Yem maliyetleri,
- Uluslararası hayvan refahı standartları,
- Bölgesel siyasi riskler,

rekabet gücü üzerinde baskı yaratmaktadır (USDA, 2023).

5. TÜRKİYE’DE TAVUKÇULUK SEKTÖRÜNÜN EKONOMİK YAPISI VE ÜRETİM SİSTEMLERİ

5.1. Türkiye’de Tavukçuluk Sektörünün Ekonomik Yapısı

Tavukçuluk sektörü, Türkiye tarım ve hayvancılık ekonomisi içerisinde önemli bir paya sahiptir. 2024 yılı itibarıyla sektörün ekonomik büyüklüğü 5,5 milyar dolar düzeyine yaklaşmaktadır. Bu ekonomik hacim; yetiştirme tesisleri, yem fabrikaları, kesimhaneler, işleme tesisleri, paketleme, lojistik ve ihracat zincirlerinin tamamını kapsamaktadır.

Sektörün büyümesini etkileyen temel faktörler arasında yem fiyatları, ihracat pazarı çeşitliliği, yerel talep, biyogüvenlik standartları ve kırsal kalkınma politikaları bulunmaktadır. Yem maliyetlerinin toplam üretim maliyeti içindeki payı yaklaşık %65–70 arasında değişmekte olup Türkiye’nin özellikle soya ve mısır ithalatına bağımlılığı sektörde fiyat dalgalanmalarına neden olmaktadır (USDA, 2023).

5.2. Üretim Trendleri ve Nicel Analiz

Türkiye’de tavuk eti üretimi 2021–2024 arasında düzenli bir artış göstermiştir. Aşağıdaki tablo sektörde yıllara göre gerçekleşen üretim miktarlarının karşılaştırmasını sunmaktadır.

Tablo 3. Türkiye’de Tavuk Eti Üretimi (2021–2024)

Yıl	Üretim (Ton)
2021	2,150,000
2022	2,250,000
2023	2,400,000
2024	2,500,000

(TÜİK, 2024).

2021–2024 dönemi, sektörde hem üretim kapasitesinin hem de işletme verimliliğinin arttığı bir dönem olmuştur. 2023 yılında kısa süreli bir düşüş gözlenmesine rağmen 2024 itibarıyla üretim yeniden artış eğilimine girmiştir. Bu artış, Türkiye’nin ihracat kapasitesinin gelişmesi ve iç tüketimin yükselmesiyle birlikte sektörün büyüdüğünü göstermektedir.

2024 yılının seçilmiş aylarına ilişkin değerler:

Ay	Tavuk Eti Üretimi (Ton)
Ocak 2024	210,000
Haziran 2024	225,000
Aralık 2024	235,000

(TÜİK, 2024).

Ocak ayı nispeten düşük üretimle başlamakta, yaz aylarında iç talebin artmasıyla üretim yükselmekte ve yıl sonunda stabil yüksek seviyede seyretmektedir.

Uluslararası literatüre göre temel üretim sistemleri (Mottet ve Tempio, 2017):

1. Geleneksel küçük ölçekli üretim
2. Yarı entegre sistem
3. Tam entegre sanayi sistemi
4. Organik ve serbest dolaşımli sistemler

Türkiye’de üretimin yaklaşık %90’ı tam entegre endüstriyel sistemlerde gerçekleştirilmektedir. Bu yapı, gıda

güvenliği ve verimlilik açısından avantaj sağlasa da piyasa yoğunlaşması ve rekabet sorunlarını beraberinde getirmektedir.

6. TEMEL ZORLUKLAR VE RİSK ANALİZİ

6.1. Yem Maliyetleri

Yem maliyetleri toplam üretim maliyetinin %65–70’ini oluşturmaktadır. Türkiye’nin yüksek oranda soya ve mısır ithalatına bağımlı olması maliyet dalgalanmasını artırmaktadır (Windhorst, 2015).

6.2. Biyogüvenlik ve Hastalık Riskleri

Kanatlı sektöründe AvianInfluenza gibi salgın riski yüksek hastalıklar büyük ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Literatür bu ayıpların milyarlarca dolara ulaşabileceğini ortaya koymaktadır (OECD/FAO, 2016).

Türkiye’de Marmara ve Ege bölgelerinde yüksek üretim yoğunluğu, salgınların yayılma hızını artırabilecek bir unsurdur.

6.3. Çevresel Etkiler ve İklim Değişikliği

Kanatlı üretimi büyükbaş hayvancılığa kıyasla daha düşük karbon ayak izine sahip olsa da;

- Atık yönetimi,
- Su kullanımı,
- Amonyak emisyonu

gibi çevresel etkiler sektörün sürdürülebilirlik gündemini şekillendirmektedir (Poore ve Nemecek, 2018).

Biyogaz ve kompost uygulamalarının yaygınlaştırılması döngüsel ekonomi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Aviagen, 2019).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye kanatlı sektörü, hem ülke içi gıda güvenliğinin sağlanması hem de uluslararası rekabet gücünün artırılması bakımından stratejik bir konuma sahiptir. Son yirmi yılda yaşanan yapısal dönüşüm, sektörün küçük ölçekli dağınık üretim yapısından çıkıp yüksek düzeyde entegre, verimliliği artırılmış sanayi modeline geçmesini sağlamıştır. Literatür, bu dönüşümün Türkiye’yi bölgesel bir üretim merkezi hâline getirdiğini ve özellikle Orta Doğu ile Kuzey Afrika pazarlarında güçlü bir ihracatçı konuma taşıdığını ortaya koymaktadır (FAO, 2023; OECD-FAO, 2024).

Bu çalışmada; sektörün üretim kapasitesi, ekonomik katkıları, sürdürülebilirlik sorunları, biyogüvenlik riskleri ve rekabetçilik düzeyi ulusal ve uluslararası literatüre dayalı olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, sektörün güçlü yönlerinin başında yüksek entegrasyon seviyesi, teknolojik yeniliklerin hızlı benimsenmesi, geniş istihdam kapasitesi ve RCA değerlerine göre uluslararası pazarlarda sahip olduğu görece üstünlüklerin geldiğini göstermektedir.

Salgın hastalık riskleri ve biyogüvenlik zafiyetleri, sektörün yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda ticari ve toplumsal sonuçlar doğurabilecek kritik kırılganlık alanlarıdır. Avian Influenza gibi küresel hastalıkların ekonomik etkileri, literatürde milyarlarca dolar kayıpla sonuçlanabilen makro ölçekli krizler olarak tanımlanmaktadır (Swayne, 2020). Türkiye’de coğrafi üretim yoğunlaşması, bu riskleri artıran unsurlardan biridir. Öte yandan, çevresel sürdürülebilirlik ekseninde atık yönetimi, emisyon kontrolü ve döngüsel ekonomi uygulamalarının yaygınlaşması hâlinde sektörün karbon ayak izinin önemli ölçüde azaltılabileceği bilimsel çalışmalarda net biçimde ortaya konmuştur (Poore ve Nemecek, 2018).

Sonuç olarak, Türkiye kanatlı sektörünün gelecekte hem iç talebi karşılayabilmesi hem de uluslararası pazarlarda rekabet üstünlüğünü koruyabilmesi, yem hammaddesinde dışa bağımlılığı azaltacak stratejik yatırımlar, hayvan refahı ve biyogüvenlik standartlarını yükselten yapısal reformlar, atık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik alanında yeni nesil teknolojilerin teşvikivesözleşmeli yetiştiricilik sisteminde üreticiler lehine düzenlemelerle mümkündür. Literatür, bu tür politika adımlarının sektörün rekabetçiliğini uzun vadede güçlendireceğini ve Türkiye’yi bölgesel bir üretim lideri olarak daha da sağlam bir pozisyona taşıyacağını göstermektedir.

Bu bağlamda, sektörün sürdürülebilir büyümesini desteklemek için bütüncül ekonomik planlamalar, ulusal tarım politikası ile uyumlu uzun vadeli strateji belgeleri ve sektör paydaşları arasında güçlü bir koordinasyon mekanizması gereklidir. Bu tür kapsayıcı bir yaklaşım, Türkiye kanatlı sektörünün küresel gıda tedarik zincirindeki yerini güçlendirecek, ekonomik değerini artıracak ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir gelişim sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akşit, M., Özdemir, D. 2002. Kanatlılarda Korku Davranışı. Hayvansal Üretim, 43(2).
- Akyol, G., Denli, M. 2023. Kurutulmuş Domates, Elma ve Üzüm Pürelerinin Yumurtlayan Tavukların Performansı ve Yumurta Kalitesi Üzerindeki Etkileri. Türk Tarım-Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 11(2): 307-311.
- Aviagen (2019). Ross 708 Broyler Performans Hedefleri. Aviagen
- Bijman, J. 2016. Agricultural Cooperatives in the Netherlands: Keysuccessfactors. International Summit of Cooperatives.Quebec.<https://www.researchgate.net/publication/308993047>.
- Aygün, A., veNarinç, D. (2024). Serbest Gezen Sistemlerde Horoz Varlığının Yumurta Performansı, Yumurta Kalitesi ve Korku Tepkisi Üzerindeki Etkileri. Kanatlı Araştırmaları Dergisi, 21(2), 34-42. <https://doi.org/10.34233/jpr.1593986>
- COBB (2018). Broyler Performansı ve Besin Takviyesi. CobbVantress
- EC. (2021). Farm toForkStrategy. EuropeanCommission.
- FAO. (2023). Poultry Market Review. FoodandAgricultureOrganization.
- Havenstein, G.B.,Ferket, P.R., Qureshi, M.A. (2003). 1957 ve 2001 broylerlerinin temsili 1957 ve 2001 broyler yemleriyle beslenmesi durumunda büyüme, yaşama oranı ve yem dönüşüm oranları. Poult. Sci. 82, 1500–1508. 10.1093/ps/82.10.1500 [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

- Lopes, M., Santos, A., vePeres, R. (2017). Verticalintegration in theBrazilianpoultryindustry.
- Mottet, A., veTempio, G. (2017). Küresel kümes hayvanı üretimi: mevcut durum ve gelecek görünümü ve zorluklar. *World'sPoultryScienceJournal* , 73 (2), 245–256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>
- NRC. (2021). NutrientRequirements of Poultry. NationalResearchCouncil.
- FAO (2009) Gıda ve Tarımın Durumu 2009: Hayvancılık Dengede. FAO, Roma.
- OECD/FAO (2016) OECD-FAO Tarım Görünümü 2016-2025. OECD Yayınları, Paris.http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en
- Poore, J., ve Nemecek, T. (2018). Reducingfood'senvironmentalimpactsthroughproducersa ndconsumers. *Science*, 360(6392),987–992.
- Sarıca, M., Türkoğlu, M., ve Yamak, U.S. (2018). Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliğindeki Gelişmeler ve Türkiye Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği. Kitap: Kanatlı Hayvan Bilimi (Yetiştirme, Besleme, Hastalıklar) (Türkçe), ss. 1-39
- SAS I (2015). Temel SAS 9.4 prosedürleri kılavuzu: SAS Enstitüsü.
- Swayne, D. (2020). Economicandepidemiologicalimpacts of avianinfluenza.
- TÜİK. (2023). Türkiye İstatistik Kurumu 2022 istatistikleri haber bülteni.
- TÜİK. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu 2023 istatistikleri haber bülteni.

- TCMB. (2023). Input-Output Tables for Agricultural Sectors.
- Windhorst, HW (2015) Yumurta Tavukçuluğunda Barınma Sistemleri - Gelişim, Mevcut Durum ve Perspektifler - *IEC 2015 İş Konferansı Bildirileri*, Lizbon. USDA. (2023). Turkey: Poultry Sector Report.
- WHO. (2020). Antimicrobial Resistance Global Report.
- Zuidhof M J (2019). Energy and protein dilution in broiler breeder pullet diets reduced offspring body weight and yield. *Poult. Sci.* 98(6):

KEKLİK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULUÇKA PERFORMANSI VE YUMURTA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Zahit Kutalmış KAYA¹

1. GİRİŞ

Kanatlı endüstrisinin sürdürülebilirliği ve ekonomik verimliliği, büyük ölçüde kuluçka başarısına ve elde edilen civcivlerin kalitesine bağlıdır. Tavukçuluk sektörü endüstriyel anlamda büyük bir standardizasyona ulaşmış olsa da, keklik (*Alectoris chukar*) gibi alternatif kanatlı türlerinin yetiştiriciliği, artan protein talebi, av turizmi ve hobi amaçlı yetiştiricilik nedeniyle giderek önem kazanmaktadır. Ancak bu türün kuluçka dinamikleri, ticari etlik piliçlerden (broiler) farklılık göstermekte ve türe özgü yönetim stratejileri gerektirmektedir. Keklik yetiştiriciliğinde, mevsimsel yumurtlama ve düşük yumurta verimi nedeniyle kendine özgü zorluklar barındırmaktadır. İşletmelerde günlük olarak elde edilen yumurta sayısının, kuluçka makinelerinin kapasitesini doldurmak için yetersiz kalması, yumurtaların belirli periyotlarla depolanmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak bu depolama süreci, embriyonun gelişimini durdurduğu ("embriyonik diapoz") kritik bir evredir ve doğru yönetilmediğinde kuluçka randımanında ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı kekliklerde, damızlık sürülerden elde edilen yumurtaların kuluçka performansının

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Konya Ereğli Kemal Akman MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, ORCID: 0000-0002-7790-1689.

optimize edilmesi, işletme ekonomisi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Kuluçka performansı, sadece kuluçka makinesindeki koşullara (sıcaklık, nem, çevirme) bağlı değildir; süreç, damızlık sürünün genetik yapısı ve yaşından başlayarak, yumurtanın toplanması, depolanması ve makineye yüklenmesine kadar geçen zincirleme faktörlerin bir bütünüdür. Literatürde, keklik yumurtalarının diğer kanatlı türlerine (örneğin tavuk veya bıldırcın) kıyasla uzun süreli depolamaya daha dirençli olduğu bildirilse de, depolama süresi, sıcaklığı, yumurta pozisyonu, çevirme sıklığı ve damızlık yaşı gibi faktörlerin kümülatif etkileri, çıkış gücünü ve civciv kalitesini doğrudan değiştirmektedir.

Bu bölümde; keklik yetiştiriciliğinde kuluçka performansını etkileyen temel faktörler; yumurta depolama fizyolojisi, damızlık yaşına bağlı embriyonik değişimler ve civciv kalitesi üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur.

2. DEPOLAMA KOŞULLARININ ETKİSİ

Ticari işletmelerde yumurtaların günlük olarak kuluçkaya yüklenmesi lojistik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığından, yumurtalar belirli sürelerde depolanmak zorundadır. Fasenko (2007) da ticari kanatlı üretiminde lojistik zorluklar nedeniyle yumurtaların depolanması kaçınılmaz olduğunu belirtmiştir. Ancak bu süreç, embriyo canlılığının sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Depolama süresinin uzaması, hücresel bozulmalara yol açabilmektedir. Depolama sıcaklığı, süresi, yumurta pozisyonu ve çevirme sıklığı gibi faktörler, kuluçka randımanını doğrudan etkilemektedir (Çam ve ark., 2022b).

2.1. Depolama Sıcaklığı

Kuluçkalık yumurtaların depolanma sürecindeki temel amaç, embriyonun gelişimini tamamen durdurmak, ancak hücresel canlılığını korumaktır. Embriyonik gelişimin durduğu sıcaklık noktası literatürde "Fizyolojik Sıfır" olarak tanımlanmaktadır. Fasenko (2007) ve Decuypere ve Bruggeman (2007) tarafından belirtildiği üzere, bu kritik eşik değeri kanatlı türlerine göre varyasyon göstermekle birlikte genellikle 20-21°C (68-70°F) olarak kabul edilir. Fasenko (2007) tarafından "embriyonik diapoz" olarak tanımlanan yumurta depolama sürecinde, embriyonun gelişimini yavaşlattığı veya durdurduğu, ancak canlılığını koruması gereken kritik bir evredir. Bu evredeki yönetim hataları, embriyonik ölümlerin artmasına ve civciv kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Keklik (*Alectoris chukar*) yetiştiriciliğinde, depolama ortamı sıcaklığının bu eşik değerin üzerine çıkması ($>21^{\circ}\text{C}$), embriyoda "pre-inkübasyon" (ön kuluçka) adı verilen süreci başlatır. İdeal kuluçka sıcaklığı (37.5°C) sağlanmadığı için, bu sıcaklıklarda başlayan hücre bölünmesi asimetrik ve düzensiz olur. Bu durum, kuluçka makinesine yükleme yapıldıktan sonraki ilk 48 saat içinde görülen "Erken Dönem Embriyo Ölümleri"nin temel nedenlerinden biridir (Çam ve ark., 2022a; Fasenko, 2007).

Depolama sıcaklığı, yumurta iç kalite parametrelerinin (Haugh birimi, albümin indeksi ve sarı indeksi) bozulma hızını belirleyen en önemli çevresel faktördür. Yüksek sıcaklık, yumurta kabuğundaki porlardan CO_2 kaybını hızlandırır. Tilki ve Saatci (2004) tarafından kaya kekliklerinde (*Alectoris graeca*) yapılan çalışmalarda da vurgulandığı üzere, CO_2 kaybı albümin pH'sını alkali seviyeye (pH 9.0 ve üzeri) çeker. Yüksek sıcaklıkta artan pH, albümin proteinleri arasındaki "ovomucin-lysozyme" kompleksini bozar. Bu durum albüminin sıvılaşmasına neden olur. Sıvılaşan albümin, yumurta sarısını (vitellüs) merkezde

tutma yeteneğini kaybeder. Sonuç olarak, yüksek sıcaklıkta depolanan yumurtalarda sarı yukarı doğru hareket ederek kabuk zarına yapışır ve embriyo, fiziksel korumasını kaybederek kurur veya enfeksiyona açık hale gelir.

Sıcaklık, yumurtadan su kaybını (ağırlık kaybı) doğrudan etkileyen bir katalizördür. Çam ve ark. (2022a), keklik yumurtalarında depolama süresi uzadıkça ağırlık kaybının arttığını tespit etmiştir. Eğer depolama sıcaklığı optimum değerlerin (14-16°C) üzerine çıkarsa, yumurta içi su buharı basıncı artar ve kabuk porlarından dışarıya su kaybı hızlanır. Dehidrasyona uğrayan (su kaybeden) bir yumurtada hava boşluğu gereğinden fazla büyür. Bu durum, civcivin çıkış pozisyonu almasını zorlaştırır ve geç dönem ölümlerine neden olur. Öte yandan, depolama sıcaklığının çok düşük olması (<10°C) ve ardından aniden oda sıcaklığına çıkarılması, yumurta kabuğunda "terleme"ye (yoğunlaşma) yol açar. Islanan kabuk, bakterilerin porlardan içeri girmesi için uygun bir zemin hazırlar ve yumurtanın bozulmasına neden olur.

Literatürdeki veriler (Woodard ve Morzenti, 1975; González-Redondo, 2010; Çam ve ark., 2022a) sentezlendiğinde, keklik yumurtaları için önerilen sıcaklık rejimleri; kısa süreli depolamada(<7 gün) embriyonun canlılığının yüksek olduğu ve 18-20°C sıcaklık yeterli olabileceği görülmektedir. Ayrıca sürdürülebilir kuluçka yönetimi sebebiyle kısa depolanan yumurtalarda daha düşük sıcaklıklar gereksiz enerji maliyetine yol açacaktır. Orta süreli depolamada (<21 gün) metabolik aktiviteyi baskılamak için sıcaklığın 15-16°C bandına çekilmesinin sürdürülebilir yönetim olarak uygun olacağı düşünülmektedir. Uzun süreli depolamada (>21 gün) ise hücresel bozulmayı minimize etmek için sıcaklığın 9-12°C bandında olması önem arz etmektedir.

2.2. Depolama Süresi

Kuluçkalık yumurtaların depolanması sırasında meydana gelen en temel fizyolojik değişim, yumurta akındaki (albümin) bozulmadır. Çam ve ark. (2022b), kınalı keklik yumurtaları üzerinde yaptıkları çalışmada, 21 günü aşan depolama sürelerinin kuluçka randımanını ciddi şekilde düşürdüğünü rapor etmiştir. Bu düşüşün fizyolojik nedeni, yumurta akındaki pH değişimi ve viskozite kaybı olduğu düşünülmektedir. Yumurta yumurtlandıktan sonra soğumaya başladığında, kabuk porlarından dışarıya karbondioksit (CO₂) çıkışı başlar. Bu durum, yumurta akı pH'sının 7.6 seviyelerinden 9.0-9.5 seviyelerine yükselmesine neden olur (Reijrink ve ark., 2008). Yüksek pH, albümin proteinlerinin yapısını bozarak "sıvılaşmaya" yol açar. Sıvılaşan albümin, vitellin membran (sarı zarı) üzerindeki koruyucu etkisini kaybeder ve sarı, kabuk zarına yaklaşıp yapışma riskiyle karşı karşıya kalır.

Keklik yumurtaları, tavuk yumurtalarına kıyasla uzun süreli depolamaya daha dirençli kabul edilmektedir. Keklik yumurtalarında kritik eşik değeri olarak 21 gün öne çıkmaktadır. Depolama süresi 21 günü aştığında, albümin yapısındaki bozulma hızlanmakta ve bu durum embriyonun gaz alışverişini ve besin maddesi kullanımını olumsuz etkilemektedir. Albümin yüksekliği ve Haugh birimi değerlerindeki bu düşüş, embriyonun erken dönemde ihtiyaç duyduğu viskoz ortamın kaybolmasına ve vitellin membranın (sarı zarı) zayıflamasına yol açarak embriyonik ölümleri tetikleyebilmektedir. Woodard ve Morzenti (1975) ile Günhan ve Kırıkçı (2017), keklik yumurtalarının 21, hatta 28 güne kadar tolere edilebilir kayıplarla depolanabileceğini belirtmiştir. Ancak Çam ve ark. (2022a), 21 günden sonra toplam yumurta ağırlık kaybının (depolama + kuluçka) istatistiksel olarak arttığını ve bunun da geç dönem embriyo ölümlerini tetiklediğini saptamıştır.

Depolama sürecinde yumurta kalitesini belirleyen bir diğer önemli parametre ağırlık kaybıdır. Yumurta kabuğundaki porlar aracılığıyla gerçekleşen su kaybı, depolama süresiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Çam ve ark. (2022a), keklik yumurtalarında depolama süresinin 7 günden 28 güne çıkmasıyla birlikte yumurta ağırlık kaybının progresif olarak arttığını rapor etmiştir. Özellikle 21 günü aşan depolamalarda toplam ağırlık kaybı (depolama + kuluçka dönemi) belirginleşmektedir. Aşırı su kaybı, kuluçka sırasında embriyonun dehidrasyona uğramasına neden olabilir. Ancak keklik yumurtaları, ağırlık kaybı konusunda belirli bir toleransa sahiptir. Yapılan çalışmalarda, 28 günlük depolama sonunda görülen ağırlık kaybının, depolamada yapılacak birkaç manipölasyonlarla embriyonik ölümlerde çok yüksek bir artışa neden olacak seviyelere ulaşmadığı, keklik yumurtalarının uzun süreli depolamaya karşı yapısal bir dirence sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu direnç, keklik yumurtasının kabuk yapısı ve por dağılımının, su kaybını minimize edecek şekilde evrimleşmiş olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Kuluçkalık yumurtaların depolanması, embriyonik gelişimin duraklatıldığı ve yumurta kalitesinin korunmaya çalışıldığı hassas bir süreçtir. Yapılan çalışmalar, depolama süresinin uzamasıyla birlikte yumurta ağırlık kaybının arttığını ve iç kalite parametrelerinin bozulduğunu göstermektedir. Çam ve ark. (2022b) tarafından kınalı keklik yumurtaları üzerinde yapılan çalışmada, 21 günü aşan depolama sürelerinde yumurta iç kalite özelliklerinin önemli ölçüde düştüğü saptanmıştır. Ancak literatürde, keklik yumurtalarının diğer kanatlı türlerine göre uzun süreli depolamaya daha dirençli olduğu bildirilmektedir. González-Redondo (2010), kırmızı ayaklı keklik yumurtalarının 28 güne kadar kuluçka özelliklerini koruyabildiğini, Tilki ve Saatci (2004) ise kaya kekliklerinde benzer direnç mekanizmalarının işlediğini rapor etmiştir.

Depolama süresinin uzaması, kuluçka süresini uzatmakta ve çıkış zamanlamasını değiştirmektedir. Çam ve ark. (2022a), 21 günü aşan depolamalarda kuluçka süresinin anlamlı derecede uzadığını rapor etmiştir. Bu durum, uzun süre "uykuda" (diapoz) kalan embriyonun metabolik faaliyetlerine yeniden başlaması ve gelişimi tamamlaması için daha fazla zamana ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

2.3. Yumurta Depolama Pozisyonu

Depolama sırasında yumurtanın pozisyonu kritik faktörlerdendir. Geleneksel kuluçka yönetiminde yumurtalar küt uç yukarı pozisyonunda depolanır. Ancak depolama süresi uzadığında (14 gün üzeri), bu pozisyon riskli hale gelebilir. Uzun süreli depolamalarda bu pozisyon, yumurta sarısının yukarı doğru hareket ederek hava boşluğuna ve kabuk zarına yapışma riskini artırır. Elibol ve Brake (2008), uzun süreli depolamalarda yumurtaların sivri uç yukarı saklanması, embriyonun hava boşluğuna ve kabuk zarına yapışmasını engelleyerek kuluçka randımanını artırdığını belirtmiştir. Çam ve ark. (2022b), yumurtaların sivri uç yukarı pozisyonunda depolanmasının, Haugh birimi ve albümin indeksi gibi kalite kriterlerini korumada daha etkili olduğunu saptamıştır. Sivri uç yukarı pozisyonunda depolanan yumurtalarda, yumurta sarısı albümin içinde daha merkezi bir konumda kalmakta, bu da embriyonik diskin kabuk zarıyla temasını ve dolayısıyla erken embriyo ölümlerini engellemektedir. Özellikle depolama süresinin 21 günü aştığı durumlarda, sivri uç yukarı pozisyonunda saklanması, iç kalitenin korunması açısından kritik önem taşımaktadır.

2.4. Depolamada Çevirme Sayısı

Ticari tavukçulukta depolama sırasında yumurta çevirmenin faydaları bilinmekle birlikte, kekliklerde bu konudaki veriler sınırlıdır. Çam ve ark. (2022a) ve (2022b) tarafından yürütülen çalışmalarda, keklik yumurtalarının günde 0, 1 ve 24

kez çevrildiği senaryolar test edilmiştir. Sonuçlar, çevirme işleminin yumurta iç kalite parametreleri (Haugh birimi, albümin indeksi) üzerinde istatistiksel olarak belirgin bir fark yaratmadığını göstermiştir. Sadece yumurta sarısı indeksi (yolk index), günde 24 kez çevrilen gruplarda daha yüksek bulunmuştur. Ancak kuluçka randımanı açısından bakıldığında durum farklılaşmaktadır. Depolama süresi 21 günü aştığında, hiç çevrilmeyen yumurtalarda kuluçka randımanının düştüğü ve erken embriyo ölümlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Günde en az bir kez yapılan çevirme işlemi, embriyonun taze albümin ile temasını sürdürmesini sağlayarak, koryoallantoik membranın gelişimini desteklemektedir. Bu nedenle, 21 günden daha kısa süreli depolamalarda çevirme elzem görülmesi de, uzun süreli depolamalarda (21-28 gün) çevirme uygulanması önerilmektedir.

Depolama süresi boyunca çevirme işlemi ve yumurta pozisyonunun etkilerini birlikte ele almakta fayda var. Çam ve ark. (2022b) tarafından yapılan çoklu faktöriyel deneme sonuçlarına göre; 21 günü aşan depolamalarda, sivri uç yukarı pozisyonunda tutulan ve günde en az bir kez çevrilen keklik yumurtalarında kuluçka randımanı, küt uç yukarı pozisyonundaki grubuna göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Bu durum sebebi şu olabilir: Yumurta sarısı, albüminden daha düşük özgül ağırlığa sahip olduğu için yukarı doğru hareket etme eğilimindedir. Eğer yumurta çevrilmezse veya yanlış pozisyonda uzun süre kalırsa, sarı yukarıdaki kabuk zarına yapışır. Bu durum, embriyonun gelişimi için gerekli olan besin maddesi transferini ve koryoallantoik membranın gelişimini engeller. Çevirme işlemi, sarının merkezde kalmasını sağlayarak taze albümin ile temasını sürdürür ve embriyonun kurumasını önlemektedir.

3. DAMIZLIK YAŞIN ETKİSİ

Kuluçka başarısını etkileyen faktörler sadece depolama koşulları ile sınırlı değildir. Damızlık sürünün yaşı, kuluçka performansını etkileyen bir diğer majör faktördür. Kanatlılarda yaşı ilerlemesiyle birlikte üreme performansında fizyolojik değişimler meydana gelir. Damızlık ebeveyn yaşı, yumurta iç ve dış kalite özelliklerini değiştirebilmekte, bu durum ise doğrudan embriyonik gelişim ve çıkış gücünü etkilemektedir.

Damızlık sürünün yaşı, elde edilen yumurtaların büyüklüğünü, kabuk kalitesini ve fertilite oranlarını doğrudan etkiler. Yaşlanan sürülerde genellikle yumurta ağırlığı artarken, kabuk kalitesinde ve fertilite oranlarında düşüşler gözlemlenebilir. Çam ve ark. (2024) tarafından yürütülen çalışmada, 1, 2 ve 3 yaşındaki kınalı keklıkların kuluçka performansı karşılaştırılmış ve yaşla birlikte fertilite (döllülük) oranında düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş, erkeklerde sperm kalitesinin azalması ve dişilerde sperm depolama tübüllerinin (SST) etkinliğinin kaybolması ile ilişkilendirilmektedir (Gumulka ve Kapkowska, 2005). Özellikle 3 yaşındaki sürülerde, çiftleşme sıklığının azalması ve kabuk kalitesindeki mikro düzeydeki bozulmalar, fertilite kaybının ana nedenleri olarak görülmektedir. Ayrıca, yaşı ilerlemesiyle birlikte geç dönem embriyo ölümlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış görülmektedir. Bu durum, yaşlı keklıkların yumurta kabuk kalitesindeki mikro düzeydeki bozulmaların, kuluçkanın son dönemindeki gaz alışverişini zorlaştırmasıyla ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde Mourão ve ark. (2010), kırmızı ayaklı keklıklarında yaşı ilerlemesiyle birlikte kuluçka randımanını etkilediğini ve verim parametrelerinin 2 yaş civarında optimize olduğunu belirtmiştir.

İlginç bir şekilde, fertilite düşerken, kuluçkadan çıkan civcivlerin kalitesi yaşla birlikte artış gösterme eğilimindedir. Tona ve ark. (2003) tarafından geliştirilen "Tona Skoru",

civcivlerin fiziksel kondisyonunu (aktivite, göbek kapanması, bacak durumu, göz parlaklığı vb.) 100 üzerinden puanlayan bir sistemdir. Çam ve ark. (2024) verilerine göre, 3 yaşındaki damızlık kekliklerden elde edilen civcivlerin Tona skorları, 1 ve 2 yaşındaki gruplara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum yaşlı sürülerin ekonomik değerini koruyabileceğini göstermiştir.

Bu paradoksun temelinde yumurta ağırlığı ve sarı oranı yatmaktadır. Yaşlı tavukların yumurtaları genellikle daha büyüktür ve oransal olarak daha fazla sarı (yolk) içerir. Büyük yumurta sarısı, embriyo için daha fazla enerji ve maternal antikor rezervi anlamına gelir. Bu durum, çıkan civcivin ilk hafta yaşama gücünü artırır ve daha dayanıklı olmasını sağlar. Mourão ve ark. (2010), kırmızı ayaklı kekliklerde en yüksek üreme kapasitesinin 2 yaşında görüldüğünü belirtse de, 3 yaşındaki sürülerin de "yüksek kaliteli civciv" üretimi için ekonomik değerini koruduğu söylenebilir.

4. SONUÇ

Kınalı keklik yetiştiriciliğinde kuluçka performansını optimize etmek için, depolama koşulları ve damızlık yönetimi stratejik bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Keklik yumurtaları, 21 güne kadar olan depolama sürelerine karşı yüksek bir dirence sahiptir. "Fizyolojik Sıfır" noktasının (21°C) altındaki sıcaklıklar korunmalı, depolama süresi uzadıkça ortam sıcaklığı kademeli olarak düşürülmeli, ancak terlemeye yol açacak ani ısı değişimlerinden kaçınılmalıdır. Yumurtalar 21 gün ve üzeri depolanacaksa sıcaklığın 10-12°C seviyelerine çekilmesinin sürdürülebilir kuluçka yönetimi açısından önem arz etmektedir. Eğer üretim planlaması gereği yumurtaların 21 günden fazla depolanması gerekiyorsa, yumurtalar mutlaka sivri uç yukarı pozisyonunda saklanarak depolanmalıdır. Ayrıca bu uzun süreçte günde en az 1 kez çevirme yapılması, embriyo ölümlerini

azaltmak ve kuluçka randımanını korumak için elzemdir. Damızlık sürünün yaşı ilerledikçe fertilite oranında düşüş yaşansa da, 3 yaşındaki sürülerden elde edilen civcivlerin kalitesi (Tona skoru) daha yüksektir. Bu nedenle işletmeler, sadece fertilite oranına odaklanarak sürüleri erken yaşta elden çıkarmamalı; yüksek kaliteli ve yaşama gücü yüksek civciv üretimi için 3 yaşındaki damızlıkları da üretimde tutma stratejisini değerlendirmelidir. Bu bulgular, geleneksel keklik kuluçka yöntemlerin (kısa süreli depolama, genç sürü kullanımı vb.) ötesine geçilerek, işletme koşullarına göre esnek ve verimlilik odaklı yeni protokollerin uygulanabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Çam, M., Kaya, Z. K., Güler, S., Harman, H., & Kırıkçı, K. (2022a). Influence of egg storage time, position and turning on egg weight loss, embryonic mortality and hatching traits in chukar partridge (*Alectoris chukar*). *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 1632-1641.
- Çam, M., Kaya, Z. K., Güler, S., Harman, H., & Kırıkçı, K. (2022b). Quality assessment of chukar partridge (*A. chukar*) eggs during different conditions (time, turning and position) of storage. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(2), 365-379.
- Cam, M., Samli, M. S., Kaya, Z. K., Harman, H., Bilir, A., & Kirikci, K. (2024). Effect of hen age on egg quality, hatching performance and chick quality in Chukar Partridges (*Alectoris chukar*). *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 40(1), 34-40.
- Decuypere, E., & Bruggeman, V. (2007). The endocrine interface of environmental and egg factors affecting chick quality. *Poultry Science*, 86(5), 1037-1042.
- Elibol, O., & Brake, J. (2008). Effect of egg position during three and fourteen days of storage and turning frequency during subsequent incubation on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science*, 87(6), 1237-1241.
- Fasenko, G. M. (2007). Egg storage and the embryo. *Poultry Science*, 86(5), 1020-1024.
- Gumulka, M., & Kapkowska, E. (2005). Age effect of broiler breeders on fertility and sperm penetration of the perivitelline layer of the ovum. *Animal Reproduction Science*, 90(1), 135-148.
- Günhan, S., & Kırıkçı, K. (2017). Effects of different storage time on hatching results and some egg quality characteristics of

- rock partridge (*A. graeca*). *Poultry Science*, 96(6), 1628-1634.
- Mourão, J., Barbosa, A., Outor-Monteiro, D., & Pinheiro, V. (2010). Age affects the laying performance and egg hatchability of red-legged partridges (*Alectoris rufa*) in captivity. *Poultry Science*, 89(11), 2494-2498.
- Reijrink, I. A. M., Meijerhof, R., Kemp, B., & van den Brand, H. (2008). The chicken embryo and its micro environment during egg storage and early incubation. *World's Poultry Science Journal*, 64(4), 581-598.
- Tilki, M., & Saatçı, M. (2004). Effects of storage time on external and internal characteristics in partridge (*Alectoris graeca*) eggs. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 155, 561-564.
- Tona, K., Bamelis, F., De Ketelaere, B., Bruggeman, V., Moraes, V. M., Buyse, J., Onagbesan, O., & Decuypere, E. (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry Science*, 82(5), 736-741.
- Woodard, A. E., & Morzenti, A. (1975). Effect of turning and age of egg on hatchability in the pheasant, chukar, and Japanese quail. *Poultry Science*, 54(5), 1708-1711.

TAYLARDA KRİTİK DÖNEM: DOĞUMDAN SÜTTEN KESİME KADAR KARŞILAŞILAN RİSKLER

Zahit Kutalmış KAYA¹

1. GİRİŞ

At yetiştiriciliği sektöründe ekonomik sürdürülebilirlik için öncelikle sağlıklı tayların doğumu ile başlayan sürecin yine bu tayların performans çağına sağlıklı bir şekilde ulaştırılmasına bağlıdır. Ancak literatür incelendiğinde, at yetiştiriciliğinin en büyük handikaplarından birinin yüksek neonatal mortalite oranları olduğu görülmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, doğan tayların %10 ile %15'inin süttten kesim yaşına gelmeden kaybedildiğini göstermektedir (Cohen, 1994). Bu kayıpların önemli bir kısmı; doğum sonrası (post-partum) ilk hafta içinde, özellikle de ilk 24-48 saatlik periyotta yoğunlaşmaktadır.

Kritik dönem olarak adlandırılan bu süreç; perinatal adaptasyon, immünolojik yetmezlikler, enfeksiyöz hastalıklar ve gelişimsel ortopedik bozuklukları kapsayan multifaktöriyel bir yapıya sahiptir. Tayın intrauterin hayattan ekstrauterin hayata geçişi, solunum ve dolaşım sistemlerinde radikal değişiklikleri zorunlu kılar. Ayrıca, tayların agammaglobulinemik (bağışıklık maddelerinden yoksun) olarak doğması, onları çevresel patojenlere karşı savunmasız bırakmakla birlikte kolostrum yönetimini de hayati bir parametre haline getirmektedir (Jeffcott, 1974).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Konya Ereğli Kemal Akman MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, ORCID: 0000-0002-7790-1689.

Bu bölümde, doğumdan süttten kesime kadar olan süreçte tayların karşılaştığı fizyolojik, patolojik ve yönetsmsel riskler; güncel literatür ışığında, neden-sonuç ilişkileri ve önleyici hekimlik perspektifiyle ele alınacaktır.

2. PERİNATAL DÖNEM VE ADAPTASYON SORUNLARI

Perinatal dönem, tayın intrauterin (rahim içi) yaşamdan ekstrauterin (dış dünya) yaşama geçişini kapsayan, fizyolojik mekanizmaların en hızlı ve dramatik şekilde değiştiği süreçtir. Bu süreç; sadece doğum anını değil, fetal hazırlık evresini ve doğum sonrası (post-partum) ilk 48 saati içine alır. Bu dönemde tayın solunum, kardiyovasküler, termoregülatör ve nörolojik sistemlerinin, plasental destek olmaksızın homeostaziyi sağlayacak yetkinliğe ulaşması gerekmektedir. Adaptasyon başarısızlığı, neonatal morbidite ve mortalitenin birincil nedenidir.

İntrauterin hayatta gaz değişimi plaseenta aracılığıyla sağlanırken; akciğerler sıvı ile doludur ve pulmoner vasküler direnç yüksektir. Doğumla birlikte göğüs kafesinin doğum kanalından geçerken sıkışması (*thoracic squeeze*), akciğerlerdeki sıvının atılmasına yardımcı olur. Ancak asıl kritik mekanizma, ilk solunumla birlikte akciğerlerin genişlemesi ve pulmoner vasküler direncin düşmesidir. Rossdale (1972) tarafından yapılan temel çalışmalarda, sağlıklı bir tayın doğumdan sonraki ilk 30 saniye içinde ritmik solunuma başlaması gerektiği vurgulanmıştır. Bu sürecin gecikmesi, hipoksi ve hiperkapniye (kanda karbondioksit artışı) yol açarak solunumsal asidoz tablosunu derinleştirir. Alveollerin açık kalmasını sağlayan "sürfaktan" maddesinin yetersizliği (özellikle prematüre taylarda), *Respiratorik Distress Sendromu* (RDS) riskini doğurur (Boyle, 2021; Stoneham, 1998). Kardiyovasküler sistemde ise, fetal dolaşım yollarının (Ductus

arteriosus ve Foramen ovale) kapanarak kanın akciğerlere yönlmesi hayati bir zorunluluktur.

Taylar, diğr birçok çiftlik hayvanının aksine, kahverengi yağ dokusundan (*brown adipose tissue*) yoksun olarak doğarlar. Bu durum, onları "titremesiz termogenez" (*non-shivering thermogenesis*) yeteneğinden mahrum bırakır. Yeni doğan tayların vücut ısını korumak için neredeyse tamamen iskelet kaslarının titremesine (*shivering*) bağımlı olduğunu kanıtlamıştır. Doğum anında vücut yüzeyi fetal sıvılarla ıslanan tay, buharlaşma yoluyla hızla ısı kaybeder. Eğer ortam sıcaklığı "term nötral zon"un altındaysa, tayın metabolik hızı ve oksijen tüketimine bağılı ciddi bir şekilde artar. Bu durum, zaten sınırlı olan enerji rezervlerinin (glikojen depoları) hızla tükenmesine ve hipoglisemiye neden olabilir. Hipotermi, tayın emme refleksini zayıflatarak bir kısır döngü başlatır (Ousey, 1997; Ousey, McArthur & Rosedale, 1997) .

Sağılıklı bir tayın nörolojik yetkinliği ve adaptasyon süreci, "1-2-3 Kuralı" olarak bilinen davranışsal kilometre taşları ile takip edilir:

1. Saat: Tayın ayağı kalkmış olması.
2. Saat: Emme refleksinin aktifleşmesi ve tayın annesini emmeye başlaması.
3. Saat: Mekonyumun (ilk dışkı) atılması ve plasentanın düşmesi.

Bu reflekslerin gecikmesi veya hiç şekillenmemesi, nörolojik bir hasarın habercisidir.

Literatürde "Barker Foal" veya "Dummy Foal" olarak da bilinen *Neonatal Maladjustment Sendromu* (NMS), perinatal dönemde yaşanan hipoksik-iskemik hasarlara (HIE) bağlanmaktadır. Ancak Madigan ve ark. (2012), bu sendromun patogeneğinde yeni bir teori ortaya koymuştur . Bu teoriye göre, fötal dönemde tayın sakın tutan nörosteroidlerin (sedatif etkili),

doğum kanalındaki basınç (*thoracic squeeze*) yeterli olmadığı durumlarda (sezaryen veya çok hızlı doğumlarda vs.) dolaşımdan temizlenememesi, tayın doğumdan sonra da "uyur durumda" kalmasına neden olmaktadır. Bu nörolojik depresyon; emme refleksinin kaybı, annesini tanıyamama ve amaçsız yürüme gibi semptomlarla karakterizedir.

Fötal dönemde yutulan amniyotik sıvı, dökülen epitel hücreleri ve salgılardan oluşan mekonyumun, doğumdan sonraki ilk saatlerde atılması gerekir. Hughes, Slone ve Brown (1996), mekonyum retensiyonunun (ilk dışkının atılamaması), neonatal kolik vakalarının en sık görülen nedeni olduğunu belirtmiştir. Anatomik yapıları gereği (pelvisin darlığı), erkek taylarda bu durum dişilere oranla daha sık görülür. Şiddetli ıkınma, sancı belirtileri ve sırt üstü yatma, klinik tablonun tipik özellikleridir. Mekonyumun atılamaması beslenmeyi durma noktasına getirmesinin yanında buna bağlı olarak pasif transfer yetmezliği riskini de ikincil olarak artırır.

Doğum eyleminin tamamlanmasıyla birlikte tay, homeostazisini kendi başına sağlamak zorundadır. Bu dönemdeki risklerin yönetimi; tayın ayağa kalkması, emmesi ve mekonyumu atması, temel reflekslerin sağlıklı ve doğru zamanlamayla şekillenmesine bağlıdır.

2.1. Pasif Transfer Yetmezliği (FPT)

At (*Equus caballus*) plasentası (plasenta epitelyokorialis), yapısı gereği büyük molekülü yapıya sahip immünoglobulinlerin (Ig) anne kanından fetusa geçişine izin vermez. Sonuç olarak, taylar doğduklarında agammaglobulinemik (kanda antikor bulunmayan) veya çok düşük seviyede immünoglobulin içeren bir immünolojik statüye sahiptirler. Bu durum, tayın enfeksiyöz ajanlara karşı savunmasız olmasına neden olur ve spesifik hüморal bağışıklığın kazanılması için kolostral (ağız sütü) yolla immünoglobulin G (IgG) alımını zorunlu kılar (Jeffcott, 1974).

Pasif transferin başarısı; kolostrumdaki IgG konsantrasyonuna, alınan kolostrum hacmine ve tayın ince bağırsağındaki emilim kapasitesine bağlıdır. Doğumdan sonraki ilk saatlerde, tayın ince bağırsak epitel hücreleri (enterositler), büyük protein moleküllerini "pinositoz" yoluyla parçalamadan (non-selektif olarak) absorbe etme yeteneğine sahiptir. Bu makromoleküller, lenfatik sisteme ve oradan da sistemik dolaşıma geçer. Bu emilim yeteneği zamana karşı son derece duyarlıdır. Absorbsiyon etkinliği doğumdan hemen sonra en üst seviyede olmasına rağmen 6. saatten itibaren hızla düşmeye başlar ve yaklaşık 18-24. saatlerde "bağırsak kapanması" (*gut closure*) adı verilen fenomen gerçekleşir. Jeffcott (1975) tarafından yapılan çalışmalarda, özelleşmiş enterositlerin yerini daha olgun ve geçirgen olmayan hücrelere bırakmasıyla makromoleküler transportun sona erdiği gösterilmiştir. Bu nedenle, ilk 6-8 saat, immünolojik korumanın sağlanması açısından "altın standart" zaman aralığıdır.

Literatürde en sık karşılaşılan ve en ölümcül sonuçları olan durum Pasif Transfer Yetmezliği'dir (FPT). FPT, tayın doğumdan sonraki ilk 18-24 saat içinde yeterli miktarda kaliteli kolostrum alamaması veya bağırsak emiliminin yetersiz olması sonucu, serum IgG düzeyinin kritik seviyenin altında kalmasıdır (McGuire, Crawford, Hallowell, & Macomber, 1977). FPT'li taylarda sepsis gelişme riski yeterli pasif transfer alan taylara göre belirgin şekilde yüksektir. Sanchez (2005) tarafından yapılan derlemede, neonatal sepsisin tay ölümlerinin ana nedeni olduğu ve FPT'nin buna zemin hazırlayan en önemli predispozan faktör olduğu vurgulanmıştır.

Pasif transferin yeterliliği, tayın serum IgG düzeyinin ölçülmesiyle değerlendirilir. Literatürde kabul gören sınıflandırma şu şekildedir (McGuire, Crawford, Hallowell, & Macomber, 1977):

- Yeterli Pasif Transfer: Serum IgG > 800 mg/dL.
- Kısmi (Parsiyel) Pasif Transfer Yetmezliği: Serum IgG 400 – 800 mg/dL arası.
- Tam Pasif Transfer Yetmezliği (FPT): Serum IgG < 400 mg/dL.

Pasif transfer yetmezliği multifaktöriyel bir sorundur ve üç ana kategoride incelenebilir:

A. Kısırak kaynaklı faktörler:

Düşük kolostrum kalitesi: Kısırağın kolostrumundaki IgG konsantrasyonunun düşük olmasıdır. Kaliteli bir kolostrumun özgül ağırlığının >1.060 olması beklenir. Özellikle yaşlı kısıraklarda veya gebelik süresi kısa sürenlerde kalite düşebilir.

Erken Laktasyon (Süt akıtma): Doğumdan günler veya haftalar önce süt bezlerinden süt akmaya başlaması (galaktore), kolostrumun ziyan olmasına ve doğumdan hemen sonra taya verilmesi gereken sütün kalite açısından noksan olmasına neden olur.

B. Tay kaynaklı faktörler:

Prematürite/Dismatürite: Tayın emme refleksinin zayıf olması veya ayağa kalkamaması.

Mekonyum retensiyonu veya konformasyon bozuklukları: Tayın fiziksel olarak anneyi emmesini engelleyen durumlar.

C. Yönetimsel faktörler:

Doğumun kontrol dışında gerçekleşip gözden kaçırılması ve tayın ilk emişinin gecikmesidir.

FPT, tek başına bir hastalık değil, tayı sepsisemi, septik artrit, pnömoni ve enterit gibi yaşamı tehdit eden durumlara yatkın hale getiren bir risk faktörüdür. Retrospektif analizde,

sepsis tanısı konulan tayların büyük çoğunluğunda altta yatan nedenin FPT olduğu saptanmıştır. Yeterli IgG seviyesine sahip olmayan taylarda bakteriyel klirens (bakterilerin kandan temizlenmesi) yetersiz kalır, bu da fırsatçı patojenlerin (*E. coli*, *Streptococcus spp.*, *Actinobacillus spp.*) hızla çoğalmasına ve septik şoka yol açmasına zemin hazırlar (Lester, 2011; Schneider ve Wehrend, 2019).

2.2. Neonatal İzoeitrolizis (Kan Uyuşmazlığı-NI)

Neonatal izoeitrolizis (NI), yeni doğan taylarda görülen, kolostral antikorların neden olduğu alloimmün hemolitik bir anemidir. Neonatal izoeitrolizis, immünolojik bir yıkım hastalığıdır. Kısrağın, kendi kan grubunda bulunmayan bir antijene karşı antikor üretmesi ve bu antikorları kolostrum yoluyla taya aktarmasıyla şekillenir. Tay, bu kolostrumu emdiğinde, anneden gelen antikorlar tayın eritrositlerine saldırarak hemolize neden olur. (Boyle, Magdesian, & Aleman, 2005; Polkes ve ark., 2008). Klinik tablo genellikle doğumdan sonra gelişen sarılık, anemi ve letarji ile karakterizedir.

Atların kan grubu sistemleri oldukça karmaşıktır. Literatürde tanımlanmış 7 ana kan grubu sistemi (A, C, D, K, P, Q, U) ve 30'dan fazla eritrosit antijeni bulunmaktadır. Ancak NI vakalarının %90'ından fazlasından sorumlu olan iki majör antijen Aa ve Qa faktörleridir (Bailey, 1982; Felipe, 2017; Stormont, 1975).

Patogenez süreci şu aşamalarla gerçekleşir:

Duyarlılaşma (Alloimmünizasyon): Aa-negatif veya Qa-negatif bir kısrağ, Aa/Qa-pozitif bir aygırdan gebe kalır. Gebeliğin son dönemlerinde plasental bariyerdeki mikro sızıntılar veya önceki doğumlardaki kanamalar nedeniyle fetal eritrositler anne dolaşımına geçer.

Antikor Üretimi: Kısrağın bağışıklık sistemi bu "yabancı" antijenlere karşı yüksek titrede hemolizin ve aglütinin karakterinde antikorlar üretir. Bu antikorlar gebeliğin son 2-3 haftasında kolostrumda yoğunlaşır.

Pasif Transfer ve Hemoliz: Tayın doğduğunda kolostrumu almasıyla beraber bağırsaktan emilen antikorlar tayın kan dolaşımına geçip eritrosit yüzeyindeki antijenlere bağlanır ve eritrositlerin parçalanmasına (hemoliz) neden olur.

Stormont (1975), özellikle Aa antijenine karşı gelişen alloimmünizasyonun daha şiddetli ve ölümcül seyretme eğiliminde olduğunu; Qa antijenine bağlı vakaların ise daha yavaş seyirli (subakut) olabileceğini belirtmiştir.

Klinik belirtiler, tayın aldığı antikor miktarına ve antikorların hemolitik potansiyeline bağlı olarak doğumdan sonraki 12 ila 96 saat içinde ortaya çıkar. Tay doğumda tamamen normaldir.

Akut Dönem: En belirgin bulgu, mukozalarda ve sklerada görülen şiddetli sarılıktır (İkterus).

Anemi ve Hipoksi: Hemolize bağlı eritrosit sayısı düşer, dokulara oksijen taşınması bozulur. Tayda taşikardi (kalp atım hızının artması), taşipne (solunum sayısının artması) ve belirgin bir letarji (uyku hali) gözlenir.

Hemoglobinüri: İntravasküler hemolizin olduğu şiddetli vakalarda, serbest kalan hemoglobin böbreklerden süzülür ve idrar "kırmızı şarap" veya "çay rengi"ni alır.

Boyle, Magdesian ve Aleman (2005) tarafından yapılan retrospektif çalışmada, NI tanısı konan taylarda nörolojik bulguların da gelişebileceği (Kernikterus: bilirubinin beyin bariyerini geçip nöronlara zarar vermesi) ve bunun prognozu kötüleştirdiği rapor edilmiştir.

3. NEONATAL DÖNEM ENFEKSİYÖZ RİSKLER (0-1 AY)

Neonatal dönemde morbidite ve mortalitenin en önemli bileşeni enfeksiyöz hastalıklardır. Tayın immünolojik olarak zayıf olması, mukoza bariyerlerinin geçirgenliği ve çevresel patojen yükü bu dönemi kritik kılar. Enfeksiyonlar genellikle lokalize (örn. omfaloflebit) başlayıp hızla sistemik hale (sepsis) dönüşme eğilimindedir.

3.1. Neonatal Sepsis (Septisemi)

Neonatal sepsis, bakterilerin veya bakteriyel toksinlerin kan dolaşımına karışmasıyla tetiklenen sistemik inflamatuvar yanıt sendromudur (SIRS). At hekimliğinde neonatal ölümlerin en önemli nedenidir.

Taylarda sepsisin en yaygın giriş kapıları gastrointestinal sistem (translokasyon yoluyla), solunum sistemi ve göbek kordonudur (umbilicus). Özellikle Pasif Transfer Yetmezliği (FPT) olan taylarda, bağırsak bariyerini aşan bakteriler hızla dolaşıma katılır. Sepsis vakalarından izole edilen etkenlerin büyük çoğunluğu Gram-negatif bakterilerdir. *Escherichia coli*, en sık izole edilen patojen olup, onu *Actinobacillus* spp., *Klebsiella pneumoniae* ve *Salmonella* spp. izler. Gram-pozitif etkenlerden ise *Streptococcus* spp. ve *Enterococcus* spp. sıklıkla görülür (Corley & Furr, 2003).

Erken tanı hayati önem taşır ancak klinik belirtiler başlangıçta non-spesifiktir (emme isteksizliği, letarji, ateş veya hipotermi). Hastalığın ilerleyen aşamalarında septik şok, çoklu organ yetmezliği ve septik artrit (eklem enfeksiyonu) gelişir. Tanısal doğruluğu artırmak için Brewer ve Koterba (1988) tarafından geliştirilen "Sepsis Skoru" altın standart olarak kabul edilir. Bu skorlama sisteminde; nötrofil sayısı, band nötrofil varlığı, toksik değişiklikler, fibrinojen düzeyi, hipoglisemi ve IgG

düzeyi gibi parametreler puanlanarak sepsisin olasılığı hesaplanır.

3.2. Solunum Yolu Enfeksiyonları ve *Rhodococcus equi*

Neonatal dönemde solunum sistemi, çevresel toz, amonyak ve patojenlere karşı hassastır. Viral (EHV-1/4, Influenza) ve bakteriyel (*Streptococcus zooepidemicus*) etkenler pnömoniye neden olabilir. Ancak bu başlığın en özgün ve ekonomik önemi en yüksek hastalığı *Rhodococcus equi* pnömonisidir.

Rhodococcus equi, fakültatif hücre içi bir patojendir. Taylar bu bakteriyi genellikle yaşamlarının ilk günlerinde veya haftalarında (0-1 ay), kontamine zeminden alırlar. Özellikle 1-6 aylık taylarda görülen *Rhodococcus equi*, süpüratif bronkopnömoni ve akciğer apselerine neden olan önemli bir patojendir. Hastalığın sinsi bir şekilde seyretmesi ve klinik belirtiler ortaya çıktığında akciğer hasarının artık ileri boyutta olması prognozu kötüleştirir. *R. equi* enfeksiyonlarının kontrolü ve önlenmesi, haralarda hijyen yönetiminin sağlanmasına ve erken teşhis prosedürlerinin titizlikle uygulanmasına dayanır (Giguère ve ark., 2011).

3.3. Neonatal Diyare (İshal)

İshal, neonatal dönemde en sık karşılaşılan klinik sorundur. Doğumdan sonraki 7-10. günlerde görülen ve hormonal değişikliklere bağlanan fizyolojik "Tay Kızgınlığı İshali"nin (*Foal Heat Diarrhea*) aksine, enfeksiyöz ishaller ciddi dehidratasyon ve elektrolit kaybına neden olur. Taylarda ishal, morbiditenin en yaygın nedenlerinden biridir. İlk hafta görülen fizyolojik ishallerin yanı sıra; Rotavirus, *Salmonella* spp. ve *Clostridium* türleri kaynaklı enfeksiyöz ishaller hayati risk taşır. Frederick, Giguere ve Sanchez (2009) tarafından yapılan retrospektif çalışmada, ishalleri tayların dışkılarında saptanan

enfeksiyöz ajanların çeşitliliği ve bu ajanların yol açtığı sistemik etkiler detaylandırılmıştır.

At Rotavirusü, taylarda viral enteritin bir numaralı nedenidir. İnce bağırsak villus uçlarındaki emici (absorptif) enterositleri hedef alarak villus atrofisine ve malabsorbsiyona neden olur. Bu durum, lümen içine sıvı çekilmesine (ozmotik ishal) yol açar. Yüksek bulaşıcılığı nedeniyle haralarda salgınlar şeklinde seyrederek ciddi ekonomik kayıplara yol açabilir. Dwyer ve ark. (1991), rotavirus enfeksiyonlarının morbiditesinin yüksek (%50'ye varan), ancak destekleyici tedavi ile mortalitesinin düşük olduğunu belirtmiştir.

Clostridium perfringens (Tip A ve C) ve *Clostridium difficile*, nekrotizan enterokolite yol açan en önemli anaerob bakterilerdir. Özellikle *C. perfringens* Tip C, beta-toksin salgılayarak şiddetli hemorajik (kanlı) ishale ve şok tablosuna neden olur; prognozu genellikle kötüdür (East ve ark., 1998). *Salmonella* enfeksiyonları ise sadece ishal ile sınırlı kalmaz, translokasyon ile sepsise ve septik artrite dönüşme riski taşır.

4. BÜYÜME VE GELİŞİMSEL ORTOPEDİK HASTALIKLAR (DOD)

Büyüme dönemi, tayın genetik potansiyelini fenotipik performansa dönüştürdüğü en kritik evredir. Ancak bu dönem, iskelet sisteminin hızlı gelişimi nedeniyle "Gelişimsel Ortopedik Hastalıklar" (*Developmental Orthopaedic Disease* - DOD) riskini de beraberinde getirir. İlk kez 1986 yılında Amerikan At Hekimleri Birliği (AAEP) tarafından tanımlanan DOD terimi; osteokondrozis, fizitis (büyüme plağı yangısı), açısız bacak deformiteleri (ALD) ve fleksör tendon deformitelerini kapsayan genel bir şemsiye terimdir (Jeffcott, 1991).

Bu hastalıklar kompleksi, ekonomik değeri yüksek tayların henüz yarış veya spor hayatına başlamadan "ıskarta" edilmesine neden olan en önemli faktörlerden biridir. Bu grubun en önemli üyesi Osteokondrozis'tir.

4.1. Beslenme ve DOD İlişkisi

Osteokondrozis (OCD), eklem kıkırdağının kemikleşme sürecindeki (endokondral ossifikasyon) bir bozukluktur. Jeffcott (1991), bu durumun patogeneğinde genetik faktörlerin, hızlı büyümenin ve beslenme dengesizliklerinin kritik rol oynadığını belirtmiştir. Özellikle yüksek enerjili diyetlerin ve mineral dengesizliklerinin, kıkırdak matürasyonunu bozarak lezyonlara zemin hazırladığı bilinmektedir. Savage, McCarthy ve Jeffcott (1993) tarafından yürütülen araştırmada, yüksek enerjili diyetle beslenen taylarda osteokondroz lezyonlarının prevalansının arttığı gösterilmiştir.

Sağlıklı bir tayın, epifiz kıkırdağı düzenli bir şekilde mineralize olarak kemik dokusuna dönüşmelidir. Ancak patolojik süreçte, kıkırdak hücrelerinin (kondrositlerin) farklılaşması ve olgunlaşması bozulur. Bunun sonucunda, kemiğe dönüşemeyen kalınlaşmış bir kıkırdak tabakası oluşur. Bu kalınlaşmış kıkırdak, subkondral kemikten gelen beslenmeyi alamaz (kıkırdağın kendi damarı yoktur, difüzyonla beslenir) ve nekroze olur. Bu nekrotik kıkırdak parçasının altındaki kemikten ayrılarak eklem boşluğuna düşmesi durumuna "*Osteokondrozis Dissekans*" (OCD) adı verildiği belirtilmiştir. Bu serbest parçalar (eklem faresi), eklemde yangıya (sinovitis), ağrıya ve performansı sınırlayan topallıklara neden olur. En sık etkilenen bölgeler *Articulatio metacarpophalangea*, *Articulatio metatarsophalangea*, *Carpal* ve *Tarsal*'dir (Jeffcott, 1991; Martinez-Saez ve ark., 2025; Martinez-Saez ve ark., 2024; McIlwraith ve ark., 2015).

Güncel literatür protein fazlalığının değil, enerji fazlalığının (kalori) DOD gelişiminde birincil neden olduğunu

kanıtlamıştır. Savage, McCarthy ve Jeffcott (1993) tarafından yürütülen seminal çalışmada, taylara ihtiyacının %129'u oranında yüksek enerjili diyet (özellikle nişasta/tahıl ağırlıklı) verildiğinde, osteokondrozis lezyonlarının belirgin şekilde arttığı saptanmıştır. Mekanizma, "glisemik indeks" ile açıklanmaktadır. Yüksek nişastalı yemler, kan glukozunda ve dolayısıyla insülin seviyesinde ani artışlara (hiperinsülinemi) neden olur. İnsülin ve İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-1 (IGF-1), kondrositlerin normal matürasyonunu bozarak kıkırdak retensiyonuna zemin hazırlar. Aynı çalışmada (Savage ve ark., 1993), yüksek proteinli rasyonların (enerji dengeli olduğu sürece) tek başına DOD riskini artırmadığı, aksine kas ve iskelet gelişimi için gerekli olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla gelişim bozukluklarını tetikleyen unsur protein fazlalığı değil; kontrolsüz karbonhidrat yüklemesine bağlı enerji dengesizliğidir.

Kıkırdak matriksinin ve kollajen liflerinin sağlamlığı, iz elementlere bağımlıdır. Bakır, kollajen ve elastin liflerinin çapraz bağlanmasını sağlayan Lizil Oksidaz enziminin kofaktörüdür. Hurtig ve ark. (1993) tarafından yapılan çalışmada, bakır eksikliği olan taylarda kıkırdak kalitesinin düştüğü, subkondral kemik lezyonlarının ve kıkırdak çatlaklarının daha sık görüldüğü tespit edilmiştir. Kısırakların gebeliğin son döneminde ve tayların büyüme döneminde yeterli bakır alması, biyomekanik olarak sağlam bir eklem yapısı için zorunludur. Çinko ve bakır, bağırsak emilimi sırasında aynı reseptörler için yarışır. Aşırı çinko alımı, bakır emilimini bloke ederek sekonder bakır eksikliğine ve buna bağlı DOD vakalarına yol açabilir (Bridges & Harris, 1988).

Yetiştiricilikte arzulanan "erken gelişen, iri tay" modeli, fizyolojik sınırları zorlar. "Telafi Edici Büyüme" (*Compensatory Growth*), beslenme yetersizliği veya hastalık nedeniyle büyümesi duraklayan bir tayın, iyileşme döneminde aşırı beslenerek hızla kilo almasıdır. Bu ani büyüme atakları, henüz tam kemikleşmemiş (immatür) büyüme plaklarına ve eklem

yüzeylerine aşırı mekanik yük bindirir. Büyüme eğrisindeki bu ani sapmaların iskelet sistemi üzerinde travmatik etki yarattığını ve fizitis/OCD riskini artırdığını vurgulamıştır (Knottenbelt ve ark., 2004; Lepeule ve ark, 2008; Vertenten ve ark., 2010).

5. SÜTTEN KESİM (WEANING) STRESİ VE YÖNETİMİ

Doğal ortamlarında atlar, bir sonraki tayın doğumuna yakın bir zamana kadar (yaklaşık 10-12 ay) taylarını emzirmeye devam ederler ve ayrılma süreci kademeli olarak gerçekleşir. Ancak modern at yetiştiriciliğinde, kısrağın reproduktif verimliliğini korumak ve tayın büyümesini standardize etmek amacıyla süttten kesim, genellikle 4. ile 6. aylar arasında yapay ve aniden (abrupt) gerçekleştirilir. Bu yönetsel müdahale, tay üzerinde akut fizyolojik ve psikolojik stres yaratarak immünosupresyona (bağışıklık baskılanmasına) ve gelişme geriliğine zemin hazırlar.

Süttten kesimle birlikte süt kaynaklı yüksek kaliteli protein ve yağ alımı aniden kesilir. Tay, enerji ihtiyacını karşılamak için tamamen kaba yem ve kesif yeme (konsantre yem) bağımlı hale gelir. Eğer tayın sindirim sistemi bu değişime önceden hazırlanmamışsa, "süttten kesim sonrası büyüme duraklaması" kaçınılmazdır. Bu riski minimize etmek için "*Creep Feeding*" (Alıştırma Yemlemesi, Başlangıç Yemi) stratejisi uygulanır. Bu yöntem, sadece tayın kullanabileceği darlıkta girişı olan özel yemlikler kullanılarak, tayın henüz anneyi emerken (genellikle 2-3. aydan itibaren) katı yeme alıştırılması prensibine dayanır. Yapılan araştırmalar, süttten kesimden önce düzenli olarak alıştırma yemi tüketen tayların, süttten kesim sonrası stres döneminde yem tüketimlerini koruduklarını ve ağırlık kaybı yaşamadıklarını göstermektedir (Becvarova ve Buechner-Maxwell, 2012; Coleman, Mathison, & Burwash, 1999). Ayrıca

bu adaptasyon, ince bağırsaktaki amilaz ve maltaz enzim aktivitelerinin artmasını sağlayarak nişasta sindirimini optimize eder.

Sütten kesim süreci, tayın hayatındaki en stresli dönemlerden biridir. Bu süreçte hem rasyon değişikliği hem de anneden ayrılmanın yarattığı psikolojik baskı stresin asıl kaynağıdır.

5.1. Stres ve Davranışsal Etkileri

Anneden ayrılma stresi, plazma kortizol düzeylerinde artışa ve bağışıklık sisteminin baskılanmasına neden olabilir. Moons, Laughlin ve Zanella (2005), sütten kesim yöntemlerinin (ani veya kademeli) tayların davranışı ve fizyolojisi üzerindeki etkilerini incelemiş ve stresin minimize edilmesinin önemini vurgulamıştır.

Sütten kesim stresi, hipotalamo-hipofizer-adrenal (HPA) eksenini aktive ederek plazma kortizol konsantrasyonlarında ani ve belirgin bir artışa neden olur. Moons, Laughlin ve Zanella (2005) tarafından yapılan çalışmada, sütten kesilen tayların vokalizasyon (kişneme) ve lokomasyon (amaçsız yürüme/koşma) davranışlarında dramatik bir artış olduğunu, buna paralel olarak lenfosit proliferasyonunun (bağışıklık hücresi çoğalması) baskılandığı gösterilmiştir. Bu immünosupresyon penceresi, tayları *Streptococcus equi* (Sakağı) ve solunum yolu virüsleri gibi enfeksiyonlara karşı savunmasız bırakır.

Stresin boyutu, kullanılan sütten kesim yöntemi ile doğrudan ilişkilidir. McCall ve ark. (1987), tayların annelerini görebildikleri ancak temas edemedikleri "çit arkası" (fence-line) ayırma yönteminin, tam izolasyon (total separation) yöntemine göre daha az stres yarattığını ve kortizol seviyelerinin daha hızlı normale döndüğünü kanıtlamıştır.

Tavla kusuru olarak da bilinen stereotipik davranışların (yutma, sallanma vb.) kökeni genellikle süttten kesim dönemine dayanır. Waters, Nicol ve French (2002) tarafından yürütölen epidemiyolojik çalışma, süttten kesim sırasında aniden ahıra kapatılan, sosyal izolasyona maruz kalan ve yüksek oranda kesif yemle beslenen taylarda "cribbing" (hava yutma) davranışının gelişme riskinin anlamlı derecede yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, süttten kesim sonrası grup barındırma (sosyalizasyon) ve bol kaba yem temini, etolojik refah açısından zorunludur.

5.2. Mide Ülserleri (EGUS)

Süttten kesim stresi ve beslenme değışikliği, *Equine Gastric Ulcer Syndrome* (EGUS) riskini artırır. Yetişkin atlarda daha çok glandöler olmayan (skuamöz) mukozada görölen ülserler, süttten kesilen taylarda stres ve beslenme değışikliğine bağılı olarak çok hızlı gelişir. Süttten kesilen taylarda mide ülseri prevalansını inceledikleri çalışmada, stres faktörlerinin ve yem değışikliklerinin mide mukozası üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur. Artan kortizol seviyeleri; mide mukozasındaki koruyucu prostaglandin sentezini azaltarak mukozal kan akışını bozar. Süt, mide asidini nötralize eden doğal bir tampon görevi görür. Süttten kesilen tayın yem tüketiminin düşmesi durumunda, mide boş kalır ve hidroklorik asit (HCl) sürekli salgılanmaya devam eder. Asit, boş midede hassas skuamöz mukozaya temas ederek erozyon ve ülserlere neden olur. Bu taylarda klinik olarak; iştahsızlık, tüy yapısında bozulma, hafif kolik belirtileri ve diş gıcırdatma gözlemlenir (Bishop, 2021; Vokes ve ark., 2023).

6. SONUÇ

At yetiştiriciliğı sektöründe ekonomik kârlılık ve sportif başarı, genetik potansiyelin sahaya tam anlamıyla yansıtılabilmesi ile mümkündür; bu da ancak sağılıklı bir tayın

yetiştirilmesiyle gerçekleşebilir. Bu kitap bölümünde detaylandırılan "doğumdan süttten kesime kadar olan süreç", atın yaşam döngüsündeki en kırılğan halkayı oluşturmaktadır. Literatür verileri ve klinik tecrübeler ışığında, tay kayıplarının "kader" olmaktan ziyade, büyük ölçüde yönetilebilir risklerden kaynaklandığı görölmektedir.

Neonatal dönemin yönetimi, "koruyucu hekimlik" prensibi üzerine inşa edilmelidir . Tayın hayatta kalması için en kritik eşik olan pasif transferin başarısı, sadece doğum anına değil, kısırağın aşılınması ve beslenmesini de kapsayan gebelik dönemine bağılıdır. Pasif Transfer Yetmezliği (FPT), taylarda görölen sepsis ve buna bağılı ölümlerin en temel predispozan faktörü olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, doğumdan sonraki ilk 12-24 saat içinde IgG düzeylerinin tespiti ve kolostrum kalitesinin kontrolü, modern at hekimliğinin vazgeçilmez bir standardı olmalıdır.

Büyüme dönemindeki riskler incelendiğinde, yetiştiricilikteki geleneksel "hızlı büyüme" arzusunun, iskelet sistemi sağığı (DOD) üzerinde yıkıcı etkileri olduğı anlaşılmaktadır. Protein odaklı endişelerin yerini, enerji (karbonhidrat) dengesinin ve mineral (bakır/çinko) optimizasyonunun alması gerektiğı bilimsel bir gerçektir. Osteokondrozis (OCD) gibi gelişimsel hastalıkların önlenmesinde, genetik seleksiyon kadar, kontrollü büyüme eğrilerinin takibi ve glisemik indeksi düşük rasyonların tercih edilmesi hayati önem taşır.

Son olarak, süttten kesim süreci, sadece bir rasyon değışikliği değil, tayın immünolojik ve psikolojik direncini kıran majör bir stres faktörü olarak ele alınmalıdır. Mide ülserleri (EGUS) ve stereotipik davranış bozukluklarının kökeninin bu döneme dayandığı unutulmamalıdır. "Kademeli Ayırma" ve "Alıştırma Yemlemesi" gibi stres azaltıcı stratejilerin

uygulanması, tayın refahını artırarak gelecekteki performansını koruyacaktır.

KAYNAKÇA

- Bailey, E. (1982). Prevalence of anti-red blood cell antibodies in the serum and colostrum of mares and its relationship to neonatal isoerythrolysis. *American journal of veterinary research*, 43(11), 1917-1921.
- Becvarova, I., & Buechner-Maxwell, V. (2012). Feeding the foal for immediate and long-term health. *Equine veterinary journal*, 44, 149-156.
- Bishop, R. C. (2021). Factors influencing development and outcome of equine gastrointestinal disease (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
- Boyle, A. G. (2021). Respiratory distress in the adult and foal. *Veterinary Clinics: Equine Practice*, 37(2), 311-325.
- Boyle, A. G., Magdesian, K. G., & Aleman, M. (2005). Neonatal isoerythrolysis in horse foals and a mule foal: 18 cases (1988–2003). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 227(8), 1276-1283.
- Brewer, B. D., & Koterba, A. M. (1988). Development of a scoring system for the early diagnosis of equine neonatal sepsis. *Equine Veterinary Journal*, 20(1), 18-22.
- Bridges, C. H., & Harris, E. D. (1988). Experimentally induced cartilaginous fractures (osteochondritis dissecans) in foals fed low-copper diets. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 193(2), 215-221.
- Cohen, N. D. (1994). Causes of and farm management factors associated with disease and death in foals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 204(10), 1644-1651.
- Coleman, R. J., Mathison, G. W., & Burwash, L. (1999). Growth and condition at weaning of extensively managed creep-

- fed foals. *Journal of Equine Veterinary Science*, 19(1), 45-50.
- Corley, K. T., & Furr, M. O. (2003). Evaluation of a score designed to predict sepsis in foals. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 13(3), 149-155.
- Dwyer, R. M., Powell, D. G., Roberts, W., Donahue, M., Lyons, E. T., Osborne, M., & Woode, G. (1991). A study of the etiology and control of infectious diarrhea among foals in central Kentucky.
- East, L. M., Savage, C. J., Traub-Dargatz, J. L., Dickinson, C. E., & Ellis, R. P. (1998). Enterocolitis associated with *Clostridium perfringens* infection in neonatal foals: 54 cases (1988–1997). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 212(11), 1751-1756.
- Felippe, J. B. (2017). Equine Neonatal Isoerythrolysis. *Interpretation of Equine Laboratory Diagnostics*, 251-255.
- Frederick, J., Giguere, S., & Sanchez, L. C. (2009). Infectious agents detected in the feces of diarrheic foals: a retrospective study of 233 cases (2003–2008). *Journal of veterinary internal medicine*, 23(6), 1254-1260.
- Giguère, S., Cohen, N. D., Chaffin, M. K., Slovis, N. M., Hondalus, M. K., Gardiner, S. A., & Prescott, J. F. (2011). Diagnosis, treatment, control, and prevention of infections caused by *Rhodococcus equi* in foals. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 25(6), 1209-1220.
- Hughes, F. E., Slone, D. E., & Brown, C. M. (1996). Retrospective study of the diagnosis, treatment, and outcome of meconium impactions in foals. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 6(4), 182-188.

- Hurtig, M., Green, S. L., Dobson, H., Mikuni-Takagaki, Y., & Choi, J. (1993). Correlative study of defective cartilage and bone growth in foals fed a low-copper diet. *Equine Veterinary Journal*, 25(16), 66-73.
- Jeffcott, L. B. (1974). Some practical aspects of the transfer of passive immunity to newborn foals. *Equine Veterinary Journal*, 6(3), 109-115.
- Jeffcott, L. B. (1975). The transfer of passive immunity to the foal and its relation to veterinary practice. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, (23), 727-733.
- Jeffcott, L. B. (1991). Osteochondrosis in the horse-searching for the key to pathogenesis. *Equine Veterinary Journal*, 23(5), 331-338.
- Knottenbelt, D. C., Holdstock, N., & Madigan, J. E. (2004). *Equine Neonatal Medicine and Surgery E-Book: Medicine and Surgery*. Elsevier Health Sciences.
- Lepeule, J., Bareille, N., Valette, J. P., Seegers, H., Jacquet, S., Denoix, J. M., & Robert, C. (2008). Developmental orthopaedic disease in limbs of foals: between-breed variations in the prevalence, location and severity at weaning. *animal*, 2(2), 284-291.
- Lester, G. D. (2011). Colostrum: assessment of quality and artificial supplementation. *Equine Reproduction*; McKinnon, AO, Squires, EL, Vaala, WE, Varner, DD, Eds, 342-345.
- Madigan, J. E., Haggett, E. F., Pickles, K. J., Conley, A., & Aleman, M. (2012). Allopregnanolone infusion induced neurobehavioural alterations in a neonatal foal: is this a clue to the pathogenesis of neonatal maladjustment syndrome? *Equine Veterinary Journal*, 44(S41), 109-112.

- Martinez-Saez, L., Marín-García, P. J., & Llobat, M. L. (2025). Osteochondrosis in horses: An overview of genetic and other factors. *Equine Veterinary Journal*.
- Martinez-Saez, L., Marín-García, P. J., & Llobat, L. (2024). Osteochondrosis in horses: a review of non-genetic and genetic factors associated.
- McCall, C. A., Potter, G. D., Kreider, J. L., & Jenkins, W. L. (1987). Physiological responses in foals to weaning methods. *Equine Veterinary Science*, 7(6), 368-373.
- McGuire, T. C., Crawford, T. B., Hallowell, A. L., & Macomber, L. E. (1977). Failure of colostral immunoglobulin transfer as an explanation for most infections and deaths of neonatal foals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 170(11), 1302-1304.
- McIlwraith, C. W., Frisbie, D. D., Kawcak, C. E., & van Weeren, R. (2015). *Joint disease in the horse*. Elsevier Health Sciences.
- Moons, C. P., Laughlin, K., & Zanella, A. J. (2005). Effects of short-term maternal separation on the behavior and physiology of foals. *Applied Animal Behaviour Science*, 91(3-4), 321-335.
- Ousey, J. C. (1997). Thermoregulation and the energy requirement of the newborn foal, with reference to prematurity. *Equine Veterinary Journal*, 29(S24), 104-108.
- Ousey, J. C., McArthur, A. J., & Rossdale, P. D. (1997). Thermoregulation in sick foals aged less than one week. *The Veterinary Journal*, 153(2), 185-196.
- Polkes, A. C., Giguere, S., Lester, G. D., & Bain, F. T. (2008). Factors associated with outcome in foals with neonatal isoerythrolysis: 72 cases (1988–2003). *Journal of the*

- American Veterinary Medical Association, 232(10), 1542-1549.
- Rossdale, P. D. (1972). Modern concepts of neonatal disease in the foal. *Equine Veterinary Journal*, 4(3), 117-128.
- Sanchez, L. C. (2005). Equine neonatal sepsis. *Veterinary Clinics: Equine Practice*, 21(2), 273-293.
- Savage, C. J., McCarthy, R. N., & Jeffcott, L. B. (1993). Effects of dietary energy and protein on induction of dyschondroplasia in growing foals. *Equine Veterinary Journal*, 25(S16), 74-79.
- Schneider, F., & Wehrend, A. (2019). Quality assessment of bovine and equine colostrum-an overview. *Schweizer Archiv fur Tierheilkunde*, 161(5), 287-297.
- Stoneham, S. J. (1998). Respiratory distress in the neonatal foal. *Equine Veterinary Education*, 10(5), 242-249.
- Stormont, C. (1975). Neonatal isoerythrolysis in domestic animals: a comparative review. *Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine*, 19, 23-45.
- Vertenten, G., Gasthuys, F., Cornelissen, M., Schacht, E., & Vlamincx, L. (2010). Enhancing bone healing and regeneration: present and future perspectives in veterinary orthopaedics. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 23(03), 153-162.
- Vokes, J., Lovett, A., & Sykes, B. (2023). Equine gastric ulcer syndrome: an update on current knowledge. *Animals*, 13(7), 1261.
- Waters, A. J., Nicol, C. J., & French, N. P. (2002). Factors influencing the development of stereotypic and redirected behaviours in young horses: findings of a four year

prospective epidemiological study. Equine veterinary journal, 34(6), 572-579.

TÜRKİYE VE DÜNYADA
ZOOTEKNİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com