



ÇİFTLİK HAYVANLARINA MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIMLAR-3

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Kıvanç İRAK

Prof. Dr. Tuncay TUFAN

YAZARLAR

Prof. Dr. Faruk BOZKAYA

Prof. Dr. Fisun KOÇ

Prof. Dr. Kıvanç İRAK

Prof. Dr. Mehmet Osman ATLI

Prof. Dr. Osman Yaşar TEL

Prof. Dr. Özgür Yaşar ÇELİK

Prof. Dr. Semra KAYA

Prof. Dr. Tuncay TUFAN

Doç. Dr. Besime DOĞAN DAŞ

Doç. Dr. Burçak ASLAN ÇELİK

Doç. Dr. Ekin Emre ERKİLİÇ

Doç. Dr. Gökçe ÖZDEMİR

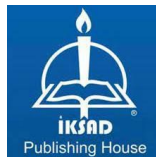
Dr. Öğr. Üyesi Aydın DAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet IRMAK

Dr. Öğr. Üyesi Veysi KAYRI

Arş. Gör. İbrahim Halil KESKİN

Arş. Gör. Kadir ERTEN



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Pubicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-547-5
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

HAYVANCILIKTA SICAKLIK STRESİ İLE MÜCADELEDE YENİ YAKLAŞIMLAR: ALTERNATİF YEM KAYNAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi Aydın DAŞ

Doç. Dr. Besime DOĞAN DAŞ.....3

BÖLÜM 2

KEÇİLERDE BÜYÜME VE ET VERİMİNİ ETKİLEYEN GENLERDEKİ POLİMORFİZM

Prof. Dr. Faruk BOZKAYA

Prof. Dr. Mehmet Osman ATLI.....21

BÖLÜM 3

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA DUYGUSAL DURUM, DAVRANIŞ VE HAYVAN REFAHI

Doç. Dr. Gökçe ÖZDEMİR.....45

BÖLÜM 4

HAYVAN BESLEMEDE BİTKİ EKSTRAKTLARININ KULLANIMI: PERFORMANS, EKONOMİK VE ÇEVRESEL BOYUTLARININ İNCELENMESİ

Arş. Gör. Kadir ERTEN

Prof. Dr. Fisun KOÇ.....71

BÖLÜM 5

KANATLI BESLEMEDE ORGANİK ASİTLERİN ANTİBİYOTİKLERE ALTERNATİF OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ

Dr. Öğr. Üyesi Veysi KAYRI

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet IRMAK.....103

BÖLÜM 6

PROBİYOTİKLERİN KANATLI BESLENMESİNDEKİ ROLÜ: SAĞLIK VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet IRMAK

Dr. Öğr. Üyesi Veysi KAYRI.....121

BÖLÜM 7

POSTBİYOTİKLERİN HAYVAN BESLEMEDE KULLANIMI

Arş. Gör. İbrahim Halil KESKİN1

Prof. Dr. Tuncay TUFAN

Prof. Dr. Kıvanç İRAK.....135

BÖLÜM 8

KEÇİLERDE SÜT VERİMİ VE KALİTESİNİ ETKİLEYEN GENLERDEKİ POLİMORFİZM

Prof. Dr. Faruk BOZKAYA

Prof. Dr. Mehmet Osman ATLI.....149

BÖLÜM 9

HAYVANCILIĞIN GELECEĞİ HAYVANCILIK 5.0: HAYVAN SAĞLIĞI VE REFAHI ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Gökçe ÖZDEMİR.....171

BÖLÜM 10

SÜT SIĞIRCILIĞINDA MASTİTİSİN MİKROBİYOLOJİK TANISI VE ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ

Prof. Dr. Osman Yaşar TEL.....195

BÖLÜM 11

SIĞIRLARDA POSTPARTURİENT HEMOGLOBİNÜRİ

Doç. Dr. Ekin Emre ERKILIÇ

Prof. Dr. Semra KAYA.....221

BÖLÜM 12

SIĞIRLARDA NEOSPOROSİS

Doç. Dr. Burçak ASLAN ÇELİK

Prof. Dr. Özgür Yaşar ÇELİK.....231

Önsöz

Artan dünya nüfusu, sürdürülebilir üretim gereksinimi, hayvan refahı beklentileri ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda hayvancılık sektörü hızlı bir dönüşüm süreci yaşamaktadır. Bu dönüşüm, yalnızca tek bir bilim dalının katkısıyla değil; klinik bilimler, zootekni, hayvan besleme, genetik, biyoteknoloji, hayvan refahı, çevre bilimleri ve ekonomi gibi pek çok alanın bir arada değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Multidisipliner yaklaşımlar, günümüz modern hayvancılığının temel yapı taşlarından biri hâline gelmiştir.

Bu kitap serisinin üçüncü cildi olan “**ÇİFTLİK HAYVANLARINA MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIMLAR-3**”, farklı disiplinlerden uzmanların katkılarıyla hazırlanmış olup, çiftlik hayvanlarının yetiştiriciliği, sağlığı, beslenmesi ve refahına bütüncül bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır. Kitapta yer alan bölümler; güncel bilimsel veriler ışığında teorik bilgileri uygulamaya dönük yaklaşımlarla birleştirerek, hem akademik çalışmalara hem de saha uygulamalarına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Bu eserin; lisans ve lisansüstü öğrencilerine, araştırmacılara, akademisyenlere ve hayvancılık sektöründe görev yapan tüm paydaşlara yararlı bir kaynak olacağına inanıyoruz. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm yazarlarımıza bilimsel katkılarından dolayı teşekkür eder, eserin ülkemiz ve dünya hayvancılığına değerli katkılar sunmasını temenni ederiz.

Editörler

Prof. Dr. Kıvanç İRAK

Prof. Dr. Tuncay TUFAN

BÖLÜM 1

HAYVANCILIKTA SICAKLIK STRESİ İLE MÜCADELEDE YENİ YAKLAŞIMLAR: ALTERNATİF YEM KAYNAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi Aydın DAŞ¹, Doç.Dr. Besime DOĞAN DAŞ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18138685>

¹Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootečni Anabilim Dalı, 63200 Şanlıurfa, Türkiye Türkiye, Orcid ID: (0000-0003-0371-5434)

²Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 63200 Şanlıurfa, Türkiye, Orcid ID:(0000-0003-2163-2632)

GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, gıda güvenliğinin sağlanması, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve ekonomik sürdürülebilirliğin devamı açısından stratejik bir konumda olup, sektörde temel girdiyi oluşturan yem, hayvanların büyüme, gelişme, üreme ve verimlilik performansını doğrudan etkileyen belirleyici bir faktördür; Türkiye’de yem maliyetleri, toplam üretim giderlerinin %60–80’ini oluşturarak işletmelerin ekonomik verimliliği üzerinde önemli bir baskı yaratmakta ve verimlilik ile karlılığın sağlanması, yalnızca hayvanların besin gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda yem bitkilerinin kaliteli ve sürdürülebilir şekilde üretilmesini de gerektirmektedir (TAGEM, 2020; Altıntaş ve ark., 2017, Koç ve ark., 2014). 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sera gazlarının hızla artışı, küresel ısınmaya yol açmış ve bu durum, yağış rejimi, nem oranları, hava hareketleri ve kuraklık gibi iklim unsurlarındaki değişimlerle birlikte “küresel iklim değişikliği” olarak tanımlanmıştır (Öztürk, 2002; Türkeş ve ark., 2000). Son yıllarda hayvancılık sektöründe verimliliğin artırılması, çevresel koşulların optimize edilmesi ve beslenme programlarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, üretim performansını yükseltmekle birlikte, hayvanların ısı stresine karşı duyarlılığını da artırmıştır; küresel ısınma ve iklim değişikliklerinden kaynaklanan olumsuz hava koşulları, hayvanların verimliliğini ve yaşam güçlerini olumsuz etkileyerek ekonomik kayıplara ve hayvanların yeterli besin alımının engellenmesine yol açmaktadır (Koyuncu, 2020; Karabayır 2025; Parsons ve ark., 2021). İklim değişiklikleri, hayvansal üretimi doğrudan veya dolaylı etkileyerek hayvanlarda ısı stresi, ölüm oranı, yem tüketimi, canlı ağırlık artışı, süt üretimi ve gebelik oranı üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve üretim maliyetlerini de artırmaktadır (Arslan ve ark., 2024). Ayrıca, iklim değişikliği meraların verimliliğini düşürerek hayvan beslenmesini ve hayvansal üretimi tehdit etmekte; sıcaklık, yağış ve topraktaki azot miktarı ot üretimini ve yem miktarını belirleyen temel faktörler olarak öne çıkmakta, artan sıcaklık ve kuraklık yem bitkilerinde lignin ve hücre duvarı bileşenlerinin artmasına yol açarak besin değerini ve sindirilebilirliği azaltmakta, aşırı iklim olayları ise bitki gelişimini ve toplam verimi olumsuz etkilemektedir; sonuç olarak hayvanlar için mevcut besin maddelerinin azalması ve küçük ölçekli üreticilerde süt ve et üretiminin düşmesi, gıda

güvenliği ve ekonomik gelir üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Koyuncu ve Nageye 2020;Kalonya 2022;Karabayır 2025).

Isı stresiyle mücadele eden (özellikle kurak ve sıcak) bölgelerde hayvancılık için alternatif yem kaynakları, hayvan refahını korumak ve yem açığını azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara toleranslı yem bitkileri üzerinde çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Aşırı sıcak havalar bitkisel üretim ve hayvancılıkta zararlara yol açarak gıda kıtlığına neden olabilir (McGregor ve ark., 2007). Aşırı sıcaklar su talebini artırır ve sınırlı su kaynakları üzerinde baskı oluşturur. Nem yetersizliği ile sıcak ve kuru hava; bitki veriminin düşmesi, ekili alanların daralması ve artan su temin maliyetleri gibi etkilerle tarımsal üretimi olumsuz etkiler (Parker ve ark., 2020).

Sıcaklık Stresi Altında Yetiştirilen Yem Kaynaklarının Hayvansal Üretimdeki Rolü

Isı stresiyle mücadele eden bölgelerde yetiştirilebilecek alternatif yem kaynakları, hayvansal üretimde hem verim hem de kalite açısından kritik bir rol oynar. Yüksek sıcaklık ve kuraklık, hayvanların yem tüketimini azaltarak süt ve et veriminde düşüşe, ayrıca üreme performansında azalmaya yol açarken, ısı stresi bağışıklık sistemini zayıflatır ve metabolizmayı olumsuz etkiler. Isı stresinin yoğun olarak görüldüğü bölgelerde alternatif yem kaynaklarının kullanımı, hayvansal üretimin sürdürülebilirliği açısından da önemlidir (West 2003; Bernabucci ve ark.,2010). Yüksek sıcaklıklar, hayvanlarda yem tüketimini azaltarak süt verimi, büyüme performansı ve üreme etkinliğinde belirgin düşüşlere yol açmaktadır. Bu nedenle kuraklığa ve sıcağa dayanıklı yem bitkilerinin üretim sistemlerine dahil edilmesi hem yem açığının kapatılmasına hem de hayvanların fizyolojik stres düzeylerinin azaltılmasına katkı sağlar. Sıcak ve kurak bölgelerde geleneksel yem kaynakları yetersiz kaldığında, Sorgum, Moringa oleifera, Opuntia ficus-indica (dikenli incir kaktüsü) ve Leucaena leucocephala gibi türler; yüksek sıcaklıklarda düşük su gereksinimleri, yüksek sindirilebilirlik ve protein içerikleri sayesinde geleneksel yem bitkilerine alternatif olmaktadır (Makkar ve Becker., 1996; Tegegne 2001; Mwamahonje ve ark., 2024). Benzer şekilde Moringa'nın %20–30 düzeyine ulaşan ham protein içeriği ile ruminant rasyonlarında kaliteli bir protein kaynağı olarak kullanılabileceği ve sıcaklık stresi altındaki hayvanlarda

performans kayıplarını azaltabileceği belirtilmektedir (Makkar ve Becker, 1996). Ayrıca *Opuntia* türleri yüksek su içeriği sayesinde hayvanların su tüketim ihtiyacını azaltmakta ve kurak alanlarda sürdürülebilir yem üretimine katkı sağlamaktadır (Nefzaoui ve Ben Salem, 2002). Bu tür alternatif yem kaynaklarının rasyonlara dâhil edilmesi, hayvanların sıcaklık kaynaklı metabolik yüklerini hafifletmekte, yem etkinliğini artırmakta ve üretim maliyetlerinin düşmesine yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin etkilerinin belirginleştiği günümüzde, sıcak stresine dayanıklı yem bitkilerinin hayvansal üretim sistemlerine entegrasyonu hem ekonomik hem de ekolojik açıdan stratejik bir gereklilik hâline gelmiştir.

Sıcağa ve Kuraklığa Dayanıklı Alternatif Yem Kaynakları

Sıcağa ve kuraklığa dayanıklı alternatif yem kaynakları, sıcak iklim tahıllarından sorgum, darı ve Teff (*Eragrostis tef*) gibi düşük su gereksinimli türleri; baklagillerden kikuyu çimi, yüksek proteinli ve ekstrem sıcaklıklara toleranslı lablab fasulyesi ile hem tane hem yeşil ot amacıyla kullanılan bürölceyi içerirken, kaktüs ve sukulentlerden özellikle *Opuntia* türleri ve aloa vera öne çıkar; aynı zamanda tıbbi ve aromatik amaçlı bitkilerden moringa, leucaena, karahindiba, kekik, nane, rezene önemli yem kaynaklarıdır. Bunlara ek olarak, tuzluluğa dayanan *Atriplex*, *Salicornia* gibi halofit bitkiler hem ısı hem de tuzluluğa dayanıklıdır. Son olarak, *Panicum maximum* ve *Cenchrus ciliaris* gibi çimler, yüksek sıcaklık ve kuraklığa dayanıklıdır. Bu bitkiler, hem ekonomik olarak sürdürülebilir yem kaynakları sunar hem de çevresel koşullara uyum sağlayarak, özellikle ısı stresine karşı dayanıklılıklarıyla hayvancılıkta verimliliği artırır.

SICAK İKLİM TAHILLARI

İnci darısı (*Pennisetum glaucum*)

Dünyada yaygın olarak yetiştirilen beş darı türü bulunmaktadır: parmak darı (*Eleusine coracana*), cin darı (*Setaria italica*), kum darı (*Panicum miliaceum*), ahır darısı (*Echinochloa frumentacea*) ve inci darı (*Pennisetum glaucum*)dır. (Gupta ve ark., 2011). Sıcak iklimlerde yetişen ve C4 fotosentez özelliğine sahip olan inci darısı, 2n=14 kromozom yapısına sahip yıllık bir bitkidir ve İngiltere’de “pearl millet” olarak adlandırılmaktadır (Gupta ve ark., 2011; Newman ve ark., 2010). Darılar, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum

sağlayabilmeleri ve kısa büyüme süreleri nedeniyle kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir rol oynamaktadır (Serba ve Obour, 2017). Yüksek enerji ve protein içeriği ile yetiştirildikleri bölgelerde hem insan beslenmesi hem de hayvan yemi olarak kullanılmaktadırlar (Kumar ve ark., 2005; Khair ve ark., 2019). İnci darısı, kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara karşı toleransı, hızlı büyüme ve olgunlaşma özelliği ile çiftçilere kısa sürede hasat imkânı sunarken, farklı toprak tiplerine uyum sağlaması da tarımsal çeşitliliği artırmaktadır. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu alanlarda, sıcak ve kurak yaz dönemlerinde sulama desteği ile yetiştirilebilen darı, alternatif bir tarım bitkisi olarak değerlendirilmektedir (Kumar ve Chopra, 2014; Raza ve ark., 2021; Gupta ve ark., 2011). Güzar ve ark. (2024), tarafından inci darısında yürütülen bir çalışmada, farklı hasat dönemlerinin ot verimi ve bazı yem kalite özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonuçlar, kabul edilebilir KM ve daha kaliteli silaj elde etmek için bitkinin başaklanma ortası dönemde hasat edilmesi gerektiğini göstermiştir.

Sorgum (*Sorghum bicolor*)

Sorgum, *Gramineae* familyasına ait, C4 fotosentez özelliğine sahip, tek yıllık ve kendi kendine döllenebilen bir bitkidir (Öktem ve ark., 2021). Bitkiler büyüme süreçleri boyunca çeşitli biyotik ve abiyotik stres etmenlerinin etkisi altında kalmakta olup, bu etmenler arasında kuraklık, üretim ve verimi en fazla kısıtlayan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Badr ve ark., 2020). Sorgum, dünya genelinde yem amaçlı yetiştirilen ve depolanan en önemli silaj bitkileri arasında yer almakta olup; kuru ve tuzlu toprak koşullarına uyum gösterebilmesi, yüksek verim potansiyeli ve birden fazla biçim yapılabilmesi sayesinde dikkat çekmektedir (Goshadrau, 2011). Mısır bitkisine benzer biçimde, sorgum yaprakları da yüksek oranda fermente edilebilen karbonhidrat içermektedir. Sorgum pek çok açıdan mısıra benzese de kuraklık, tuzluluk ve stres gibi olumsuz çevre koşullarına mısırdan daha dayanıklı olmasıyla öne çıkıyor (Açıkgöz, 2001).

Teff (*Eragrostis tef*)

Teff (*Eragrostis tef*), sıcak ve kurak koşullara yüksek adaptasyon yeteneği gösteren C4 fotosentetik bir tür olarak hem tahıl hem de değerli kaba yem kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kısa olgunlaşma süresi, düşük su gereksinimi

ve toprak seçiciliğinin az olması, teffî özellikle kuraklık nedeniyle geleneksel yem bitkilerinin veriminin düştüğü alanlarda önemli bir alternatif hâline getirmektedir. Bitkinin yüksek sindirilebilir kuru madde içeriği, %12–18 düzeyindeki ham protein oranı ve düşük lignin miktarı, ruminantlarda besin değerini artırmakta ve yem etkinliğini iyileştirmektedir (Ketema, 1997). Ayrıca teff, sıcak dönemlerde hızlı büyüme göstermesi ve bir sezonda birden fazla biçim imkânı sunması sayesinde kaba yem açığını azaltmada stratejik bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalar, teffin sıcak iklimlerde mısırdan daha az su tüketerek yeterli biyokütle oluşturduğunu ve kurak alanlarda sürdürülebilir yem üretimine katkı sağladığını göstermektedir (Norberg ve ark., 2008; Barretto ve ark., 2021). Bu özellikler, teffî iklim değişikliğinin etkilediği ve sıcaklık stresinin arttığı bölgelerde hem hayvansal üretimin verimliliğini hem de yem güvenliğini destekleyen alternatif bir yem bitkisi olarak öne çıkarmaktadır.

BAKLAGİL YEM BİTKİLERİ

Kikuyu Çimi (*Pennisetum clandestinum*)

Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst), çok yıllık, tüylü, sarımsı-yeşil renkte, stolonlu ve rizomlu bir ot olup sıklıkla çim örtüsü oluşturur; Orta Afrika yüksek bölgelerine özgü olmasına karşın günümüzde birçok bölgede yaygın olarak yetişmekte, yıllık en az 600–700 mm yağış alan ve deniz seviyesinden 3500 m yüksekliğe kadar iyi gelişim gösterebilen bir türdür (Holm ve ark., 1977; Marais, 2001). Kikuyu otu, yüksek oranda azotlu gübre uygulandığında iyi gelişim gösterir; ancak hayvan gereksinimlerinin çok üzerinde azotlu bileşikler biriktirir. Bu maddeler, sindirim ve hayvan performansı üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Kikuyu otunda süt verimini sınırlayan başlıca faktör enerji olup, bunun nedeni kolay sindirilebilir yapısal olmayan karbonhidratların eksikliği ve yapısal bileşenlerin düşük sindirilebilirliğidir (Marais, 2001). Kikuyu otu için düşük gündüz sıcaklıkları (15°C) ve yüksek gece sıcaklıkları (30°C'ye kadar) büyüme hızını azaltmakla birlikte, sindirilebilirliği artırır (Ivory ve ark., 1974).

Lablab fasulyesi (*Lablab purpureus*)

Lablab purpureus, *Fabaceae* (Baklagiller) familyasına ait çok yıllık bir baklagil türüdür ve sıcak ve kurak iklimlerde yetismeye oldukça uygundur. Yüksek

adaptasyon kapasitesi sayesinde kurak ve yarı kurak bölgelerde kaba yem, yeşil yem ve kuru yem kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Forsythe ve ark., 2019) Lablab, doğal olarak çayır, çalılık ve galeri ormanlarında yetişir; kültüre alındığında ise farklı çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği gibi birçok avantajlı özelliğe sahiptir. Yaz aylarında büyüyen bu baklagil, diğer yem bitkilerinin kurak dönemde kurumasına rağmen yeşil kalır (Murphy ve ark., 1999). Yabani Lablab türleri deniz seviyesinden 2000–2400 m yükseklikte bulunurken, kültür koşullarında daha düşük rakımlarda yetiştirilmeyi tercih eder. Günlük sıcaklıkların 18–35°C ve yıllık yağışın 650–2500/3000 mm olduğu bölgelerde iyi gelişir ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır (Cook ve ark., 2005). Lablab, çok amaçlı bir baklagil olup olgunlaşmamış tohumları, kapsülleri ve genç yaprakları sebze olarak tüketilebilir; olgun kuru fasulyeleri ise uzun süreli pişirme gerektirir. Piyasa değeri düşük olduğundan, diğer baklagillere kıyasla gıda bitkisi olarak daha az tercih edilmektedir. Contreras Govea ve ark. (2011), sorgum ve Lablab fasulyesinin farklı oranlarda karıştırılarak silolandığını incelemiş; baklagil oranı arttıkça silajın ham protein içeriğinin %9.0'dan %20.6'ya, ADF oranının %26.8'den %32.5'e ve pH'ın 4.01'den 4.56'ya yükseldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sorgum silajına %25–%75 oranında Lablab ilavesinin besin değerini artırırken fermentasyonu olumsuz etkilemediğini de ifade etmişlerdir.

Börülce (*Vigna unguiculata*L. Walp)

Börülce *Faceae* familyasında bulunan *Vignacinsine* ait bir türdür ve $2n=22$ kromozoma sahiptir (Ovalıoğlu, 2023). Börülce, özellikle tropik bölgelerdeki az gelişmiş ülkelerde, taze bakla ve kuru tanesiyle insan beslenmesinde, silaj olarak hayvan yeminde ve toprak verimliliğini korumak amacıyla yeşil gübrelemede kullanılan, Afrika'da kültüre alınmış en eski baklagil bitkilerinden biridir (Erdoğan, 2019). Börülce, çoğunlukla dünyanın tropik bölgesindeki az gelişmiş ülkelerde taze baklaları ve kuru tanesi için insan beslenmesinde, silaj olarak hayvan beslenmesinde, toprak verimliliğinin sürdürülmesi için yeşil gübrelemede kullanılan, Afrika'da kültüre alınan en eski baklagil bitkilerindendir (Erdoğan, 2019). Kuraklığa dayanıklı olması ve fakir topraklarda azot bağlayabilme özelliği sayesinde, börülce birçok tahıl ve yumrulu bitki ile 63 ülkede yetiştirilmektedir. Dünyada üretimin en yoğun olduğu bölge Afrika iken, Avrupa'da en yüksek verim elde edilmektedir.

Türkiye’de ise börülce, özellikle Ege Bölgesi’nde yaygın bir ürün olarak görülmektedir (Sert ve Ceyhan, 2012).

KAKTÜS VE SUKKULENT TÜRLERİ

Dikenli İncir (*Opuntia ficus-indica*)

Opuntia ficus-indica (dikenli incir / frenk inciri), *Cactaceae* familyasına ait, etli cladode yapraklı ve dikenli bir kaktüs türüdür. Türkiye’de özellikle Akdeniz ve Güney Ege kıyılarında (Mersin, Adana, Hatay, Antalya) yetişir ve yarı kurak iklimlerde, yüksek sıcaklığa ve su kıtlığına dayanıklıdır (Yılmaz ve ark., 2016). Meyveleri antioksidan, fenolik bileşikler ve vitaminler açısından zengin olup, gıda, yem ve fonksiyonel ürünlerde kullanılabilir. Türkiye’de yapılan agromorfolojik ve biyokimyasal çalışmalar, farklı genotiplerin meyve boyutu, ağırlığı, tohum sayısı ve antioksidan kapasite açısından çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymuştur. Isı stresine karşı toleransı yüksek olup, 27–30 °C civarında optimum büyüme sağlarken, çok düşük sıcaklıklara ($\approx$ 2–6 °C) dayanabilir (Jorge ve ark., 2023). Bu özellikleriyle *Opuntia ficus-indica*, kurak ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarım ve endüstriyel kullanım için önemli bir bitkidir.

Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)

Aloe vera *Asphodelaceae* ailesine ait, çok yıllık sukulent bir bitkidir. Türkiye’de yetiştirme için uygun bölge olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Şanlıurfa dahil), Akdeniz, Ege ve İç Anadolu gösterilmektedir (Bedir ve Turgut 2021). Aloe vera yapraklarının yaklaşık %99–99,5’i sudan oluşur; geri kalan katı kısmında ise yaklaşık 200 farklı biyolojik olarak aktif bileşen bulunur. Aloe vera’nın yaprakları ve çiçeklerinin antioksidan etki gösterdiği bildirilmiştir. Yapraklarında bulunan α - tokoferol, karotenoidler, askorbik asit, flavonoidler, tanenler, C, E, B1 (tiamin), B2 (riboflavin), B3 (niasin) vitaminleri ile kolin, folik asit, aloesin, aloeresin A, aloeson, aloe-emodin ve çeşitli polisakkaritlerin antioksidan özellik taşıdığı; ayrıca bitkide yer alan glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz enzimlerinin de bu aktivitede rol oynadığı ifade edilmiştir (Tunçay ve Kaya, 2021). Aloe vera hayvan yem katkısı olarak kullanıldığında antioksidan, bağışıklık destekleyici, yara iyileştirici ve antimikrobiyal etkiler sağlamaktadır (Jalal ve ark.,2019).

TIBBİ VE AROMATİK AMAÇLI BİTKİLER

Moringa (*Moringa oleifera*,)

Moringa oleifera, tropikal ve subtropikal iklim koşullarında yetişen bir bitki türüdür. Yaprakları aromatik özellik göstermekte olup, uçucu yağ üretiminde kullanılabilmektedir. *M. oleifera* yaprakları, mineraller (potasyum, kalsiyum, fosfor ve demir), vitaminler (A, D ve C), karotenoidler (neoksantin, violaksantin, β -kriptoksantin, β -karoten epoksit, β -karoten ve lutein), fenolik asitler (galik asit, klorojenik asit, ellajik asit ve ferulik asit) ve flavonoidler (zeaksantin, kuersetin, kaempferol ve apigenin) açısından zengin bir bileşim göstermektedir (Ercan ve Toprak 2025). Afrika, Güneydoğu Asya, Karayipler, Orta Amerika ve Güney Amerika'nın bazı bölgelerine yayılmıştır (Mersin ve İşcan 2022). Türkiye'de ise Gaziantep'te "Mucize Bitki Moringa" adı verilen proje ile ilk ticari Moringa Oleifera yetiştiriciliği yapılmaktadır. 0–50 °C arası sıcaklıklara dayanabilmektedir (İbrahim ve Kırkpınar 2021). Bayraktar ve ark., (2023), ısı stresine maruz bırakılan bıldırcınlarda 600 mg/kg dozunda Moringa oleifera uçucu yağı takviyesinin kümes hayvanlarında ısı stresinin olumsuz etkilerine bağlı inflamasyonu ve bağırsak hasarını azaltmak için alternatif bir ürün olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Karahindiba (*Taraxacum officinale* L.)

Türkçe adı Karahindiba olan *Taraxacum officinale* L. papatyagiller (*Asteraceae*) familyasının bir üyesidir. Daha çok kuzey yarı kürede özellikle Avrupa ve Asya'nın ılıman bölgelerinde sıkça rastlanan bir türdür. Türkiye'de ise çoğunlukla Nisan-Mayıs aylarında, çayırarda, yol kenarlarında yetişebilen çok yıllık sarı renkte çiçekleri olan bir bitkidir (Merton, 1969; Koç, 2002). *Taraxacum officinale* çayırarda ve yol kenarlarında yetişebilen çok yıllık, sarı renkte çiçekleri olan, Papatyagiller (*Asteraceae*) familyasının bir üyesidir. Aynı zamanda Karahindiba olarak bilinir (Davis, 1965; Koç, 2002). *Taraxacum officinale* laksatif, diüretik, antidiabetik ve kan temizleyici olarak kullanılmıştır (Wichtl, 2004; Önal ve ark., 2005; Ertaş ve ark., 2005;).

Kekik (*Origanum spp.* / *Thymus spp.*)

Kekik Türkiye'de çok sayıda *Origanum* ve *Thymus* türüne sahiptir. Kekik Güneybatı Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu'da doğal olarak yetişmektedir. Güneydoğu Anadolu'da Şanlıurfa'da dahil *Origanum syriacum*, *Thymbra*

spicata, *Thymus capitatus* gibi türler bulunmaktadır (Başer 2022; Bozdemir 2019). Kekik hem yeşil ot olarak hem de kuru ot şeklinde hayvan yemi olarak kullanılabilir. Hayvansal ürünlerde kaliteyi artırıcı etkileri olduğu için, özellikle süt ve et verimliliğini artırabileceği düşünülmektedir. Kekik içeren yemlerin, hayvanların yem tüketimini artırma, sağlıklarını destekleme ve stresle mücadele konularında faydalı olabileceği bazı çalışmalarda mevcuttur (Göçmen, 2014; Özdemir ve ark., 2025).

Nane (*Mentha spp.*)

Nane, *Lamiaceae* familyasına ait çok yıllık aromatik bir bitkidir ve hem tıbbi hem aromatik hem de yem amaçlı kullanılabilir. Özellikle *Mentha piperita* ve *Mentha spicata* türleri, düşük su koşullarına tolerans göstererek verimli bir şekilde yetiştirilebilir ve uçucu yağ içeriği yüksek biyokütle sağlar (Turgeon ve Wright 2007). Nane (*Mentha* türleri), uçucu yağında bulunan mentol, menton ve 1,8-sineol gibi bileşikler sayesinde aromatik, serinletici ve antioksidan özelliklere sahip bir tıbbi bitkidir (Baydar, 2017). Türkiye’de özellikle Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yoğun olarak yetiştirilmekle birlikte, Şanlıurfa ili sıcak iklimi, uzun güneşlenme süresi ve sulama imkânları nedeniyle nane yetiştiriciliği için oldukça elverişlidir. Kontrollü sulama ve uygun toprak yönetimi ile kurak bölgelerde nane üretimi hem kaliteli yem sağlama hem de ekonomik getiriyi artırma açısından sürdürülebilir bir seçenek oluşturmaktadır. Bilimsel çalışmalara göre nane, içerdiği fenolik bileşikler ve mentol sayesinde antioksidan kapasiteyi artırarak hayvanlarda oksidatif stresin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Rahman, 2017; Boyraz ve ark., 2021).

Rezene (*Foeniculum vulgare*)

Rezene, *Apiaceae* (Maydanozgiller) ailesine ait, çok yıllık aromatik bitki olup hem gıda hem de hayvansal üretim açısından çeşitli yararlar sağlamaktadır. Botanik açısından farklı varyeteleri vardır; örneğin tatlı rezene ve “acı rezene” şeklinde sınıflandırılan tipleri bulunmaktadır (Demir, 2022). Bitkinin farklı organları (tohum, yaprak, gövde, çiçek) uçucu yağ bakımından zengindir. Rezene bitkisinin yaprak, sap ve tohum kısımları hem taze hem de kuru yem olarak değerlendirilebilir; içerdiği uçucu yağlar ve fenolik bileşikler sayesinde ruminantların sindirim fonksiyonlarını destekleyebilir, yem alımını artırabilir ve bazı bağırsak parazitlerinin etkilerini azaltabilir (Badgujar ve ark., 2014).

Ayrıca, iyi drene edilmiş hafif topraklarda yetiştirilen rezene, kontrollü sulama uygulamaları ile hem biyokütle hem de uçucu yağ üretimini artırarak, kurak alanlarda sürdürülebilir yem teminini desteklemektedir (Duke, 1992).

SONUÇ

Sıcaklık stresinin yoğun biçimde hissedildiği sıcak ve kurak bölgelerde hayvan beslemenin sürdürülebilirliği, yem kaynaklarının zorlu çevresel şartlara uyum sağlayabilmesine bağlı olduğu için büyük önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve su kaynaklarındaki azalma hem yem bitkilerinin verimliliğini düşürmekte hem de hayvansal üretimi kısıtlayarak gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, ısı stresine karşı dayanıklı besin değeri korunmuş alternatif yem bitkilerinin tespit edilmesi ve üretim sistemlerine entegre edilmesi, hayvancılık sektörünün uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından zorunlu hâle gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Açıkgöz, E. (2001). Yem Bitkileri (3. Baskı) Uludağ Üniv. Güçlendirme Vakfı Yayın, 182.
- Altıntaş G, Altıntaş A, Çakmak E (2017) Yem Bitkileri Üretiminde Sürdürülebilirlik Üzerine Bir Çalışma: Sivas İli Örneği. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 3(1): 38-51
- Arslan, E., Karaman, Ö., Tok, M., Kuzucu, U., & Inal, S. (2024). Küresel Isınmanın Çiftlik Hayvanlarında Sürü Sağlığı ve Verimliliği Üzerine Etkisi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 14(1), 82-91.
- Atabay, S., Karasu, M., & Koca, C. (2014). İklim değişikliği ve geleceğimiz. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 148.
- Badgujar, S. B., Patel, V. V., & Bandivdekar, A. H. (2014). Foeniculum vulgare Mill: A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacology, Contemporary Application, and Toxicology, 842674(10.1155), 2014.
- Badr, A., El-Shazly, H. H., Tarawneh, R. A., & Börner, A. (2020). Screening for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) germplasm using germination and seedling traits under simulated drought conditions. Plants, 9(5), 565.
- Barretto, R., Buenavista, R. M., Rivera, J. L., Wang, S., Prasad, P. V., & Siliveru, K. (2021). Teff (*Eragrostis tef*) processing, utilization and future opportunities: a review. International Journal of Food Science and Technology, 56(7), 3125-3137.
- Başer, K. H. C. (2022). Kekik. Tabiat ve İnsan, 1(191), 15-31.
- Baydar, N. G., & Çoban, Ö. (2017). Tuz Stresinin Nane (*Mentha piperita* L.)'de Büyüme ile Uçucu Yağ Miktarı ve Bileşenleri Üzerine Etkileri. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 5(7), 757-762.
- Bayraktar, B., Tekce, E., Bayraktar, S., Böyük, G., Takma, Ç., Aksakal, V., ... & Gürbüz, A. B. (2023). Investigation of endocrine response of thyroid and intestinal and adipose tissues due to the addition of *Moringa oleifera* essential oil in diet for quails exposed to heat stress. Revista Brasileira de Zootecnia, 52, e20210040.
- Bayraktar, B., Tekce, E., Bayraktar, S., Böyük, G., Takma, Ç., Aksakal, V., ... & Gürbüz, A. B. (2023). Investigation of endocrine response of thyroid

- and intestinal and adipose tissues due to the addition of *Moringa oleifera* essential oil in diet for quails exposed to heat stress. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 52, e20210040.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167-1183.
- Boyras, M. Ü., Dörtbudak, M. B., Daş, B., Yiğın, A., Çadırcı, M. Ş., & Daş, A. (2021). Investigation of the histopathological effects of increasing amounts of peppermint oil (*Mentha piperita*) added to quail (*Coturnix coturnix japonica*) feed as a growth promoter on liver.
- Bozdemir, Ç. (2019). Türkiye’de yetişen kekik türleri, ekonomik önemi ve kullanım alanları. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 583-594.
- Contreras-Govea, F., Marsalis, M., Angadi, S., Smith, G., Lauriault, L. M., & VanLeeuwen, D. (2011). Fermentability and nutritive value of corn and forage sorghum silage when in mixture with lablab bean. *Crop Science*, 51(3), 1307-1313.
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., ... & Schultze-Kraft, R. (2005). *Tropical forages. csiro, dpı&f (qld), ciat and ilrı. Brisbane, Australia.*
- Duke, J. A. (2002). *Handbook of medicinal herbs*. CRC press.
- Ercan, Ş. N., & Toprak, K. Mucize Ağaç: *Moringa Oleifera* ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 16(1), 134-143.
- Erdoğan, C., 2019. Determination of agricultural characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) varieties grown in amik plain. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(7): 1046-1051.
- Ertaş, Ö. S., Aktaş, H. F., & Haznedaroğlu, M. Z. (2005). Analysis of sodium and potassium levels in *Taraxacum officinale* by flame emission photometry. *ACTA Pharmaceutica Scientia*, 47(2).
- Forsythe, C. (2019). Exploring the viability of re-introducing Lablab purpureus (L.) Sweet as a multifunctional legume in northern Tanzania.
- Goshadrou, A., Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2011). Bioethanol production from sweet sorghum bagasse by *Mucor hiemalis*. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1219-1225.

- Göçmen, M. (2014). Etlik piliç rasyonlarına farklı miktarlarda ilave edilen kekik (*Thymus vulgaris*) bitkisinin besi performansı, kesim özellikleri, kan parametreleri ve oksidatif stres üzerine etkileri/Effects of different amounts of additive thyme (*Thymus vulgaris*) to broiler diets on fattening performance, slaughter characteristics, blood parameters and oxidative stress (Doctoral dissertation).
- Gupta, A., Sood, S., Agrawal, P. K., & Bhatt, J. C. (2011). Floral biology and pollination system in small millets. *Eur J Plant Sci Biotechnol*, 6(2), 80-86.
- Güzar, B., Geren, H., Allahverdiyev, E., & Əskərova, A. (2024). Farklı hasat dönemlerinin inci darı (*Pennisetum glaucum*)’da verim ve bazı yem kalite unsurlarına etkisi. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(1), 90-99.
- Holm, L. G., Plucknett, D. L., Pancho, J. V., & Herberger, J. P. (1977). The world's worst weeds.
- Ibrahıma, F. I., & Kırkpınar, F. 2021. İzmir’de *Moringa* (*Moringa oleifera*) Bitkisinin Yetiştirilebilirliği ve Ham Besin Madde İçeriği. *Fen ve Ziraat Bilimleri*, 91.
- Ivory, D. A., Stobbs, T. H., McLeod, M. M., & Whiteman, P. C. (1974). Effect of day and night temperatures on estimated dry matter digestibility of *Cenchrus ciliaris* and *Pennisetum clandestinum*.
- Jalal, H., Akram, M. Z., Doğan, S. C., Fıncıoğlu, S. Y., Irshad, N., & Khan, M. (2019). Role of *Aloe vera* as a natural feed additive in broiler production. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 163-166.
- Jorge, A. O., Costa, A. S., & Oliveira, M. B. P. (2023). Adapting to climate change with *Opuntia*. *Plants*, 12(16), 2907.
- Kalonya, D. H. (2022). The Significance Of Pastures In Climate Change Mitigation And Adaptation Processes. *Çevre Şehir İklim Dergisi*, 1, 128-157.
- Karabayır, A. (2025). İklim Değişikliğinin Tarım ve Hayvancılığa Etkileri. *Şura Akademi*, (8 Çevre), 11-22.
- Karabayır, A. (2025). İklim Değişikliğinin Tarım ve Hayvancılığa Etkileri. *Şura Akademi*, (8 Çevre), 11-22.

- Ketema, S. (1997). Tef, *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Khair, A. N., Bhanvadia, A., & Patil, K. (2019). Effect of staggered sowing and foliar spray of fertilizer on seed yield and quality of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) hybrid GHB 905. *International Journal of Chemical Studies*, 7(5), 2240-2245.
- Koc, A., Kaya, A., GÜLLAP, M. K., Erkovan, H. I., Macit, M., & KARAOĞLU, M. (2014). The effect of supplemental concentrate feed on live weight gain of yearling heifers over grazing season in subirrigated rangelands of East Anatolia. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 38(3), 278-284.
- Koç, H. (2002). Doğrudan, doğadan bitkilerle sağlıklı yaşama. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölüm Yayını, Tokat, Ümit Ofset.
- Koyuncu, M., & Nageye, F. (2020). İklim değişikliğinin sürdürülebilir hayvancılığa etkileri. *Journal of Animal Production*, 61(2), 157-167.
- Kumar, A., Varier, A., Sherry, R. J., Aruna Kumari, K., Dadlani, M., & Sharma, S. P. (2005). Characterization of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] genotypes by seedling anthocyanin pigmentation and seed characters. *Seed Science and Technology*, 33(1), 215-226.
- Kumar, V., & Chopra, A. K. (2014). Pearl millet (*Pennisetum Glaucum* L.) response after ferti-irrigation with sugar mill effluent in two seasons. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(3), 6.
- Makkar, H. A., & Becker, K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal feed science and technology*, 63(1-4), 211-228.
- Marais, J. P. (2001). Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)-a review. *Tropical grasslands*, 35(2), 65-84.
- Mersin, B., & İşcan, G. S. (2022). *Moringa oleifera*'nin etkinlik ve güvenliği. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 46(2), 487-504.
- Merton, L. F. H. (1969). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*.

- Murphy, A. M., & Colucci, P. E. (1999). A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of Lablab purpureus. *Livestock Research for Rural Development*, 11(2), 1999.
- Mwamahonje, A., Mdindikasi, Z., Mchau, D., Mwenda, E., Sanga, D., Garcia-Oliveira, A. L., & Ojiewo, C. O. (2024). Advances in Sorghum improvement for climate resilience in the global arid and semi-arid tropics: a review. *Agronomy*, 14(12), 3025.
- Nefzaoui, A., & Ben Salem, H. (2001). Opuntia: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the wana region.
- Newman, Y., Jennings, E. D., Vendramini, J., & Blount, A. (2010). Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*): Overview and Management: SS-AGR-337/AG347, 9/2010. EDIS, 2010(7).
- Norberg, S., Roseberg, R. J., Charlton, B. A., & Shock, C. C. (2008). Teff: a new warm-season annual grass for Oregon.
- Ovalıoğlu, G. (2023). Börülce (*Vigna Unguiculata* L.). *Ispac Journal Of Science Institute*, 2(1), 28-32.
- Öktem, A., Öktem, A. G., & Demir, D. (2021). Geç olum süresine sahip bazı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotiplerinin biyokütle verimi ve yem kalitesinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(2), 315-325.
- Önal, S., Timur, S., Okutucu, B., & Zihnioğlu, F. (2005). Inhibition of α -glucosidase by aqueous extracts of some potent antidiabetic medicinal herbs. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 35(1), 29-36.
- Özdemir, H. İ., Yavaş, İ., & Ekren, S. (2025). Fitojenik Yem Katkı Maddeleri: Hayvan Beslenmesindeki Rolü. *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing*, 266-272.
- Rahman, A. (2017). Nane (*mentha piperita*) ekstraktı ve suyunun yumurtacı tavuklarda performans, yumurta kalite özellikleri, hematolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine etkisi.
- Raza, M. N., Nazeer, S., Ali, M., Sadia, A., & Mubashra, S. (2021). Modeling the growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) crop. *Journal of Agriculture, Food, Environment and Animal Sciences*, 2(1), 61-76.
- Sert, H., & Ceyhan, E. (2011). Hatay ili ekolojik şartlarında börülce (*Vigna sinensis* (L.) Savi) çeşitlerinin tane verimi ve bazı tarımsal özellikleri

üzerine farklı bitki sıklıklarının etkileri. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45s.

Tunçay, H. A., & Kaya, G. İ. (2021). Aloe Vera (L.) Burm. F.(Sarısabır) Bitkisinin Fitoterapide Kullanımı. Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University, 45(3), 674-698

Turgeon, T., & Wright, L. (2007). Mint. The Genus Mentha.

Wichtl, M. (Ed.). (2004). Herbal drugs and phytopharmaceuticals: a handbook for practice on a scientific basis. CRC press.

Yılmaz, C., Toplu, C., Seday, Ü., Türkay, C., & Zurnacı, M. (2016). Doğu Akdeniz Bölgesinde Dikenli İncir (Opuntia ficus indica L Mill) Seleksiyonu.

BÖLÜM 2

KEÇİLERDE BÜYÜME VE ET VERİMİNİ ETKİLEYEN GENLERDEKİ POLİMORFİZM

Prof. Dr. Faruk BOZKAYA¹, Prof. Dr. Mehmet Osman ATLI²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18138730>

¹ Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Genetik Anabilim Dalı, Şanlıurfa; farukbozkaya@harran.edu.tr; (ORCID:0000-0001-6423-8067)

² Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dölerme ve Suni Tohumlama Anabilim Dalı Şanlıurfa (ORCID:0000-0001-9853-5334)

GİRİŞ

Türkiye’de keçi eti üretiminin toplam kırmızı et üretimi içerisindeki payı az olsa da bölgesel olarak keçi yetiştiriciliği ve keçi eti tüketimi önemlidir. Yerel olarak yetiştirilen hayvan ırklarının bölgenin çevre şartlarına uyumu, hastalıklara dirençli olmaları, tüketici tercihlerinin zaman içerisinde değişmesi ya da çeşitli hayvansal ürünlerin yeni teknolojiler için ham madde sağlaması nedeniyle yerel ırklar gen kaynağı olma özelliğine sahiptir. Bu nedenle yerel ırkların korunması ve geliştirilmesi için bu ırkların genetik yapılarının tanımlanarak ge genetik potansiyellerinin ortaya konması gerekmektedir.

Hayvancılık yönünden büyüme ve et verimi önemli bir yere sahiptir. Ekonomik özelliğe sahip bu özellikler birçok gen tarafından kontrol edilmekte ve çevre koşullarından etkilenmektedirler. Hayvancılık açısından bu verim özelliklerinin ve bu özellikleri taşıyan hayvan varlığının genetik yapısının bilinmesi için moleküler genetik yöntemler kullanılır.

Moleküler genetik yöntemlerin hayvanların seleksiyonunda kullanılması markör destekli seleksiyon (Marker assisted selection MAS) olarak adlandırılır. Bu genetik çalışmalar sonucunda genetik yapısı bilinen verim özellikleri yönünden üstün verimliler seçilerek damızlık olarak kullanılır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile bilgisayar programları istatistik uygulamalar ile birlikte moleküler genetik araştırmalar verim yönünden birçok genin tanımlanmasına yarar sağlamıştır.

Moleküler genetik alanında geliştirilen restriksiyon parça uzunluk polimorfizmi (RFLP) ve dizi analizi gibi yöntemlerin kullanımı artmıştır. Bu yöntemler eldeki hayvan fenotipten bağımsız olarak, verimlerle ilişkili kantitatif özellik lokuslarında (quantitative trait loci, QTL) bulunan varyasyonların belirlenmesinde yarar sağlamaktadır. Belirlenen bu varyasyonlar ise istenen özellikler arasındaki ilişkilerin araştırılması çalışmalarında kullanılmaktadır.

Son yıllarda çiftlik hayvanlarında farklı verim özellikleriyle ilişkili olduğu ve genetik markör olarak kullanılabileceği bildirilen bazı genler belirlenmiştir. Sığır ve manda gibi büyük ruminatlarda süt, et ve döl verimi, koyun ve keçi gibi küçük ruminatlarda süt, et gibi önemli verim özelliklerinin ortaya

çıkmasında etkili olan bu özelliklerinin iyileştirilmesi için bazı genetik markörler bildirilmiştir.

Bu bölümün amacı keçilerde büyüme ve et verimini etkileyen bazı genlerdeki polimorfizm ve etkileri konusunda yapılmış çalışmalar hakkında bilgi sunmaktır.

BÜYÜME VE ET VERİMİ İLE İLİŞKİLİ GENLER

Büyüme Hormonu Geni (GH1)

Büyüme hormonu (Growth hormone) hipofiz bezinin ön lobundan salınan peptit yapısında bir hormondur. Büyüme hormonu başlıca kemik ve kıkırdak dokularının gelişimi olmak üzere bütün doku ve organlarda büyümeyi uyarmaktadır. Eksikliğinde cücelik (dwarfizm), fazlalığında ise aşırı büyüme ile sonuçlanan gigantizm durumu ortaya çıkmaktadır (Brinkman ve Sharma 2019). Büyüme hormonunun salınımı hipotalamustan salgılanan büyüme hormonu salgılatıcı hormon (Growth Hormone Releasing Hormone) tarafından uyarılırken yine hipotalamustan salgılanan somatostatin (Growth Hormone Inhibiting Hormone) hormonu tarafından baskılanmaktadır. Büyüme hormonu sistemik dolaşıma salındıktan sonra hedef dokularda insülin benzeri büyüme faktörleri (Insulin Like Growth Factor 1 ve 2, IGF-1 ve IGF2) adı verilen bir hormonun salınımını uyarmaktadır (Renaville ve ark. 2002, Polkowska ve ark. 2011). Büyüme hormonu etkisini hedef dokularda IGF-1 ve IGF-2 salınımını uyarak gerçekleştirmektedir (Renaville ve ark. 2002).

Büyüme hormonunu kodlayan gen keçilerde 19. Kromozom üzerinde haritalanmıştır (Schibler et al., 1998). Bu gen 1.8 kb uzuluğundadır ve büyüklükleri 13 ile 201 bp arasında değişen 5 ekson ve bu eksonları birbirinden ayıran 4 introndan oluşur (Kioka ve ark. 1989). Büyüme hormonu geni 217 aminoasit uzunluğunda bir proteini kodlamaktadır.

Büyüme hormonu genindeki polimorfizm ile ilgili ilk çalışma Malveiro ve ark. (2001) tarafından yayınlanmıştır. BH'nun 5. eksonunun SSCP metoduyla incelendiği çalışmada 1., 2., 3., 4. ve 5. Eksonlarda sırasıyla 2, 2, 4, 6 ve 5 farklı bant deseni tespit etmişlerdir. Tespit edilen bant desenlerine göre belirlenen genotiplerin frekansları Tablo 1'de gösterilmiştir. Malveiro ve ark. (2001) Algarvia keçi ırkında büyüme veya et verimi parametrelerini dikkate

almadıkları çalışmada 4. ve 5. Eksonlarda tespit edilen genotipler ile süt verimi arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1: GH geninin beş eksonunda SSCP metodu ile tespit edilen bant desenleri (Malveiro ve ark. 2001)

Ekson	Desen Sayısı	Desenin Frekansı (%)
1	2	M (97.2); N (2.8)
2	2	A/B (75.9); B/B (24.1)
3	4	A/A (8.3); B/B(33.3)A/B (18.5); B/C (39.8)
4	6	A/A (13.9) ; B/B (27.8); C/C (35.2); D/D (5.6); E/E (14.8); F/F(2.8)
5	5	A/A(2.8); B/B (27.8); A/B (14.8); B/C(44.4); A/C (10.2)

Gupta ve ark. (2007) Siyah Bengal keçilerinde büyüme hormonu geninin 4. ve 5. eksonlarını SSCP tekniği ile inceledikleri çalışmada 4. eksonda 7, 5. eksonda ise 5 farklı haplotip tespit etmişlerdir. Sekans analizi ile yaptıkları incelemede 4. eksonun 6. (Arjinin→Histidin), 23. (Serin→Treonin), 36. (Aspartik asit→Valin), 37. (Arjinin→Prolin) ve 54. (Arjinin→Tryptofan) ve ekson 5'in 10. (Glisin→Glutamik Asit) ve 14. (Lizin→Glutamik Asit) kodonlarında aminoasit değişikliğine neden olan polimorfizm tespit etmişlerdir. Diğer taraftan ekson 4 ve 5'te aminoasit değişikliğine neden olmayan toplam 8 polimorfizm olduğunu bildirmişlerdir. Gupta ve ark. (2009) Jakhrana ırkı keçileri dahil ettikleri çalışmada daha önce tespit edilmiş olan polimorfizme ek olarak 4. eksonun 7. kodonunda (Arjinin → Histidin ve Arjinin→Prolin) aminoasit değişikliğine neden olan iki polimorfizm, 5. eksonun 3. (Glutamik asit → Glisin), 23. (Arjinin→Löysin), 44. (Löysin→Glutamin), 60. (Glisin→Arjinin) ve 64. (Sistein→Tryptofan) kodonlarında aminoasit değişikliğine neden olan beş polimorfizm tespit etmişlerdir.

Hua ve ark. (2009), etçi bir ırk olan Boer keçilerinde GH1 geninin 2. ve 3. eksonlarını içeren bölgesinde 35. kodonda bir A781G polimorfizmi tespit etmiştir. Bu polimorfizm serin amino asiti yerine glisinin geçmesine neden olmaktadır. Bu polimorfizm HaeIII enzimi kullanılarak PCR-RFLP yöntemi ile tespit edilebilmektedir. Hua ve ark. (2009) bu bölgeyi içine alan 422 bç uzunluğundaki bir bölgeyi PCR işlemi ile çoğalttıktan sonra HaeIII enzimi ile

kesildiğinde AA genotipinde 366 ve 56 bç, AB genotipinde 422, 366 ve 56 bç uzunluğunda bantlar görüldüğünü bildirmiştir. Çeşitli keçi ırklarında bu polimorfizm açısından yapılan araştırmalardan bazılarının sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Growth Hormon geninde RFLP yöntemi ile (HaeIII) ile tespit edilen polimorfizmlerin çeşitli popülasyonlardaki dağılımı

Lokus/Metod	İrk	Allel Frekansı		Genotip Frekans			Kaynak
		A	B	AA	AB	BB	
GH1-HaeIII	Honamlı	0.60	0.40	0.19	0.81	0	Korkmaz Ağaoğlu ve ark. (2019)
GH1-HaeIII	Kıl Keçisi	0.57	0.43	0.15	0.85	0	Korkmaz Ağaoğlu ve ark. (2019)
GH1-HaeIII	Barkı	0.41	0.59				Alakilli ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Zaribi	0.62	0.38				Alakilli ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Ardi	0.43	0.57				Alakilli ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Masri	0.54	0.46				Alakilli ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Savanna			0.07	0.88	0.05	Marini ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Kalahari			0.36	0.64	0	Marini ve ark (2012)
GH1-HaeIII	Raini Cashmere	0.575	0.425	0.15	0.85	0	Gooki ve ark (2018)
GH1-HaeIII	Kilis	0.573	0.427	0.146	0.854	0	Gündüz ve ark (2025)

Hua ve ark. (2009) ayrıca A1575G olarak tanımladıkları eş anlamlı bir polimorfizm daha tespit etmiştir. Bu lokusun PCR işlemi ile çoğaltılmasıyla elde edilen 116 bç uzunluğundaki PCR ürünü HaeIII enzimi ile kesildiğinde CC genotipinde 88 ve 26 bç, CD genotipinde ise 116, 88 ve 26 bç uzunluğunda bantlar elde edilmektedir. GH geninin farklı eksonlarında SSCP yöntemi ile tespit edilen varyantların çeşitli keçi ırklarındaki frekansları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Hua ve ark. (2009) Boer keçilerinde A781G polimorfizmi açısından doğumda ölçülen göğüs çevresi bakımından AB (33.99 ± 0.92 cm) genotipine sahip bireylerin AA (32.58 ± 1.10 cm) bireylerine göre daha yüksek değerler gösterdiğini bildirmiştir. A1575G lokusunda süten kesim sırasında ölçülen

vücut yüksekliği bakımından CC (48.31 ± 0.38 cm) genotipli bireyler CD (46.01 ± 0.88 cm) genotiplilere göre daha yüksek değerler göstermektedir. Her iki lokustaki genotipler birlikte değerlendirildiğinde (AACC, AACD, ABCC, ABCD) bütün büyüme parametreleri açısından genotipler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 3: GH geninde SSCP yöntemi ile tespit edilen varyantlar ve frekansları.

Lokus/Yöntem	İrk	Allel/Varyant Frekansları	Kaynak
Ekson 3/SSCP	Boer (Çin)	A: 0.70; B: 0.21; C: 0.08	An ve ark. (2010)
Ekson 3/SSCP	Saanen (Çin)	A: 0.68; B: 0.25; C: 0.07	An ve ark. (2010)
Ekson 4/SSCP	Black Bengal	A: 0.08; B: 0.38; C: 0.08; D: 0.1; E: 0.14; F: 0.16; G: 0.06	Gupta ve ark. (2007)
Ekson 4/SSCP	Talli	A: 0.577; B: 0.162; C: 0.183; D: 0.008; E: 0.056 F: 0.014	Mousavizadeh ve ark. (2009)
Ekson 4/SSCP	Boer (Çin)	Monomorfik	An ve ark. (2010)
Ekson 4/SSCP	Saanen (Çin)	Monomorfik	An ve ark. (2010)
Ekson 5/SSCP	Black Bengal	A: 0.38; B: 0.40; C: 0.08; D: 0.10; E: 0.04	Gupta ve ark. (2007)
Ekson 5/SSCP	Boer (Çin)	E: 0.72; F: 0.07; G: 0.20	An ve ark. (2010)
Ekson 5/SSCP	Saanen (Çin)	E: 0.54; F: 0.21; G: 0.24	An ve ark. (2010)

Tablo 4: Boer keçilerinde A781G ve A1575G lokuslarındaki genotip kombinasyonları ile büyüme parametreleri arasındaki ilişki (Hua ve ark. 2009)

BÜYÜME ÖZELLİKL ERİ	KOMBİNE GENOTİPLER			
	AACC	AACD	ABCC	ABCD
Doğum ağırlığı (kg)	4.292±0.303ab	3.643±0.336b	4.140±0.230ab	4.296±0.291a
Doğum uzunluğu(cm)	31.489±1.153ab	29.923±1.176b	32.416±0.805ab	32.758±1.041a
Vücut yüksekliği(cm)	32.950±1.059a	29.638±1.351b	33.824±0.925a	34.798±1.197a
Doğumda göğüs çevresi(cm)	33.454±1.218ab	31.516±1.351b	33.824±0.925ab	34.197±1.034a
Sütten kesimde canlı ağırlık (kg)	16.029±1.183ab	11.777±1.392b	15.432±0.468ab	17.166±1.277a
Sütten kesim vücut uzunluğu (cm)	51.231±1.423a	46.016±1.675b	48.567±0.561ab	49.953±1.537ab
Sütten kesim cidago yüksekliği (cm)	49.244±1.077a	45.081±1.267b	48.141±0.425ab	47.814±1.163ab
Sütten kesim göğüs çevresi (cm)	56.733±1.686a	50.846±1.984b	54.004±0.665ab	56.454±1.82ab
Sütten kesim öncesi canlı ağırlık kazancı (kg/gün)	0.151±0.014ab	0.102±0.016b	0.151±0.005a	0.171±0.015a
11 aylık ağırlık canlı ağırlık (kg)	33.930±2.560ab	30.097±2.688b	33.841±2.082ab	35.821±2.607a

Benzer şekilde An ve ark.'nın (2010) Çin'de yetiştirilen Boer ırkı keçilerde SSCP yöntemi ile 3. ve 5. eksonlarda tespit ettikleri genotipler arasında canlı ağırlık, cidago yüksekliği, vücut uzunluğu ve göğüs çevresi ölçümleri arasında açısından önemli fark olduğunu göstermişlerdir (Tablo 5 ve 6).

Tablo 5: Boer keçilerinde büyüme hormon geninin 3. eksonundaki genotipler ile büyüme parametreleri arasındaki ilişki (An ve ark. 2010)

Generasyon	Genotip	Vücut Ağırlığı (kg)	Cidago Yüksekliği (cm)	Vücut Uzunluğu (cm)	Göğüs çevresi (cm)
Parental	AA	15.88 ±0.30a	45.34 ±0.35 a	46.39 ± 0.31a	53.19 ±0.41a
	AB	16.95 ±0.26b	45.16 ± 0.30a	46.61 ± 0.26a	53.27 ±0.35a
	AC	13.48 ±0.51c	42.12 ± 0.58b	44.28 ± 0.51 b	51.56 ± 0.58b
F1	AA	19.83 ± 0.34a	50.03 ± 0.42a	48.02 ± 0.44a	59.03 ± 0.38ab
	AB	20.97 ± 0.37 b	51.21 ± 0.44a	51.12 ± 0.47b	58.59 ± 0.41a
	AC	19.69 ± 0.77ab	50.46 ± 0.94a	52.15 ± 0.98b	60.54 ± 0.86b
F2	AA	14.81 ± 0.29a	46.09 ± 0.39 a	46.27 ± 0.32a	53.68 ± 0.33a
	AB	15.13 ± 0.27ab	44.82 ± 0.35b	46.36 ± 0.29a	53.19 ± 0.30a
	AC	16.18 ±0.60b	47.74 ±0.79a	46.95 ± 0.64a	55.16 ± 0.66b

Tablo 6: Boer keçilerinde büyüme hormon geninin 5. eksonundaki genotipler ile büyüme parametreleri arasındaki ilişki (An ve ark. 2010)

Generasyon	Genotip	Vücut Ağırlığı (kg)	Cidago Yüksekliği (cm)	Vücut Uzunluğu (cm)	Göğüs çevresi (cm)
Parental	EE	15.28 ±0.33a	44.32 ±0.32a	46.32 ±0.33 a	52.36 ± 0.45a
	EF	15.63 ±0.57a	44.24 ±0.55 a	46.72 ±0.58a	53.52 ±0.78a
	EG	13.85 ± 0.34b	43.53 ±0.33a	44.49 ± 0.35b	50.54 ±0.47b
F1	EE	20.79 ±0.58a	47.68 ±0.75a	46.74 ± 0.74 a	57.90 ± 0.63a
	EF	19.06 ±0.32b	50.11 ± 0.42b	49.65 ± 0.41b	58.19 ±0.35a
	EG	18.27 ±0.34c	48.26 ±0.44 a	49.33 ± 0.43b	58.26 ± 0.37a
F2	EE	14.78 ± 0.24a	45.61 ±0.32a	46.11 ± 0.30a	53.27 ± 0.26a
	EF	16.29 ±0.49b	46.44 ± 0.64a	45.91 ± 0.59a	53.57± 0.53ab
	EG	15.11 ± 0.27a	45.37 ±0.36a	45.61 ± 0.33a	54.47 ±0.39b

İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-1(Insulin Like Growth Factor-1, IGF-1)

İnsülin benzeri büyüme faktörleri (Insulin Like Growth Factor, IGF) insülin ile ilişkili protein yapısındaki faktör ailesinin üyesidirler. Keçi IGF-1 17.08 kDa Dalton molekül ağırlığına sahip 154 aminoasit uzunluğunda bir peptiddir. İnsülin gibi IGF-1’de birbirine disülfid bağlarıyla bağlı halde A ve B zincirlerinden oluşur. İnsülinle yapısal olarak benzerliğinden dolayı insülin reseptörüne bağlanabilmektedir (Laron ve ark. 2001). IGF-1’in amino asit dizilimi türler arasında oldukça korunmuş durumdadır (Renaville ve ark. 2002)

IGF-1 bir çok dokudan salıverilmekle birlikte en yüksek düzeyde karaciğerden salgınır ve endokrin hormon işlevini hedef dokularda gerçekleştirir. Karaciğer

dışında IGF-1 kıkırdak, ovudukt ve kas hücreleri tarafından da eksprese edilmektedir (Laron ve ark. 2001, Naicy ve ark. 2017). İnsanlarda 1966 ve 1968 yıllarında serum büyüme hormonu seviyesi normal olduğu halde gelişme geriliği olan bireyler tespit edilmiştir. Bu durum Laron Sendromu olarak adlandırılmıştır. Moleküler çalışmalar büyüme hormonu reseptöründeki çeşitli mutasyonlar nedeniyle IGF-1 üretiminin aksadığını göstermiştir. Buna bağlı olarak IGF-1 bağlayıcı proteinlerin sentezinde de azalma meydana gelmektedir (Laron ve ark. 2001). Ailenin diğer üyeleri gibi IGF-1 hormonu vücut sıvılarında birbiriyle ilişkili altı farklı bağlayıcı proteine bağlı olarak bulunur (Renaville ve ark. 2002).

Keçide 5. kromozom üzerinde haritalanmış olan IGF-1 geni (Schibler ve ark. 1998) olgun mRNAsı alternatif splicing ile farklı şekilde kombine olabilen altı eksondan oluşmaktadır.

Sharma ve ark. (2013) Hindistanda yetiştirilen Jammunapari ve Sirohi keçi ırklarında IGF-1 geninin sekans analizini yapmışlar ve 18 nükleotidde polimorfizm tespit etmişlerdir. Bunlardan intron 1’de yer alan T4700C ve ve intron 2’de yer alan C5524T polimorfizmleri ile Sirohi ırkında doğum ağırlığı ve farklı büyüme dönemlerindeki canlı ağırlıkları arasında istatistiksel olarak önemli ilişki bulunduğunu göstermişlerdir (Tablo7 ve 8).

Tablo 7: Sirohi ırkı keçilerde IGF1 geninin farklı bölgelerinde tespit edilen tek nükleotid polimorfizmleri (Sharma ve ark. 2013)

BÖLGE	SNP5	BÖLGE	SNP5
5’UTR	g.1617>A		g.2740A>C
Ekson 1	g.1941T>G	İntron 1	g.3006C>T
	g.1943T>G		g.3748C>T
	g.1947T>G		g.4244G>A
	g.1954A>C		g.4700T>Ca
	g.1977T>A		g.4791C>C
	g.1983T>A	İntron 2	g.5475G>T
	g.2132G>A		g.5476G>T
			g.5524C>Ta
		Ekson 4	g.6308T>G

Tablo 8. Sirohi ırkı keçilerde IGF1 geninde tespit edilen tek nükleotid polimorfizmleri ile farklı dönemlerdeki canlı ağırlık değerleri arasındaki ilişki (Sharma ve ark. 2013)

Lokus	Genotip	Canlı Ağırlık (kg)			
		Doğum Ağırlığı	3 Ay	6 Ay	9 Ay
g-4700T>C	TC(N-24)	2.50±0.10b	13.71±0.43b	17.19±0.45b	20.09±0.46b
	TT(N-144)	2.30±0.05a	12.34±0.20a	19.09±0.22a	19.09±0.22a
	P-VALUE	0.05	0.01	0.01	0.05
g-5524C>T	CC(N-159)	2.32±0.05	12.48±0.20	15.95±0.21a	19.08±0.21a
	CT(N-5)	2.34±0.22	13.40±0.93	18.33±0.96c	21.41±0.98c
	TT(N-5)	2.38±0.22	13.46±0.94	17.24±0.97b	20.18±0.09b
	P-Değeri	0.05	0.05	0.05	0.05

Rasouli ve ark (2017) İran'ın Markhoz keçilerinde SSCP yöntemi ve sekans analizi ile yaptıkları araştırmada IGF-1 geni 5' bölgesinin 1617. nükleotidinde tespit ettikleri G>A polimorfizmi ile farklı dönemlerde ölçülen canlı ağırlık değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki tespit etmemişlerdir.

Pou Domain Sınıf 1 Transkripsiyon Faktör 1 (POU1F1, PIT1)

POU1F1, POU domain sınıf 1 transkripsiyon factor 1 ifadesinin kısaltmasıdır. Bu protein PIT1 veya growth hormone factor 1 olarak da bilinmektedir. Yapısında POU domaini bu ailenin ilk tespit edilen PIT1, OCT1 ve Unc-86 genlerinin baş harflerinden oluşmaktadır (Herr et al., 1989). PIT1 POU-spesifik ve POU-Homeo adı verilen iki domain içermektedir. Bu domainler bu proteinin büyüme hormonu ve prolaktin genlerine bağlanmasını sağlamaktadır. Bu gen başlıca hipofiz bezinde (pituitary) eksprese edilmektedir ve büyüme hormonu ve prolaktin tiroid stimüle edici hormon beta (TSH-β) hormonlarının ekspresyonunda önemli rol oynamaktadır (Cohen et al., 1997).

Woollard ve ark. (2000) tarafından keçilerde 1. kromozom üzerinde haritalanmış olan (1q21–22) yaklaşık 21 kb büyüklüğündeki POU1F1 geni altı ekson ve beş introndan oluşmaktadır. Bu gen 317 aminoasit uzunluğunda bir proteini kodlamaktadır.

Lan ve ark. (2007a) POU1F1 geninin 6. eksonunda yer alan 241. kodonda DdeI enzimi yardımıyla tespit edilebilen TCT (241Ser)>TCG (241Ser) şeklinde

eşanlımlı bir polimorfizm tanımlamışlardır. Çin’de yetiştirilen dokuz farklı ırktan 801 keçi üzerinde yaptıkları araştırmada TT genotipindeki bireylerin süt verimi ortalamaları, ortalama yavru sayısı ve bir yaş canlı ağırlık ortalamalarının TG bireylerinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Zhu ve ark. (2019) Shaanbei POU1F1geninde daha önce tespit edilmiş olan 682G>T (HinfI) 723>T>G (DdeI) ve 837T>C (AluI) polimorfizmleri ile çeşitli vücut ölçüleri arasında önemli ilişkiler gözlemlemiştir (Tablo 9).

Tablo 9: Shaanbei POU1F1geninde tespit edilmiş olan 682G>T (HinfI) 723>T>G (DdeI) ve 837T>C (AluI) polimorfizmleri ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişki (Zhu ve ark. 2019).

LOKUS İSMİ	PARAMETRE	GENOTİPLER			P
		GG	GT	TT	
	CY(cm)	57.10b±0.21	58.67a±0.59	57.80ab±1.71	=0.044
	SY(cm)	60.24b±0.23	62.27a±0.64	59.90ab±2.06	=0.011
c.682G>T	VU(cm)	63.27B±0.26	65.70A±0.71	63.80AB±1.63	=0.006
	GG(cm)	18.75B±0.17	20.23A±0.51	17.90AB±1.89	=0.015
		TT	TG	GG	
	KG(cm)	20.98ab±0.23	20.56b±0.40	23.42a±0.75	=0.024
c.723T>G	VI(%)	138.69B±0.87	142.94A±1.12	141.72AB±3.66	=0.009
	GÇI(%)	153.90B±1.03	158.98A±1.31	157.78AB±4.50	=0.008
		TT	TC	CC	
	SY(cm)	60.89A±0.26	59.11B±0.40	58.29AB±1.10	=0.002
	GÇ(cm)	89.97A±0.51	86.80B±1.01	81.33B±2.33	≤0.010
c.837t>C	GD(cm)	27.64A±0.14	26.75B±0.25	27.32AB±0.66	=0.007
	GG(cm)	19.15a±0.19	18.06b±0.31	17.97ab±0.71	=0.015
	VI(%)	141.58a±0.77	138.41a±1.54	127.21b±2.83	≤0.027

CY: Cidago Yüksekliği; SY: Sağrı Yüksekliği; VU: Vücut Uzunluğu; GG: Göğüs Genişliği; KG: Kalça Genişliği; GÇI: Göğüs Çevresi İndeksi; VI: Vücut İndeksi; GÇ: Göğüs Çevresi; GD: Göğüs Derinliği

Zhu ve ark. (2019) bu SNP’lerin kombinasyonlarından oluşan yedi haplotip belirlemişlerdir. Hap1 (GGTT), Hap2 (GTCT), Hap3 (GTTT), Hap4 (TGCT), Hap5 (TGTT), Hap6 (TTCT), and Hap7 (TTTT). Bu etki haplotip düzeyinde yapılan karşılaştırmada daha da belirgin olarak görülmüştür. Zhu ve ark. (2019) tarafından çeşitli vücut ölçüleri ile haplotipler arasındaki ilişki Tablo 10 de gösterilmiştir.

Tablo 10: POU1F1 genindeki bazı haplotipler ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişki (Zhu ve ark. 2019)

PARAMETRE	H3H1(N)	H3N2(N)	H3N3(N)	H3N7(N)	P
CY(cm)	56.93ab±0.40	56.62b±0.49	57.96ab±0.36	59.21a±0.76	=0.048
SY(cm)	60.51AB±0.42	58.81B±0.49	61.07A±0.41	62.94A±0.88	≤0.008
VU(cm)	63.35ab±0.47	62.57b±0.56	63.84ab±0.46	65.94a±1.02	=0.029
GÇ(cm)	91.16A±0.80	86.34B±1.32	89.52AB±0.81	90.66AB±1.78	=0.007
GD(cm)	27.57ab±0.23	26.60b±0.32	27.69a±0.23	28.32a±0.53	≤0.042
GG(cm)	19.14a±0.32	17.50b±0.31	19.13a±0.30	20.21a±0.69	≤0.013
GÇİ(%)	160.78a±1.48	153.39b±2.48	154.95b±1.30	153.13ab±2.78	=0.026

CY: Cidago Yüksekliği; SY: Sağrı Yüksekliği; VU: Vücut Uzunluğu; GG: Göğüs Genişliği; KG: Kalça Genişliği; GÇİ: Göğüs Çevresi İndeksi; VI: Vücut İndeksi; GÇ: Göğüs Çevresi; GD: Göğüs Derinliği

Lan ve ark. (2007b) POU1F1 geninin 279. (Serin) kodunda eş anlamlı AGT>AGC şeklinde başka bir polimorfizm daha tespit etmişlerdir. Bu polimorfizm AluI enzimi yardımıyla PCR-RFLP yöntemi ile tespit edilebilmektedir. Çin’de yetiştirilen dokuz farklı ırktan 801 keçi üzerinde yaptıkları araştırmada TC genotipindeki bireylerin süt veriminin (593.30 ± 12 kg) TT genotipine sahip bireylerden önemli ölçüde yüksek bulunurken TT bireylerinde doğum ağırlığı ($3.28b \pm 0.02$) TC bireylerinden ($3.00a \pm 0.04$) daha yüksek bulunmuştur. Lan ve ark. (2009) Shaanbei ırkı keçilerde POU1F1 geninin 6. eksonuna komşu 3’ tercüme edilmeyen bölgesinde (3’ UTR) PstI enzimi için bir kesim bölgesi polimorfizmi (110T>C) tespit etmişlerdir. Kaşmir üretim ile ilişkilendirdikleri çalışmada TT genotipindeki bireylerin beş yıllık ortalama kaşmir verimlerinin TC genotipindekilere göre daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Genlerin 3’UTR bölgeleri protein şeklinde tercüme edilmeseler de gen ekspresyonunun düzenlenmesinde rolleri olabilmektedir. Nitekim Işık ve Bilgen (2019) bu polimorfizmin Saanen keçilerinde doğum ağırlığını önemli ölçüde etkilediğini tespit etmiştir (TT: 3.74 kg; TC: 3.89 kg; CC: 4.73kg). Ancak Korkmaz-Ağaoğlu ve ark. (2019) Honamlı ve Kıl keçileri üzerinde yürüttükleri çalışmada 3’UTR bölgesindeki PstI polimorfizmi ile 90, 120, 180 ve 365 günlük canlı ağırlıklar arasında istatistiksel açıdan önemli bir ilişki tespit edememişlerdir.

Myostatin (GDF8)

Myostatin, dönüştürücü gelişim faktörleri (Transforming growth factor, TGF- β) ailesi içerisinde yer alan ve gelişim ve farklılaşma faktörü 8 (Growth and Differentiation Factor 8, GDF8) olarak tanımlanan bir proteindir (Sharma ve ark. 1999). Myostatin embriyonik gelişim sırasında myoblastların gelişerek farklılaşmasını önleyerek kas gelişimini güçlü şekilde engeller. Nitekim farelerde myostatin geninin çeşitli şekillerde etkisizleştirilmesinin aşırı kas gelişimi ile sonuçlandığı gözlenmiştir (McPherron 1997, Grobet ve ark. 2003; Whittemore ve ark. 2003). Kas hücrelerinin sayısal olarak çoğalması (hiperplazi) ve hacimlerinin artması (hipertrofi) nedeniyle myostatin geni susturulmuş 5 aylık homozigot farelerin canlı ağırlıkları normal farelere göre %260 oranında daha yüksek olarak bulunmuştur (McPherron 1997). Ayrıca follistatin gibi myostatin inhibitörlerinin aşırı ekspresyonu benzer bir fenotipin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Lee and McPherron, 2001).

Myostatin geninde doğal olarak meydana gelen mutasyonlar sığır (Grobet ve ark. 1997, Kambadur ve ark. 1997), koyun (Clop ve ark. 2006), köpek (Mosher ve ark. 2007), fare (Szabo 1998) ve insanda da (Schuelke ve ark. 2004) aşırı kas gelişimi ile sonuçlanmaktadır. Yüksek et verimi ile karakterize Belçika Mavisı ırkı sığırlarda myostatin geninin (MSTN) 3. eksonundaki 11 nükleotitlik bir delesyonun bu geni tamamen etkisizleştiren bir çerçeve kaymasına neden olduğu bildirilmiştir (Sharma ve ark. 1999).

Keçilerde GDF8 geni 375 amino asit uzunluğunda bir proteini kodlamaktadır. Yaklaşık 6 kb büyüklüğünde olan gen benzer uzunlukta üç eksondan oluşmaktadır. GDF8 geni keçilerde 2. kromozom üzerinde haritalanmıştır (Schiebler ve ark. 1998).

Myostatin kodlayan gende meydana gelen mutasyonların çeşitli hayvan türlerinde kas gelişimini arttırması nedeniyle çiftlik hayvanlarında bu gendeki varyasyonların büyüme ve et verimi ile ilişkisi konusunda yoğun araştırmalar yapılmıştır (Aiello ve ark. 2018).

Li ve ark. (2005) Çin'de yetiştirilen 17 farklı keçi ırkında GDF8 geninin 2. intronunun bir kısmı ile 3. eksonunu içeren bölgede A1980G, G1981C, A1982G, G1984T, A2121G, T2124C, G2174A ve A2246G şeklinde sekiz SNP

tespit etmişlerdir. Bunlardan A2246G hariç diğerleri intron bölgesinde bulunmuştur.

Bunlara ek olarak Zhang ve ark. (2011) Boer, Matou, Haimen ve Nubi keçi ırklarında bu genin 5'UTR bölgesini içeren 701 bç lik kısımda TTTTA şeklinde bir delesyon (A aleli) tespit etmişlerdir. Bu polimorfizm DraI enzimi yardımıyla tespit edilebilmektedir. Ayrıca Boer ırkında aynı genin 1. eksonunda ise 1388T/A olarak tanımladıkları bir polimorfizm daha bildirmişlerdir. TTTTA delesyonunu taşıyan bireylerin (AA veya AB) 90. ve 300. gün ortalama canlı ağırlıkları bu delesyonu taşımayanlardan (BB) daha yüksek bulunmuştur. Ekson 1'de tespit edilen 1388T/A polimorfizmi açısından AA ve AT genotipli bireylerin 90. canlı ağırlıklarının TT genotiplilerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

BMP4 (Bone Morphogenetic Protein 4)

Kemik şekillendirici proteinler (Bone Morphogenetic Protein; BMP) dönüştürücü büyüme faktörü-beta (transforming growth factor-beta TGF-b) üst ailesinin üyesidirler. Kemik gelişimi yanında BMP'lerin embriyonik gelişim, homeostazis, dokuların onarımı, hücrel farklılaşma ve apoptozis süreçlerinde rolleri vardır (Fang ve ark. 2009).

BMP4 geni 409 aminoasit uzunluğunda bir proteini kodlar ve iki eksondan oluşmaktadır. Bu proteinin aminoasit dizilimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Keçide BMP4 geninin kromozomal lokalizasyonu hakkında literatür veri bulunmamakla birlikte bu gen koyunda 7. kromozom üzerinde haritalanmıştır (Jenkins ve Montgomery 1999). NCBI verilerine göre keçi BMP4 geni 10. kromozom üzerinde yer almaktadır (Anonim 2020g).

Keçi'de BMP4 genindeki polimorfizmle ilgili ilk çalışma Fang ve ark. (2009) tarafından yayınlanmıştır. Fang ve ark (2009) Çin'deki Xuhuai, Boer, Haimen keçi ırklarında BMP4 geninin ikinci eksonu ile ikinci intron ve komşu bölgesini PCR-SSCP yöntemi ile incelemişler ve sadece ikinci intron ve komşu bölgesinde polimorfizm tespit etmişlerdir. Bu polimorfizmler sekans analizi ile A1986G ve G2203A (Gen Bankası kayıt no: EU104684) olarak tanımlanmıştır. Fang ve ark (2009) ayrıca ikinci intronun komşu bölgesinde (3' flanking region) CA dizisinin tekrarlandığı bir mikrosatellit lokusu tespit etmişlerdir. Bu

lokusta 24, 17 ve 14 tekrardan oluşan üç allel (sırasıyla A, B ve C) bulunmuştur. İkinci intronda tespit edilen AA, AB ve BB genotiplerini taşıyan bireylerin çeşitli vücut ölçülerini karşılaştırdıklarında cidago yüksekliği (AA: 62.09 ± 0.74 ; 57.83 ± 1.25 BB: 56.12 ± 2.67) ve göğüs çevresi (cm) AA: 80.24 ± 1.19 AB: 75.00 ± 2.02 BB: 71.21 ± 4.31) bakımından genotipler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11: BMP4 geninin ikinci intronunda tespit edilen genotipler ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişki (Fang ve ark. 2009)

Parametre	Genotip			P
	AA(N=151)	AB(N=38)	BB(N=15)	
CY(cm)	62.09 ± 0.74	57.83 ± 1.25	56.12 ± 2.67	0.01
VU(cm)	76.57 ± 6.44	75.91 ± 3.02	74.00 ± 1.79	0.67
GÇ(cm)	80.24 ± 1.19	75.00 ± 2.02	71.21 ± 4.31	0.03
VUI(%)	117.00 ± 0.02	131.00 ± 0.04	129.00 ± 0.09	0.06
GÇİ(%)	126.00 ± 0.01	127.00 ± 0.02	128.00 ± 0.05	0.60

CY = Vücut yüksekliği; VU = Vücut uzunluğu; GÇ = Göğüs çevresi; VUI= Vücut uzunluğu indeksi; GÇİ = Göğüs çevre indeksi;

Mikrosatellit lokusunda tespit edilen genotipler bakımından yapılan karşılaştırmada da cidago yüksekliği (En yüksek BB: 61.16 ± 0.83 ; En düşük AB: 56.31 ± 1.52) göğüs çevresi (En yüksek BB: 77.78 ± 1.37 ; En düşük AB: 74.43 ± 2.50) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12: BMP4 geninin ikinci intronunda tespit edilen genotipler ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişki (Fang ve ark. 2009)

Parametre	GENOTİPLER						P
	AA	AB	AC	BB	BC	CC	
CY (cm)	58.24±1.36	56.31±1.52	58.70±1.40	61.16±0.83	59.90±1.22	59.31±2.41	0.01
VU (cm)	71.80±3.63	67.11±4.04	70.70±3.72	72.20±2.22	72.29±3.26	72.29±6.42	0.26
GÇ (cm)	75.62±2.24	74.43±2.50	73.46±2.30	77.78±1.37	74.85±2.02	75.13±3.97	0.02
VUI (%)	125.0±0.05	119.0±0.05	119.0±0.05	118.0±0.03	121.0±0.04	138.0±0.08	0.25
GÇİ (%)	130.0±0.02	133.0±0.02	126.0±0.02	128.0±0.01	126.0±0.02	128.0±0.04	0.07
TI (%)	106.0±0.02	111.0±0.03	106.0±0.02	108.0±0.01	105.0±0.02	96.0±0.05	0.01

CY = Cidago yüksekliği; VU = Vücut uzunluğu; GÇ = Göğüs çevresi; VUI= Vücut uzunluğu indeksi; GÇİ = Göğüs çevre indeksi;

SONUÇ

Keçilerde büyüme ve et verim özellikleri üzerinde etkili genlerin belirlenmesi için moleküler genetik yöntemler yarar sağlamaktadır. Gen markörleri ve moleküler genetik yöntemler keçilerde büyüme ve et verimi gibi ekonomik açıdan önemli karakterler yönünden yapılan seleksiyon işlemlerinde önem kazanmaktadır.

Bu seminer çalışmasında keçilerde büyüme ve et verimi etkileyen bazı genlerde tespit edilen polimorfizmler ve bu polimorfizmlerin büyüme ve et verimi üzerine etkileri konusunda yapılmış olan bilimsel çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Tespit edilen polimorfizmlerin etkisi üzerinde durulan karaktere göre ve ırka göre değişebilmektedir. Diğer taraftan aynı gen üzerindeki farklı polimorfik bölgelerin etkisi de değişebilmektedir.

Boer keçilerinde GH1 geninin 3. ve 5. eksonundaki genotipler ile büyüme parametreleri arasında ilişki görülmüştür.

Sirohi ırkı keçilerde IGF1 geninde tespit edilen tek nükleotid polimorfizmleri ile farklı dönemlerdeki canlı ağırlık değerleri arasındaki ilişki bulunmuştur.

Shaanbei keçi ırkında POU1F1 geninde tespit edilmiş olan 682G>T (HinfI) 723>T>G (DdeI) ve 837T>C (AluI) polimorfizmleri ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişki bulunmuştur.

Myostatin geninde Boer, Matou, Haimen ve Nubi keçi ırklarında TTTTA şeklinde bir delesyon (A aleli) tespit etmişlerdir. TTTTA delesyonunu taşıyan bireylerin (AA veya AB) 90. ve 300. gün ortalama canlı ağırlıkları bu delesyonu taşımayanlardan (BB) daha yüksek bulunmuştur.

Keçi'de BMP4 genindeki polimorfizmle Çin'deki Xuhuai, Boer, Haimen keçi ırklarında ikinci intron ve komşu bölgesinde polimorfizm tespit etmişlerdir.

İkinci intronda tespit edilen AA, AB ve BB genotiplerini taşıyan bireylerin çeşitli vücut ölçülerini karşılaştırdıklarında cidago yüksekliği (AA:62.09 ± 0.74; 57.83 ± 1.25 BB: 56.12±2.67) ve göğüs çevresi (cm) AA:80.24± 1.19 AB:75.00± 2.02 BB:71.21 ± 4.31) bakımından genotipler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abaylı F.N. (2018). Çiftlik Hayvanlarında Markör Destekli Seleksiyon. Black Sea Journal of Agriculture, 1, 94-101.
- Aiello, D., Patel, K., & Lasagna, E. (2018). The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals. Animal genetics, 49(6), 505-519.
- Alakilli, S. Y., Mahrous, K. F., Salem, L. M., & Ahmed, E. S. (2012). Genetic polymorphism of five genes associated with growth traits in goat. African Journal of Biotechnology, 11(82), 14738-14748.
- Anonim (2020a). Küçükbaş Hayvan Sayıları
<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>. Erişim tarihi 06.11.2020
- Anonim (2020b). Kesilen Hayvan Sayısı ve Et Üretim Miktarı
<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>. Erişim tarihi 06.11.2020
- Anonim (2020c): Capra hircus haplotype 4 growth hormone (GH) gene, complete cds. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/GU355689.1>, Erişim tarihi: 07.12.2020.
- Anonim (2020d). Capra hircus insulin-like growth factor-I (IGF1) gene, complete cds <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/HQ731040.1>. Erişim Tarihi: 07.12.2020.
- Anonim (2020e). Capra hircus POU domain transcription factor 1 (POU1F1) mRNA, complete cds.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/EU256162.1>. Erişim Tarihi: 10.12.2020.
- Anonim (2020f). Capra hircus breed Guizhou Black myostatin (MSTN) gene, complete cds. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/EF588035.1>. Erişim Tarihi: 12.12.2020.
- Anonim (2020g). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/100860789#reference-sequences>; Erişim Tarihi: 22.12.2020.
- Anonim (2020h). Capra hircus bone morphogenetic protein 4 (bmp4) gene, complete cds. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/EU104684>; Erişim Tarihi: 22.12.2020
- Boler, D. D., & Woerner, D. R. (2017). What is meat? A perspective from the American Meat Science Association. Animal Frontiers, 7(4), 8-11.

- Brinkman, J. E., & Sharma, S. (2019). Physiology, Growth Hormone. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
- Clop A, Marcq F, Takeda H, Pirottin D, Tordoir X, Bibe B, Bouix J, Caiment F, Elsen JM, Eychenne F, Larzul C, Laville E, Meish F, Milenkovic D, Tobin J, Charlier C, Georges M (2006) A mutation creating a potential illegitimate microRNA target site in the myostatin gene affects muscularity in sheep. *Nat Genet* 38(7):813–818. doi:10.1038/ng1810 10.
- Cohen LE, Wondisford FE, Radovick S (1997). Role of Pit-1 in the gene expression of growth hormone, prolactin, and thyrotropin. *Endocrinol. Metab. Clin. North Am.* 25:523-540.
- Cotton, T. R., Fischer, G., Wang, X., McCoy, J. C., Czepnik, M., Thompson, T. B., & Hyvönen, M. (2018). Structure of the human myostatin precursor and determinants of growth factor latency. *The EMBO journal*, 37(3), 367-383.
- Gooki, F. G., Mohammadabadi, M. R., & Fozzi, M. A. (2018). Polymorphism of the growth hormone gene and its effect on production and reproduction traits in goat. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(4).
- Grobet L, Pirottin D, Farnir F, Poncelet D, Royo LJ, Brouwers B, Christians E, Desmecht D, Coignoul F, Kahn R, Georges M (2003) Modulating skeletal muscle mass by postnatal, musclespecific inactivation of the myostatin gene. *Genesis* 35(4):227–238. doi:10.1002/gene.10188
- Gündüz, Z. (2025). Combined genotype effects of PRLR and GH polymorphisms on litter weight in Kilis goats. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3), 793-802.
- Hanoğlu, H. (2013). Organik Tarım Mevzuatına Göre Türkiye'de Büyükbaş Ve Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliği. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 19(1).
- Herr W, Sturm RA, Clerc RG, Corcoran LM, Baltimore D, Sharp PA, Ingraham HA, Rosenfeld MG, Finney M, Ruvkun G (1989). "The POU domain: a large conserved region in the mammalian pit-1, oct-1, oct-2, and *Caenorhabditis elegans* unc-86 gene products". *Genes Dev.* 2 (12A): 1513–6.

- Hua, G. H., Chen, S. L., Yu, J. N., Cai, K. L., Wu, C. J., Li, Q. L., ... & Shen, Z. (2009). Polymorphism of the growth hormone gene and its association with growth traits in Boer goat bucks. *Meat science*, 81(2), 391-395.
- Işık, R., & Bilgen, G. (2019). Associations between genetic variants of the POU1F1 gene and production traits in Saanen goats. *Archives animal breeding*, 62(1), 249.
- Jenkins, Z. A., & Montgomery, G. W. (1999). Linkage mapping of genes encoding bone morphogenetic proteins 1, 4 and 5 in Sheep. *Animal genetics*, 30(2), 163-164.
- Kaymakçı, M., & Engindeniz, S. (2010). Türkiye’de keçi yetiştiriciliği: sorunlar ve çözümler. *Ulusal Keçicilik Kongresi 24–26 Haziran 2010*, 1-25.
- Kinghorn BP, van Arendonk JAM, Hetzel J. 1994. Detection and use of major genes in animal breeding. *AgBiotech News Infor*, 6: 297-302.
- Kioka N, Manabe E, Abe M, Hashi H, Yato M, Okuno M, Yamano Y, Sakai H, Komano T, Utsumi K, Iritani A (1989). Cloning and sequencing of goat growth hormone gene. *Agric. Biol. Chem.* 53:1583-1587.
- Korkmaz-Ağaoğlu, Ö., Elmaz, Ö., Akyüz, B., Zeytünlü, E., & Saatci, M. (2019). Identifying polymorphism in some genes and their effects on growth performance in Honamli and hair goat breeds. *Genetika*, 51(3), 995-1008.
- Lan, X. Y., Pan, C. Y., Chen, H., Lei, C. Z., Hua, L. S., Yang, X. B., ... & Lun, Y. Z. (2007). DdeI polymorphism in coding region of goat POU1F1 gene and its association with production traits. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(9), 1342-1348.
- Lan, X. Y., Pan, C. Y., Chen, H., Zhang, C. L., Li, J. Y., Zhao, M., ... & Zhang, L. (2007b). An AluI PCR-RFLP detecting a silent allele at the goat POU1F1 locus and its association with production traits. *Small Ruminant Research*, 73(1-3), 8-12.
- Lan, X. Y., Shu, J. H., Chen, H., Pan, C. Y., Lei, C. Z., Wang, X., ... & Zhang, Y. B. (2009). A PstI polymorphism at 3' UTR of goat POU1F1 gene and its effect on cashmere production. *Molecular biology reports*, 36(6), 1371-1374.
- Laron, Z. (2001). Insulin-like growth factor 1 (IGF-1): a growth hormone. *Molecular Pathology*, 54(5), 311.

- Lee SJ, McPherron AC (2001) Regulation of myostatin activity and muscle growth. *Proc Natl Acad Sci USA* 98: 9306–9311.
- Li, X. L., Wu, Z. L., Gong, Y. F., Liu, Y. Q., Liu, Z. Z., Wang, X. J., ... & Ji, Q. (2006). Single-nucleotide polymorphism identification in the caprine myostatin gene. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123(2), 141-144.
- Malveiro, E., Pereira, M., Marques, P. X., Santos, I. C., Belo, C., Renaville, R., & Cravador, A. (2001). Polymorphisms at the five exons of the growth hormone gene in the algarvia goat: possible association with milk traits. *Small Ruminant Research*, 41(2), 163-170.
- Amie Marini, A. B., Aslinda, K., Hifzan, R. M., Muhd. Faisal, B., & Musaddin, K. (2012). HaeIII-RFLP Polymorphism of growth hormone gene in Savanna and Kalahari goats.
- McPherron AC, Lawler AM, Lee SJ (1997) Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member. *Nature* 387(6628):83–90
- Mosher DS, Quignon P, Bustamante CD, Sutter NB, Mellersh CS, Parker HG, Ostrander EA (2007) A mutation in the myostatin gene increases muscle mass and enhances racing performance in heterozygote dogs. *PLoS Genet* 3(5):e79. doi:10. 1371/journal.pgen.0030079
- Mousavizadeh, A., Mohammadabadi, M. R., Torabi, A., NASIRI, M., Ghiasi, H., & ESMAEILIZADEH, K. A. (2009). Genetic polymorphism at the growth hormone locus in Iranian Talli goats by polymerase chain reaction-single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP).
- Naicy ve ark. (2017) Hindistan'daki Malabari ve Attappady Black keçi ırkları üzerinde yaptıkları araştırmada IGF-1 geninin en yüksek düzeyde uterusda daha sonra ise sırasıyla karaciğer ovidukt ve kaslarda eksprese olduğunu tespit etmişlerdir.
- Nguluma A S, Huang Y, Zhao Y, Chen L, Msalya G, Lyimo C, Guangxin E and Chenyambuga S W 2018: Polymorphisms of Myostatin gene and its association with growth in two strains of Small East African and Blended goats of Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 30, 25.
- Özder M. (1997). Keçi Irkları: Keçi Yetiştiriciliği Kitabı. Kaymakçı M., Aşkın Y. Baran Ofset, Ankara.

- Özşensoy, Y., & Kurar, E. (2013). Genetik Bağlantı Analizi ve Uygulama Alanları. *Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University/Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 10(1).
- Polkowska, J., Wańkowska, M., Romanowicz, K., Gajewska, A., Misztal, T., & Wójcik-Gładysz, A. (2011). The effect of intracerebroventricular infusions of ghrelin and/or short fasting on the gene expression and immunoreactivity of somatostatin in the hypothalamic neurons and on pituitary growth hormone in prepubertal female lambs. *Morphological arguments. Brain Research*, 1414, 41-49.
- Rasouli, S., Abdolmohammadi, A., Zebarjadi, A., & Mostafaei, A. (2017). Evaluation of polymorphism in IGF-I and IGFB-3 genes and their relationship with twinning rate and growth traits in markhoz goats. *Annals of Animal Science*, 17(1), 89-103.
- Renaville, R., Hammadi, M., & Portetelle, D. (2002). Role of the somatotrophic axis in the mammalian metabolism. *Domestic animal endocrinology*, 23(1-2), 351-360.
- Schuelke, M., Wagner, K. R., Stolz, L. E., Hübner, C., Riebel, T., Kömen, W., ... & Lee, S. J. (2004). Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child. *New England Journal of Medicine*, 350(26), 2682-2688.
- Schibler, L., Vaiman, D., Oustry, A., Giraud-Delville, C., & Cribiu, E. P. (1998). Comparative gene mapping: a fine-scale survey of chromosome rearrangements between ruminants and humans. *Genome Research*, 8(9), 901-915.
- Sharma M, Kambadur R, Matthews KG, Somers WG, Devlin GP, Conaglen JV, Fowke PJ, Bass JJ: Myostatin, a transforming growth factor- β superfamily member, is expressed in heart muscle and is upregulated in cardiomyocytes after infarct. *J Cell Physiol* 180: 1–9, 1999
- Sharma, A., Dutt, G., Sivalingam, J., Singh, M. K., Pathodiya, O. P., Khadda, B. S., & Dixit, S. P. (2013). Novel SNPs in IGF1, GHR and IGFBP-3 genes reveal significant association with growth traits in Indian goat breeds. *Small Ruminant Research*, 115(1-3), 7-14.
- Szabo G, Dallmann G, Muller G, Patthy L, Soller M, Varga L (1998) A deletion in the myostatin gene causes the compact (Cmpt) hypermuscular mutation in mice. *Mamm Genome* 9(8):671–672

- Woollard, J., Tuggle, C. K., & Ponce de Leon, F. A. (2000). Rapid communication: localization of POU1F1 to bovine, ovine, and caprine 1q21-22. *Journal of animal science*, 78(1), 242-243.
- Yurdakul, Ö. K., Yalçın H. (2014). Keçi Etinin Özellikleri ve Faydaları. *Ayrıntı Dergisi*, 2(19).
- Whittemore LA, Song K, Li X, Aghajanian J, Davies M, Girgenrath S, Hill JJ, Jalenak M, Kelley P, Knight A, Maylor R, O'Hara D, Pearson A, Quazi A, Ryerson S, Tan XY, Tomkinson KN, Veldman GM, Widom A, Wright JF, Wudyka S, Zhao L, Wolfman NM (2003) Inhibition of myostatin in adult mice increases skeletal muscle mass and strength. *Biochem Biophys Res Commun* 300(4):965–971 (pii):S0006291X02029534
- Zhang, C., Liu, Y., Xu, D., Wen, Q., Li, X., Zhang, W., & Yang, L. (2012). Polymorphisms of myostatin gene (MSTN) in four goat breeds and their effects on Boer goat growth performance. *Molecular biology reports*, 39(3), 3081-3087.
- Zhu, H., Zhang, Y., Bai, Y., Yang, H., Yan, H., Liu, J., ... & Pan, C. (2019). Relationship between SNPs of POU1F1 gene and litter size and growth traits in Shaanbei white cashmere goats. *Animals*, 9(3), 114.

BÖLÜM 3

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA DUYGUSAL DURUM, DAVRANIŞ VE HAYVAN REFAHI

Doç. Dr. Gökçe ÖZDEMİR¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18138843>

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Sivas, TÜRKİYE
gokceozdemir@cumhuriyet.edu.tr ORCID: 0000-0003-1977-130X

GİRİŞ

Çiftliklerde, hayvanlara sunulan bakım-besleme, sosyal koşullar, hayvanların kısıtlı ortamlarda barındırılmaları ve erken yaşta yavruların annelerinden ayrılması gibi örnekleri artırılabilir daha birçok uygulama hayvanların sağlığı, verimleri ve refahı üzerinde olumlu veya olumsuz bazı etkiler oluşturabilmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Sutherland et al., 2012; Akbaş, 2013; Canpolat, 2016). Hayvan refahı ve sağlığının üç temel unsuru: hayvanların davranışları, duygusal durumları ve biyolojik-fizyolojik özellikleri olup, bu önemli araçların hassas olması, spesifik göstergeleri olmama olasılığı ve yorumlama zorlukları gibi sınırlamaları bulunmaktadır (Paul et al., 2005; Watanabe, 2007; Boissy et al 2011). Çiftlik hayvanlarının insan kontrolünde düzenlenmiş koşullarında yetiştirilmeleri davranış kalıplarında farklılaşmalar yaratmaktadır. Duygusal durumlar ise; fizyolojik, davranışsal, bilişsel ve öznel bileşenlerden oluşan çok yönlü bir yapı olup, hayvanların ruh hallerinde, barınma ve yetiştirme ortamlarının etkisiyle bir değişim olabilmektedir. İnsanlarda dilsel bildirimlerden çıkarılabilen, öznel ve bilinçli deneyimi olan duygu, hayvanlarda doğrudan ölçümü zordur. Ancak, bilim insanları hayvanlarda duygunun diğer bileşenleri olan davranışsal ve fizyolojik değişiklikleri ölçerek duygusal süreçleri izlemek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Büyük oranda keşfedilmemiş bilgi kaynakları olan hayvan davranışları ve duygularına yönelik gizemi ortaya koymak hayvanların sağlığı, verimliliği ve refahları gibi önemli konularda daha kolay çiftlikte uygulanabilir çözümler üretebilmek amacıyla bilim insanları çeşitli araştırmalar yürütmektedirler (Paul et al., 2005; Boissy et al 2011; Reefmann et al., 2012; Akbaş, 2013; Boyle et al., 2022).

Bu bölümde, küçükbaş hayvanların türlerine özgü duygu durumları ve davranışları arasındaki ilişki ve bütüncül bir yaklaşımla üretim sürecinde koyun ve keçilerde duygu durum ve davranışların hayvan sağlığı, verimliliği, refahı ve yaşam kalitesi üzerine etkileri hakkında literatür bilgileri özetlenerek, sunuldu.

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA DUYGUSAL DURUM VE HAYVAN REFAHI

Duygular, bir bireyin çeşitli uyaranlara, durumlara veya beklentilere verdiği tepkilerden kaynaklanan; öznel, bilişsel, fizyolojik ve davranışsal tepkilerle örtüşebilen içsel psikolojik durumlardır. Duygular, hayvanlara zarar/cezadan kaçınma ve değerli kaynaklar/ödül arama yeteneği veren temel mekanizmalardan evrimleşmiş olması muhtemel süreçleri ifade eder (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2007; Anderson et al., 2015). Duygular, uyumsal davranışsal, fizyolojik ve sinirsel süreçleri içerir ve bilim insanları, hayvanlardan bahsederken duygu terimini kullanmak yerine duygusal süreçler/durumlar gibi ifadeleri kullanmaktadır (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006; Anderson et al., 2015).

Bir hayvanın duygusal durumunun ölçülmesi, duygusal sinirbilim, psikofarmakoloji, evrimsel zooloji, karşılaştırmalı psikoloji ve hayvan refahı bilimi gibi birçok alandaki araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Hayvanların duygusal durumlarını ölçmek için çok çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Duygusal durumlar değerlikleri (negatiften pozitive değişen) ve uyarılma düzeyleri (düşükten yükseğe) ile tanımlanabilmektedir (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006; Watanabe, 2007; Boissy et al., 2007; Dwyer, 2009).

Hayvan refahı çoğunlukla; beslenme, çevre, sağlık, davranış ve duygusal durum olmak üzere beş özgürlük kriteri altında bir model olarak değerlendirilmektedir. Bu temel modelle birlikte üç yönelim yaklaşımı altında biyolojik işlevsellik (hastalık ve yaralanmadan uzak olma), duygusal durum (hisler ve duygular) ve doğal yaşam (normal davranışları) kriterlerinde hayvan refahını değerlendirmektedir (Goddard et al., 2006; Watanabe, 2007; Dwyer, 2009; Mattiello et al., 2019; Boyle et al., 2022). Hayvan temelli göstergeler, hayvanın çevresi içindeki deneyimini doğrudan yansıttığı için temel bir unsur olarak hayvanın duygularına odaklanması refahı değerlendirmenin en iyi yolu olarak kabul görmektedir. Duygusal durumlar, hayvan refahının yaygın olarak tartışılan üç bileşeninden biridir (Watanabe, 2007; Dwyer, 2009; Boissy et al 2011; Boyle et al., 2022). Hayvan refahını iyileştirmek amacıyla hayvanlarda pozitif duyguların varlığını desteklemekte ve duygusal halleri değerlendirmek

için fizyolojik, bilişsel ve davranışsal göstergelerin kullanımını bildirmektedir. İyi refah, yalnızca olumsuz deneyimlerin yokluğu değil, aynı zamanda pozitif deneyimlerin varlığı olarak da tanımlanmaktadır (Paul et al., 2005; Watanabe, 2007; Boissy et al., 2007; Dwyer, 2009; Mattiello et al., 2019).

Hayvanların duygusal durumlarının doğrudan üreme başarısı, büyüme oranı, süt ve et kalitesi gibi çeşitli verimlilik parametreleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu bildirilmektedir (Goddard et al., 2006; Boissy et al., 2007; Dwyer, 2009). Çalışmalar, hayvan refahı biliminde hayvanlarda pozitif ve negatif duygusal durumların değerlendirilmesinin karmaşıklığı ve önemi üzerine odaklanmaktadır. Bu noktada önemli olan konu olumlu duygusal durumları negatif duygusal durumlardan nasıl ayırt edileceğidir. Hayvanların olumlu duygusal durumlar arasında sakinlik, rahatlama, merak, heyecan, olumlu katılım ve ödül veya zevkli olay beklentisi olarak belirtilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2007; Dwyer, 2009; Mattiello et al., 2019). Bununla birlikte, duyguları güvenilir bir şekilde anlayabilmek için uygun göstergelere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, insanlarda yüz ifadelerine benzer davranışsal duruşların bulunması, hayvanlarda duygu çalışmaları için son derece önemlidir (Boissy et al., 2007; Boissy et al 2011). Koyun ve keçilerde, yüz ifadelerinden yararlanılarak özellikle huzursuzluk ve korku duygu durumları iyi tanımlanabilmektedir (Boissy et al 2011; Pearson et al., 2021). Özellikle duygusal değeri (hem olumlu hem de olumsuz) değerlendirmek, farklı tiplerdeki aynı değere sahip duyguları ayırt etmek, duygusal bozukluklar geliştirmeye yönelik bilişsel yatkınlığı olan fenotipleri belirlemek ve belki de hayvanlarda bilinçli duygusal deneyimlere yönelik hayvan duygularının dilsel olmayan bilişsel ölçümlerini belirleyen yeni yöntemler tasarlamak mümkündür (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006; Mattiello et al., 2019).

Olumsuz duygusal durumlar genellikle yüksek uyarılma (arousal) ile ilişkilidir ve hayvanların sağlığı üzerinde çeşitli zararlı etkilere yol açabilmektedir. Grup üyelerinden ayrılma gibi olumsuz durumlar, yüksek uyarılma durumu ise sempatik sinir sisteminin aktivasyonu ve parasempatik sinir sisteminin deaktivasyonu ile ilişkilidir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Reefmann et al. 2009a; Reefmann et al. 2009b). Duygusal durumların göstergesi olarak sıklıkla stres fizyolojisindeki değişiklikleri kullanılmaktadır. Duygusal bozukluklar

için stresli durumlar, protokoller, depresyon gibi durumlar model alınarak, ölçülen davranışsal veya fizyolojik stres tepkileriyle ilişkilendirilerek duygusal durumları etiketlemek için sıklıkla anksiyete veya hayal kırıklığı gibi duygusal terimler kullanılabilmektedir (Paul et al., 2005). Hayvanlarda kronik stres, kalp atış hızı artırırken kalp atış hızı değişkenliğini azaltmaktadır (Reefmann et al. 2009a). Kortizol seviyeleri gibi stres hormonlarının sürekli yüksek olması, hayvanın stresle pasif başa çıkma halini ortaya çıkarmaktadır. Hayal kırıklığı veya korku gibi olumsuz psikolojik deneyimler, hayvanların bağışıklık sistemi parametrelerini etkileyebilmekte aynı zamanda kaygı veya depresyon benzeri durumlar hayvanlarda davranışsal değişikliklere de neden olabilmektedir. Örneğin, yetersiz yiyecek temini gibi zorlu ve olumsuz çevresel koşullar oyun davranışını baskılayabilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2007; Reefmann et al. 2009a; Reefmann et al. 2009b).

Küçükbaş hayvanlarda, özellikle kuzu ve oğlaklarda korku ve stresin hayvan refahı ve üretimi etkilediği, kırım, kastrasyon ve taşıma gibi rutin yönetim prosedürleri, hayvanlarda korku ve kaygıyı tetikleyebildiği ve bu prosedürler kısa süreli sosyal izolasyon gerektirse bile oldukça stresli olabildiği bildirilmektedir (Boissy et al., 2005). Ödüllendirilen bilişsel süreçler; hayvanlarda olumlu duygusal durumlar yaratarak, hayvanlarda rahatlama ve iyilik halini işaret edebilmektedir. Erken yaşlardaki pozitif uyarım (oyun, elle besleme, tımar, zenginleştirilmiş çevre), hayvanların yetişkinlikte daha az duygusal olarak tepkisel olmasına yol açar. Zenginleştirilmiş çevreler, hayvanlara yeni kaynaklar sunarak, oyun için daha fazla alan sağlayarak, pozitif kontrast durumları yaratarak, başa çıkma yeteneklerini geliştirerek ve bilgi toplamaya teşvik ederek pozitif deneyimleri artırabilmekte ve olumsuz duyguların gelişimini önleyebilmekte veya azaltabilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2005; Boissy et al., 2007; Reefmann et al. 2009b; Anderson et al., 2015). Örneğin; hayvanların yatış süresi, yatış pozisyonları, yatış sıklığı ve yatış senkronizasyonu, çevre alanında konfor ve uygun dinlenmenin göstergeleri pozitif refahla ilişkilendirilmektedir (Mattiello et al., 2019).

Zenginleştirilmiş çevre şartları, yetiştirme prosedürlerinin hayvanlar için öngörülebilirliği ve insan-hayvan etkileşimlerinin kalitesi gibi hususları da etkileyen faktörler arasındadır. Ek alan, uyaran/oyun nesneleri ve sosyal

arkadaşlar sağlanması gibi çevresel zenginleştirmeler, hayvan refahı için uzun vadeli faydalar sağlamaktadır. Bu durumun ise, olumlu bir ruh hali yaratması beklenmektedir. Buna karşılık, kısıtlı alan, ıslak yataklık, yabancı insanlar veya aydınlatma programları, zenginleştirilmiş çevre bulunmaması, öngörülemeyen yönetim ve olumsuz insan-hayvan etkileşimi gibi hayvancılık koşulları, hayvanlarda kronik stresi tetiklemekte ve hayvanda kötü bir ruh hali yaratabilen bazı uygulamalardır (Reefmann et al., 2009b; Kılıç ve ark., 2013; Akbaş, 2013; Reefmann et al., 2012). Bununla birlikte, tekrarlanan olumlu olaylar, öngörülebilir ve kontrol edilebilir durumlar hayvanların ruh halini iyileştirerek hayvanların kısa vadeli olumsuz olayları daha az stresli karşılamalarını, daha az kaygılı olmalarını ve yeni durumlara daha olumlu yanıt vermelerini sağladığı bildirilmektedir (Reefmann et al., 2009b; Reefmann et al., 2012). Örneğin; keçilerin tırmanma eğiliminde olduğu, yüksek yerleri tercih ettiği, tırmanma için platform veya kaşınma için fırça gibi ekipmanlarla zenginleştirilmiş ortamların, beslenme ve dinlenme sırasındaki davranışları olumlu etkilediği ve saldırganlıklarının azaldığı bildirilmektedir (Mattiello et al., 2019).

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA DAVRANIŞ VE HAYVAN REFAHI

Hayvanlarda, içerden veya dışardan etkilerle ortaya çıkan, tüm vücudun veya bir kısmının da değişikliğe sebep olan tepkisel, hareketlilik veya hareketsizlikle birlikte fizyolojik değişiklikler davranış olarak tanımlanmaktadır.+96574 Davranışlar; sinir sistemi ve hormonlar tarafından yönetilmektedir. Hayvanlarda dil yeteneği olmadığı için onların davranışlarının kaynağı, anlaşılmaları ve psikolojileri önemli tartışma konusu olmuştur. Bilim insanları, hayvan davranış ve psikolojilerinin kaynağını açıklamaya yönelik bilinç, refleks ve içgüdü teorileri olmak üzere üç görüş ileri sürmektedirler (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Burgdorf and Panksepp, 2006; Canpolat, 2016). Hayvanların davranış kalıplarında; evciltmenin etkisiyle hayvanların insan kontrolü altında yetiştirilmelerinin sonucunda türlerin evcil formları ile yabani formları arasında davranış farklılıkları görülmektedir. Evcil hayvanlarda davranış; fiziksel, sosyal, çevresel ve genetiğe bağlı mizaç ile sağlık gibi hayvanın etkilendiği iç ve dış faktörlerin kontrolünde sınırlandırılmakta veya ortaya çıkmaktadır. Bu iç ve dış faktörlerin etkisiyle ortaya çıkan normal durumların dışında herhangi bir şekilde stres yaratan değişiklikler veya sorunların sonucunda hayvan davranışlarında anormal değişiklikler

gözlenebilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Sutherland et al., 2012; Akbaş, 2013; Fatjó and Bowen, 2020). Koyun ve keçilerin de dahil tüm hayvanlarda doğal davranışlarını sergileyebilme halleri iyi refah durumunun en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Evcil hayvanların sergiledikleri bazı normal ve anormal davranışların doğru yönetilmemesi yetiştiricilikte ciddi sorunlar doğurabilmektedir (Griffin and Baker, 2002; Seksel, 2014; Gazzano et al., 2015; Fatjó and Bowen, 2020; Schillings et al., 2021). Hayvanların içerisinde bulundukları çeşitli koşulları altında gösterdikleri davranışların normalden anormale doğru sapmaları her zaman olumsuz olarak değerlendirilmeden önce hayvanın uyum sürecinin bir parçası olabileceği de göz ardı edilememelidir (Savaş ve Yurtman, 2008; Schillings et al., 2021). Hayvan davranışları insanlar tarafından yanlış yorumlanabilmektedir, bu durumda hayvanların gerçek ihtiyaçlarının göz ardı edilmesine, doğru çevre koşulların karşılanmamasına hayvan ve hayvan sahibi arasındaki ilişkide hayal kırıklığı yaratabilmektedir (Seksell, 2014; Gazzano et al., 2015; Menchetti et al., 2018; Schillings et al., 2021). Hayvan davranışlarının anlaşılması, hayvanların türlerine özgü daha uygun yetiştiricilik sistemleri ve barındırma koşullarının sağlanması için önem arz etmektedir. Hayvan sağlığı ve refahlarını koruyarak, daha verimli ve sürdürülebilir yetiştiricilik için hayvanların normal davranışlarının ve davranış bozukluklarının iyi bilinmesi gerekmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Akbaş, 2013; Canpolat, 2016).

Davranış ölçümleri, belirli duygusal durumlara eşlik eden kendiliğinden oluşan işlevsel olarak ilgili eylem eğilimlerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu nedenle, en basit düzeyde, yaklaşma-kaçınma (hoşnut-hoşnut olmama), donma, saldırma, keşfetme ve tüketme davranışları ile daha spesifik ses veya yüz ifadeleri hayvanlarda duyguların varlığını gösterebilmektedir (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006). Örneğin; koyunlar, genellikle bir arada olma isteğinde oldukları için grup halinde olma davranışı sergilerler. Yerli koyun ırkların genel olarak kültür koyun ırklarına göre daha canlı ve hareketli davranışlar sergileyebildiği, yine koyun ve sığıra göre, keçilerin meralarda otlama davranışlarını daha geniş alanlarda sergiledikleri bildirilmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Yakan ve ark., 2007; Dwyer, 2009; Canpolat, 2016).

Beslenme-Otlama Davranışı

Küçükbaş hayvanların sindirim fizyolojileri aynı olsa da, koyun ve keçilerin beslenme davranışları farklılıklar göstermektedir. Küçükbaş hayvanların beslenmesinde mera önemli bir yere sahiptir. Küçükbaş hayvanların günlük davranışlarının büyük bir kısmını çoğunlukla merada otlama davranışı sergilemektedirler. Küçükbaş hayvanların beslenmelerinin % 50-80'nini otlama oluşturmaktadır. Küçükbaş hayvanlar, bakımsız mera alanlarının yeniden düzenlenmesinde ve yabancı ot mücadelesinde aranan hayvanlar olup, meralardan etkin bir şekilde yararlanmaktadırlar. Koyunlar verimli meralarda günde yaklaşık 8 saat, keçiler ise 11 saate kadar otlamaya zaman ayırebilmektedirler. Verimsiz meralarda ise bu süre ve mesafeyi artırırlar. Koyunculukta mera kalitesi ve hayvan verimi ilişkisi iyi düzenlenerek hayvansal üretimde verimlilik artırılabilir. Otlama süresinin ve mesafelerin artması hayvanlarda enerji kaybı yaratarak, et ve süt veriminde düşüklüklere sebep olabilmektedir. Koyun ve keçilerin kaliteli yemlere karşı seçici oldukları zehirli, küflü veya bozuk yemlerden ise kaçındıkları bildirilmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Rutter, 2002; Yakan ve ark., 2007; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Taşkın ve ark., 2015; Canpolat, 2016).

Keçiler otlama sırasında, koyunlardan farklı olarak, arka ayakları üzerine kalkarak ağaç veya çalıların yüksek dallarını veya filizleri yeme davranışları sergileyebilmektedirler (Yakan ve ark., 2007). Geviş getirme (ruminasyon), küçükbaş hayvanların önemli temel davranışdır, bu davranış hayvanların konforu ve sağlığının bir göstergesidir. Ani stres olayları (ses, korku, ağrı, endişe, ışık vb.) ruminasyonu etkileyerek, düzensizleştirebildiği gibi durmasına da sebep olabilir. Koyun ve keçiler sürü halinde hareket ederler, bu davranış sürünün idaresi ve yönetimi bakımından önemlidir. Keçiler, çevik ve hareketli hayvanlardır, koyunlardan daha tepkisel, agresif ve keşifçi davranışlar sergilerler. Yalnız kalan keçiler kuytu yerlere saklanırlar, hırçınlaşır ve kaybolurlar. Keçiler, saldırıya uğradıklarında saldırgana dönme eğiliminde iken koyunlar genellikle kaçarlara. Koyunlar, keçilere göre daha sakin, korkak, utangaç ve seçici hayvanlardır. Koyunlarda, bireysel otlamadan kaçınırlar. Sürüden ayrılan hayvanlar kaybolma durumları sık karşılaşılmaktadır ve yalnız kalan hayvanlar çekingen, ürkek davranışlar sergilemektedirler. Sürüdeki hayvanları otlama sürecinde birbirlerini görmeleri onların yönetimini

kolaylaştırmaktadır, aksi takdirde sürü idaresinde ciddi zorluklar ortaya çıkmaktadır. Keçilerde sürü içerisinde geçimsiz oldukları için yönetimlerine dikkat edilmelidir. Keçiler susuzluğa ve sıcağa karşı koyunlardan daha dayanıklıdır (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Dwyer, 2009; Miranda-de la Lama and Mattiello, 2010; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Taşkın ve ark., 2015; Canpolat, 2016). Keçiler ve koyunlar, ürinasyon davranışlarını genellikle durup, defekasyon davranışlarını ise yürürken gösterebilmektedirler (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Yakan ve ark., 2007; Canpolat, 2016).

Yaşamlarının erken dönemlerinde olumsuz deneyimler kuzularda, sinirsel gelişimin bozulması, hipotalamus-hipofiz-adrenal ekseninin aktivasyonu, kortikosteroid konsantrasyonlarının artması ve bağışıklık sisteminin baskılanması, duygusallık ve beyin gelişimi ile stres tepki sisteminde değişikliklere neden olabilmekte ve sonraki yaşlarında davranışları ve tepkiselliği etkileyebilen şiddetli stresin bir etkisi olarak gözlemlenebildiğine dair literatür bilgileri bulunduğu bildirilmektedir (Golomytis et al., 2022).

Oyun Davranışı

Oyun, hayvanın temel ihtiyaçlarının karşılandığını ve iyi bir refah durumunda olduğunu gösteren ödüllendirici bir aktivitedir. Coşkulu ve enerjik bir hali içerir, olumlu bir duygunun göstergesi olarak kabul edilmektedir (Paul et al., 2005; Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2007; Anderson et al., 2015). Yavru hayvanlarda oyun, kasların ve beynin gelişimine katkıda bulunabilmektedir (Boissy et al., 2007). Oyun davranışlarının ortaya çıkmasında sadece hayvanlar arasında değil, insan-hayvan etkileşimlerinin kalitesinin de belirleyici bir faydası olabildiği ve tımar edilen, fırçalanan, gıdıklanan veya nazikçe konuşulan hayvanların, bakıcılarına karşı daha az korku tepkileri gösterdikleri ve daha kolay idare edilebildikleri bildirilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Reefmann et al., 2012). Kuzuların iki farklı ödül (yiyecek veya oyun fırsatı) gibi beklenen pozitif olaylara verdikleri duygusal ve davranışsal tepkileri belirlemek amacıyla düzenlenen çalışmada; beklenen ödülde bir tutarsızlığın davranışsal ifadesi olarak yürüme süresinde azalma ve ayakta durma süresinde artış ve davranışsal geçiş sayısında azalma gözlemlenmiştir. Beklenen olayın kuzuların beklentilerine uymadığında

beklenen yiyecek yerine oyuncak nesneler verildiği durumlarda, kuzular sesli tepkiler verdiği bildirilmektedir (Anderson et al., 2015).

Sosyal Davranışlar

Sosyal ilişki, hayvanlar arasında düzenli ve tutarlı davranışları kapsayıp, küçükbaş hayvancılığında güçlü sosyal grupların oluşturulması korunup sürdürülmesi üretim ve verimlilik bakımından çok önemlidir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Miranda-de la Lama and Mattiello, 2010; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Canpolat, 2016). Sürü idaresinde hayvanlar arasında bir sosyal hiyerarşinin oluşması önem arz etmekte olup, sürü halinde yaşayan hayvanlar arasındaki bir sıralama olarak tanımlanan sosyal hiyerarşi hayvanların mizacına, yaşına, vücut büyüklüğüne, boynuzluluk durumlarına göre şekillenmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Tölu ve Savaş, 2006; Yakan ve ark., 2007). Koyun ve keçiler, sürüde diğer hayvanlardan gelen seslere yanıt verme eğilimdedirler. Analar ve yavrular birbirlerini kaybettiklerinde seslenme bir araya gelene kadar devam etmektedirler. Hayvanların farklı sosyal durumlarda farklı sesler çıkardıkları, kur yapma, sürüden ayrılma durumunda veya sürü üyelerini yırtıcılara karşı uyarmak için yine düşük veya yüksek frekanslı seslenme, bağırma ve alarm homurtuları davranışları sergiledikleri gözlenmektedir. Susuzluk durumunda da sürüde melemenin arttığı ve susuzluk süresiyle ilişkisi olduğu bildirilmektedir (Goddard et al., 2006; Boissy et al., 2007; Miranda-de la Lama and Mattiello, 2010; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Goliomytis et al., 2022).

Agonistik Davranışı

Agonistik davranışlar, hayvanların birbirleriyle etkileşimleri sırasında gösterdikleri saldırma ve kaçma davranışlarını kapsamaktadır. Hayvanlar karşılarındaki bireye karşı üstünlük kurmak, yavrusunu korumak, cinsel partnerini izole etmek, yem, su, gölgelik ve dinlenme alanı gibi kaynakları sahiplenmek amacıyla saldırma, kaçma gibi türe özgü mücadele davranışları sergileyebilmektedirler. Hayvanlar arasında huzursuzluğa veya yaralanmaya ve strese neden olan bu davranışlar hayvan refahı, sağlığı ve verimini etkilemektedir. Hayvanlar arasında şekillenen agonistik davranışlar ve sosyal hiyerarşiye bağlı oluşabilecek olumsuzluklara karşı yetiştiricilerin sürü yönetimi başarıları sağlayabilmek için, hayvan davranışlarını çok iyi

tanımalıdır (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Tölü ve Savaş, 2006; Yakan ve ark., 2007; Akbaş, 2013).

Küçükbaş hayvanlarda gözlenen en önemli saldırganlık davranışı tos vurmaktır. Bu davranış sürü içerisinde imkanlardan faydalanma ve sürü büyüklüğünün arttığı durumlarda daha çok ortaya çıkan bir mücadele davranışıdır. Yine özellikle dominant bireyle çeşitli durumlarda ses çıkarma, çeşitli vücut hareketleri ile duruş pozisyonlarını değiştirerek tehdit davranışları sergilemektedirler (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Miranda-de la Lama and Mattiello, 2010; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Canpolat, 2016).

Ayrıca, hayvan nakil esnasında hayvan başına ayrılan alanın yetersiz olması, erkek dişi hayvanların aynı araçta taşınması gibi nakil ile ilgili bazı faktörlerde hayvanların saldırganlık, kavga veya atlama davranışları gibi anormal davranışları sergilenme sıklığını artırdığı, hayvan refahını olumsuz etkilediği bildirilmektedir (Ünal ve ark., 2008).

Keçiler, koyunlara göre daha sesli hayvanlar olup, özellikle sosyal izolasyon durumunda seslenmeler önemli bir göstergesidir. Seslenmeler (vokalizasyon, meleme), duygusal durumunu yansıtabildiği için küçükbaş hayvanlarda sıkıntı, stres tepkisini ve davranışsal reaktiviteyi tahmin etmek için güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Burgdorf and Panksepp, 2006; Boissy et al., 2007; Miranda-de la Lama and Mattiello, 2010; Goliomytis et al., 2022).

Dikkat, Takip ve İnceleme Davranışları

Dikkati takip veya inceleme davranışları, hayvanların tatmin edici bir deneyim içinde olduğunu ve başka acil ihtiyaçları olmadığını gösterir; aynı zamanda kendi başına sürekli hoş bir aktivite olabilir (Boissy et al., 2007). Çevreyi kontrol edebilme ve zorluklarla başarılı bir şekilde başa çıkabilme, pozitif duyguların önemli bir kaynağıdır. Sık ve başarıyla üstesinden gelinen zorluklar, düzenli olarak pozitif duyguları ortaya çıkarabilir (Boissy et al., 2007).

Üreme Davranışı

Küçükbaş hayvanlarda; kur yapma, östrus (kızgınlık) ve çiftleşme davranışlarını içeren üreme davranışları genellikle yerli ırklarda mevsime bağlı olup gün ışığının kısıldığı özellikle de sonbahar aylarında gözlenirken, kültür

ırklarında ise yılın her mevsiminde görülebilmektedir. Üreme davranışlarından en önemli belirtisi kızgınlık döneminde görülen huy ve davranış değişiklikleridir. Koyunlarda, kızgınlık genellikle sakin ve belirsiz geçmektedir. Keçilerde ise, ortamda teke yokken kızgınlık davranışları sakin geçmekte, ortamda teke varken meleme, kuyruk sallama, hareketli olma, verimde düşüklük, erkeği arama veya kabul etme gibi davranışları sergiledikleri ve tekelerin bu dönemde özel bir koku salgıladıkları bildirilmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Goddard et al., 2006; Yakan ve ark., 2007; Boissy et al., 2007; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Canpolat, 2016).

Koyun ve keçilerin bazı dölverimi özellikleri ve davranışlarına ait bilgiler Tablo 1’de sunulmaktadır (Akçapınar, 2000; Rutter, 2002; Yakan ve ark., 2007; Kaymakçı, 2006a; Kaymakçı, 2006b; Canpolat, 2016).

Tablo 1: Koyun ve Keçilerin bazı dölverimi karakter ve davranışlarına ait bilgiler

Özellik	Koyun	Keçi
Puberta (ergenlik) çağı	5-6 ay	4-6 ay
Damızlık çağı (erken gelişen ırklar)	7-10 ay	7-10 ay
Damızlık çağı (geç gelişen ırklar)	16-20 ay	16-18 ay
Kızgınlık siklüsü	17 gün (17-21 gün)	19 gün (19-21 gün)
Kızgınlık süresi	30-36 sa	39 sa
Ovulasyon zamanı	Kızgınlık başlamasından 30-36 sa sonra	Kızgınlık başlamasından 9-19 sa sonra
Gebelik süresi	5 ay (147-154 gün)	5 ay (145-158gün)

Gebe kalan hayvanlarda ise davranışlar doğum öncesi ve doğum sonrası farklılık göstermektedir. Gebe hayvanlarda doğum öncesi ayakta durma, yatıp kalkma, gezinme, dudakları yalama, dil çıkarma, sürüden ayrılma, sakin bir alan veya daha önce doğum yapılmış alanlara çekilme davranışları görülebilmektedir. Küçükbaş hayvanlarda genellikle doğum yardımsız gerçekleşmektedir. Doğum sonrası analar genellikle ayağa kalkarak, yavruyu yalama davranışı sergilemektedirler (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Goddard et al., 2006; Yakan ve ark., 2007; Boissy et al., 2007; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Canpolat, 2016).

Analık Davranışı ve Ana-Yavru İlişkisi

Doğum sonrası gelişen analık davranışı; doğumdan süttten kesime kadarki dönemde, ana ile yavru/yavruları arasındaki ilişkiyi kapsayan bir davranış kalıbı olup, bu dönemde ana ve yavru/yavrular arasında güçlü bir bağ oluşmakta ve birbirlerini koku ile seslerinden tanımaktadırlar. Anaların yaşı, doğum sayıları ve tipi, ırk, yavru uyarımı gibi faktörler analık davranışının şekillenmesini etkilemekte olup, ananın yavruyu kabul etmesi, yalaması, emzirmesi analık davranışının göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Analık içgüdüğü zayıf olan bazı hayvanlarda ise, yavrularını kabul etmeme davranışı sergileyebilmektedirler. Ana ve yavru ilişkisinin, yavrunun sürüdeki ileriki yıllardaki sosyal yerini belirlemesi bakımından da önemli olduğu bildirilmektedir (Akçapınar ve Özbeyaz, 1999; Goddard et al., 2006; Yakan ve ark., 2007; Boissy et al., 2007; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Canpolat, 2016). İnsan varlığı, doğum sürecini etkileyebildiği veya geciktirebildiği, doğum sırasında rahatsız edilme durumu ana-kuzu bağı ve dolayısıyla kuzu hayatta kalmasını olumsuz etkileyebildiği ve maternal davranış puanı yüksek koyunların, daha iyi kuzu hayatta kalma oranına sahip olduğu bildirilmektedir. Yetersiz beslenen koyunların kuzularına daha az yalaması, bakım göstermesi ve daha fazla reddetme davranışı sergilemesi gibi durumlar, olumsuz duygusal durumların davranışsal yansımaları olarak yorumlanmaktadır. Yenidoğan kuzuların zorlu koşullar altında hayatta kalmaları için ayakta durma ve emme hızı gibi normal davranışları gösterebilmeleri çok önemlidir. Özellikle zayıf doğan kuzular ile doğumda yardıma ihtiyaç duyan kuzular, normal davranışları sergilemeyebilmekte ve bu durumda kuzuların süttten kesilene kadar hayatta kalma oranları düşmektedir (Goddard et al., 2006).

Anormal Davranışlar

Hayvanların sergilemiş olduğu ve normalden sapan (anormal) davranışlarını tespit edilebilmek için, öncelikle türden türe değişen normal davranış kalıplarının iyi bilinmesi gerekmektedir (Akbaş, 2013). Küçükbaş hayvanlar, besin niteliği olmayan materyalleri yeme (pika), yemlik ısırma, aşırı öfke, kendini veya başkalarını ısırma ve sürtünme, anormal üreme ve analık davranışları gibi bazıları zararlı olabilecek anormal tekrarlayan davranışlarda gösterebilmektedir. Geniş alan, sosyalleşme, bakım koşullarının iyileştirilmesi,

serbest dolaşma ve mera ortamlarının sağlanması gibi çevresel koşulların zenginleştirilmesi anormal davranışların giderilmesini desteklemektedir. Yetişkin erkek keçilerin kendi bölgelerine giren bireylere saldırmaları beklendiğinden, alanların genişletilmesi bu hayvanlarda davranış sorunları daha az görülmesini sağlamaktadır (Yakan ve ark., 2007; Sağmanlıgil ve ark. 2011; Miranda-de la Lama ve Mattiello, 2010; Grosso et al. 2016; Singh et al., 2023). Keçilerde, geç dönemde abort olması veya emzirdikten sonra tekrar gebe kalması gibi farklı durumlarda kendi kendini emme davranışları görülebilmektedir. Bu duruma çözüm için, gebe kalmadan önce istikrarlı olan sosyal arkadaşlık, çevresel ve davranışsal zenginleştirme ve belki de bazı anksiyete önleyici ilaçların kullanılması gerekmektedir. Yine, sürüden ayrı düşen koyunlar sürü davranışı sergileme eğilimindedir ve yalnız kaldıklarında endişeli veya sıkıntılı olabilmektedirler. Bu farklı davranışlar, hem keçilerin hem de koyunların sosyal doğasını ortaya koymakta olup, kendi grupları içinde arkadaşlığa ve aidiyet duygusuna duydukları ihtiyacı göz önüne sermektedir (Miranda-de la Lama ve Mattiello, 2010; Grosso et al. 2016; Singh et al., 2023).

KÜÇÜKBAŞ HAYVANLARDA DUYGUSAL DURUM, DAVRANIŞ VE HAYVAN REFAHI İLİŞKİSİ

Çiftlik hayvanlarının fizyolojisi, verimi ve davranışı üzerine insan - hayvan interaksiyonlarının önemini vurgulayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Goddard et al., 2006; Kılıç ve ark., 2013). Olumlu insan-hayvan etkileşimlerine sahip zenginleştirilmiş ve öngörülebilir barınma koşulları hayvanların ruh halini iyileştirerek, süt üretimini, büyüme oranını ve doğurganlığı olumlu etkileyebileceği ve iyi bir refahla sonuçlanacağı bildirilmektedir (Reefmann et al., 2012; Mattiello et al., 2019). Simitzis et al., 2021, tarafından koyun işletmelerinde hayvan bakıcısının tutumunun süt koyunlarının üretkenliği ve davranış özellikleri etkilediği tespit edilmiştir. Hayvancılıkla uğraşan insanlarla koyunları arasındaki etkileşimler bazen zararsız gibi görünse de, tetiklenen korku, refahın bozulmasına ve üretim kayıplarına neden olabilmektedir (Simitzis et al., 2021). Hayvanlara karşı caydırıcı muamele, sağıım sırasında tekme tepkilerinin sayısını artırdığı ve süt verimini azalttığı bildirilmektedir (Simitzis et al., 2021). Bu nedenle süt koyunu işletmelerinde refah ve üretimin sürdürülebilmesi için yetiştiricilere yönelik

sürü yönetimi konularında eğitim programlarının uygulamaya konulması gerekmektedir (Simitzis et al., 2021).

Koyunlarda olumlu ve olumsuz duygusal durumları ayırt etmek amacıyla grup üyelerinden ayrılma (negatif duygu), beslenme alanında durma (orta duygu) ve insan tarafından gönüllü olarak tımar edilme (pozitif duygu) gibi çeşitli durumlar sırasında koyunların kulak duruşları ve göz açıklığı gibi davranışsal ve kalp atış hızı, kalp atış hızı değişimi ile vücut yüzeyi nemindeki değişimler gibi fizyolojik göstergelerinin değerlendirildiği bir çalışmada; psikolojik ve etolojik yaklaşımları çapraz desteklenerek, koyunların duygu durumlarının hem davranışsal hem de fizyolojik göstergelerle farklılaştırılabileceğini, koyunların kulak duruşlarının duygu durumlarını yorumlanmasında güvenle kullanılabileceği bildirilmektedir (Reefmann et al. 2009a).

Koyunlarda, negatif (grup üyelerinden ayrılma, tatsız tahta peletler), orta (geviş getirme) ve pozitif (taze saman yeme, enerji açısından zenginleştirilmiş yem) duygusal değerlere sahip olması beklenen durumlarla karşılaştırıldıklarında kulak ve kuyruk duruşlarındaki farklılıklarının belirlenmesine yönelik bir çalışmada; negatif duygusal durumların yüksek sayıda ileri veya asimetrik kulak duruşu değişikliği ile ilişkili olduğu, pozitif duygusal durumların ise az sayıda kulak duruşu değişikliği ve yüksek oranda pasif kulak duruşu ile karakterize edildiği, kuyruk duruşunun duygusal değer açısından farklılaşmada faydalı bir bulgu olmadığı bildirilmektedir (Reefmann et al. 2009b).

Koyunlarda istikrarlı ifade duruşlarını bulmak ve bu ifade duruşlarını belirli duygusal bağlamlarla ilişkilendirmek amacıyla düzenlenen bir çalışmada; belirlenen dört ana kulak duruşu (yatay kulak duruşu; kulaklar yukarı kalkma duruşu; kulaklar geriye dönük duruşu ve asimetrik duruş) ile deneysel bazı durumlara (ani ve alışılmadık durumlar, negatif kontrastlar ve kontrol edilebilir durumlar) maruz bırakılan spesifik olarak duygusal durumlarının nasıl etkilendiğini incelenmiştir. Bu çalışmanın bulgularında; koyunların nötr bir duruma karşılık yatay kulak duruşu; muhtemelen korku uyandıran alışılmadık, hoş olmayan ve kontrol edilemeyen durumlara karşılık kulaklarını geriye doğru çevirme duruşu, yine öfke yaratma olasılıkları yüksek ve benzer olumsuz ancak kontrol edilebilir durumlarda kulaklarını yukarıya doğru çevirme duruşu, çok

sürpriz yaratacak ani durumlarda ise kulaklarını asimetrik duruş şeklinde tutukları bildirilmektedir (Boissy et al 2011).

Goliomytis et al., 2022, sütten kesme koşullarının (gündüz/gece ve anında/gecikmeli yemleme) kuzu aktivitesi üzerine doğrudan davranışsal aktivite etkileri sütten kesme ile oyun ve yatma süresi azalırken, vokalizasyonlar, geviş getirme ve içme süresi arttığı gözlemlendiği, büyüme performansı ve uzun vadeli strese bağlı davranışsal parametreler üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı ancak ırklar arasında genetik farklılıklardan kaynaklı etkilerin olabileceğini bildirilmektedir.

Boissy et al 2005, farklı genotipten 1347 sütten kesme sonrası kuzular ve koyunlarda ırk, cinsiyet ve genotipik farklılıkların duygusal tepkisellik, refah ve davranış üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalarında, Romanov koyun ırkının yüksek korku tepkileri ile çekingen davranışlara ve yüksek annelik niteliklerine sahipken, Lacaune ırkının kolay idare edilebildiği, düşük meleme sıklığı ve zayıf keşif düzeyi, yenilik ve sosyal izolasyonun tetiklediği zihinsel rahatsızlığa bağlı davranışsal inhibisyonun gösterge olduğu, Romanov kuzularında insanların varlığında yüksek derecede rahatsızlık olduğu, cinsiyete bağlı olarak, dişi kuzularda erkek kuzulara göre daha güçlü bir sosyal eğilim olduğu ve insan temasından daha fazla kaçındıkları, yine tek doğan kuzuların ikiz kuzulara göre daha az düşük meleme ve daha sık kaçma girişiminde bulundukları bildirilmektedir (Boissy et al 2005).

Grosso et al. 2016, yürüttükleri bir çalışmada; merada otlayan keçilerin kapalı barınaklarda tutulan hayvanlara göre daha mutlu ve sakin görüldüğü, bu tür sistemlerin keçiler tarafından genellikle barınma sistemlerine göre daha olumlu deneyimlendiği bildirilmektedir. Meralara erişim hayvanların keşif ve etkileşimli davranışlar gibi karmaşık doğal davranış kalıplarını geliştirdiği, barınak koşullarının ise küçükbaş hayvanların doğasına uygun olan otlama davranışının ifadesini engelleyebilmekte ve davranış ifadesi sergilenemeyen kısıtlı alan mevcudiyeti hayvanlarda agresif, sinirli ve acı çeken gibi olumsuz ruh hallerinin daha fazla sergilenmesine neden olduğu bildirilmektedir (Miranda-de la Lama ve Mattiello, 2010; Grosso et al. 2016).

Briefer et al., 2015 çalışmalarında; yüksek uyarılma durumlarında, keçilerin daha fazla hareket ettiklerini, daha fazla baş hareketi gösterdiklerini, kulakları

daha sık öne, daha az sıklıkla yatay yana dönük tutuklarını ve daha fazla çağrı sesi çıkardıklarını bildirmektedirler. Olumlu durumlarda, olumsuz durumların aksine, keçilerin kulakları daha az geriye dönük tutuğu ve kuyruk yukarıda daha fazla zaman geçirdikleri, daha yüksek uyarılma durumlarında, keçilerin daha düşük kalp hızı değişkenliği ve daha yüksek solunum hızı tespit edildiği ve fizyolojik, davranışsal ve vokal göstergelerin, olumlu hayvan durumlarının uygulanmasını teşvik etmek için olumsuz duyguları uyandıran durumları olumlu duygular uyandıran durumlardan ayırt etmek için kullanılabileceği ve hayvanların duygu durumlarının güvenle tespiti refahlarının belirlenmesi için çok yararlı olabileceği bildirilmektedir (Briefer et al., 2015).

Çiftliklerde ağrı değerlendirmesi, tedavi süreci ve iyileştirmede önemli bir faktör olarak ele almaktadır. Ağrı, stres ve düşük performans arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Argüello et al, 2024). Ağrı-yüz ilişkisinden yola çıkarak, ağrıyı değerlendirmek için yürütülen çalışmada; beş yüz özelliğine (kulak pozisyonu, burun deliği şekli ve genişlemesi, orbital sıkılaşma ve yanak sıkılaşması) dayalı bir keçi yüz buruşturma ölçeği uygulanması sonucunda; yüz ifadesinin çiftlik koşullarındaki ağrı yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği ve yüz ifadelerini ölçme stratejisinin çiftlik hayvanlarında ağrıyı değerlendirmek için yeni bir yöntem olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Argüello et al, 2024).

Hayvanlarda yargı önyargılarının incelenmesi, çevrelerine ilişkin kötümser veya iyimser değerlendirmeleri tespit edebilme hayvan refahı araştırmalarının bir parçası olarak, yaygınlaşan duygusal durumları ölçme önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Kısıtlanmış ve izole edilmiş koyunların kontrol koyunlarına kıyasla önyargı sergilediği bildirilmektedir (Doyle et al., 2010; Doyle et al., 2011).

Son yıllarda, çiftlik hayvanlarının duygu durum ve davranışlarının biyo-sensör, görüntü izleme, yapay zeka gibi yeni teknoloji uygulamalarının kullanılarak izlenmesi, hayvan refahını ve verimliliğini artırmayı amaçlayan hızla gelişen bir alan olarak hassas hayvancılık uygulamalarından faydalanılmaktadır. Geleneksel refah izleme yöntemleri zaman alıcı, subjektif veya çiftlik süreçlerini kesintiye uğratabildiği için, sensör verileriyle desteklenen yapay zeka, çiftlik hayvanlarını temas olmadan ve gerçek zamanlı izleme ile akıllı çözümler sunabilmektedir. Hayvanların duygu durumu, davranışları, fizyolojik

ve biyokimyasal parametreleri çeşitli faktörlere bağlı olarak hızla değişebilmektedir. Görsel sensörler (video kameralar); hayvanların yüz hatları, ifadeler, kulak, dudak ve göz hareketleri, vücut duruşu ve kuyruk hareketlerini, termal görüntüleme kameraları; vücudun tamamının veya belirli kısmındaki sıcaklık değişimini, mikrofonlar; hayvan seslerini (vokalizasyonlar), giyilebilir sensörler ile hayvanların kalp atışı hızı gibi fiziksel, biyolojik ve biyometrik birçok parametreye veriler toplanarak, hayvanlar bireysel veya sürü halinde sürekli ve eşzamanlı olarak takip edilebilmektedir (Neethirajan, 2022; Tuvay ve Ermetin, 2023). Koyun ve keçilerde duygu durum ve davranışların ölçülmesinde fizyolojik yüz ifadeleri ve göstergeler faydalanıldığı bildirilmektedir (Tablo 2) (Roger, 2008; Boissy and Lee, 2014; Nawroth et al., 2018; Pearson et al., 2021; Neethirajan et al., 2021; Neethirajan, 2022; Tuvay ve Ermetin, 2023).

Tablo 2. Koyun ve Keçilerde Yüz İfadesi Göstergeleri ile Duygu ve Ağrı Seviyeleri

Organ	Gösterge	Durum/Duygu
Kulaklar	Yatay kulak duruşu	Nötr durum
	Geriye dönük kulaklar	Korku
	Yukarı dönük kulaklar	Öfke
	Asimetrik kulaklar	Şaşkınlık
	Kulak düz ise	Ağrı yok
	Kulak kalkıksa	Tam ağrı/Negatif durum
Dudak/Burun	Sığ U şeklindeki burun	Ağrı yok Nötr veya pozitif durum
	Uzatılmış V şeklindeki burun	Tam ağrı/Negatif durum
	Düz ve gergin dudak (yatay çizgi gibi)	Kuzu ‘Gülümseme’ duygusu ve ağrı yok
Gözler	Gözler kısmen kapalıysa	Ağrı yok Nötr veya pozitif durum
	Göz tamamen açıksa	Tam ağrı/Negatif durum
	Gözde sıkma veya kapanma	Ağrı var
Göz Kapakları	Göz kapaklarının açıklığı artıyorsa	İzolasyon veya olumsuz koşullar

Koyunların tekrarlama ve deneyim yoluyla öğrenebildiği ve bakıcılarını ile diğer koyunları tanıyabildiği bildirilmektedir (Roger, 2008). Keçilerin farklı

duygusal bilgilerle insan yüz ifadelerini ayırt edebildiği, aynı anda tanıdık olmayan insan yüzlerinin olumlu (mutlu) ve olumsuz (kızgın) iki duygusal ifade durumlarını ayırt edebildiği, genellikle mutlu yüzleri tercih ettiği bildirilmektedir (Nawroth et al., 2018).

SONUÇ

Hayvanların psikolojisini ve türe özgü temel uyaranlarını anlamak, hayvanın kendisinde ya da çevre koşullarında meydana gelen değişikliklere adaptasyonu, duygusal durum ve davranışların nasıl oluştuğunu belirlemek, hayvancılık uygulamalarında, özellikle hayvanlar için uygun çevre koşulları, bakım ve yönetimin oluşturulması, iyi refah düzenlemelerinin yapılabilmesi için çok önemlidir. Çiftlik koşullarında, hayvanların verimliliği ile refahlarının artırılması açısından hayvanların duygusal durum, davranış ile refah arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekmektedir.

Küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde, çiftlik koşullarında iyi refahın değerlendirme için davranışsal, fizyolojik ve bilişsel göstergelerin ölçüm ve değerlendirmeleri birlikte ve bütünsel bir yaklaşımla ele alınması gerekliliği tavsiye edilmektedir. Koyun ve keçilerde kulak duruşları, kalp atım hızı değişkenliği, seslenme, kuyruk sallama, ana-yavru ilişkisi gibi çeşitli davranışsal, fizyolojik ve bilişsel göstergelerin pozitif refahı değerlendirmek için önemli bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir. Hayvanların çevresiyle aktif ve olumlu bir etkileşim içerisinde olduğunu gösteren ve özellikle genç hayvanlar için oyun davranışı, pozitif duygusal durumlarla bağlantılı olup, refahın önemli bir göstergesidir. Hayvan refahını iyileştirmek için sadece çiftliklerde olumsuz deneyimlerin giderilmesinin yeterli olmayacağı aynı zamanda oyun, tımar, dinlenme, yeni nesnelere karşı keşif gibi olumlu davranışları yaratacak keyifli ve zenginleştirilmiş bir ortamın ve pozitif deneyimlerin hayvanlara sağlanması gerekliliği vurgulanmaktadır. Koyunlarda ve keçilerde; düşük frekanslı seslenmeler, kulak duruşu pozitif duygusal durumlarla, yüksek frekanslı seslenmeler ise genellikle olumsuz durumlarla ilişkilendirilebileceğine dair bulgular bulunmasına rağmen, hala hayvanlarda duygusal durumların, özellikle kolayca ve güvenli bir şekilde değerlendirilebilmesi zorluğunu korumaktadır. Hayvan verimleri ile duygusal durumları arasında doğrudan ilişki bulgularını gösterir herhangi bir çalışmaya

rastlanmamıştır. Duygusal durum ve davranışların genetik temelini ortaya koymak, hayvan refahını ve verimliliğini artırmak için davranışsal, fizyolojik ve bilişsel birçok göstergenin çiftlikte uygulanabilirliğinin artırılması ve pozitif refahı doğrudan yansıttığına dair daha sağlam kanıtların toplanması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akbaş, A.A. (2013). Çiftlik hayvanlarında davranış ve refah ilişkisi. MAKÜ Sag. Bil. Enst. Derg., 1(1), 42-49.
- Akçapınar, H. (2000). Koyun Yetiştiriciliği. İsmat Maat. Ltd. Şti., s.s 40-48, ISBN: 975-96978-1-5, Ankara.
- Akçapınar H., & Özbeyaz C., (1999). Hayvan Yetiştiriciliği Temel Bilgileri. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi. Kariyer Maat., ISBN: 975-96978-0-7, pp. 134-141, Ankara.
- Anderson, C., Yngvesson, J., Boissy, A., Uvnäs-Moberg, K., & Lidfors, L. (2015). Behavioural expression of positive anticipation for food or opportunity to play in lambs. Behavioural Processes, 113, 152-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2015.02.003>
- Argüello, A., González-Cabrera M., Morales-de la Nuez A., Hernández-Castellano, L.E., Martín S. & Castro N. (2024). Effects of pain on the facial expressions of goat kids. Journal of Applied Animal Research, 52(1), 2343057, DOI:10.1080/09712119.2024.2343057
- Boissy A., Aubert A., Désiré L., Greiveldinger L., Delval E. & Veissier I. (2011). Cognitive sciences to relate ear postures to emotions in sheep. Animal Welfare, 20(1), 47 – 56. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600002426>
- Boissy, A., Bouix J., Orgeur P., Poindron P., Bibe B., & Le Neindre P. (2005). Genetic analysis of emotional reactivity in sheep: effects of the genotypes of the lambs and of their dams. Genet. Sel. Evol., 37, 381–401. DOI: 10.1051/gse:2005007
- Boissy, A., & Lee, C. (2014). How assessing relationships between emotions and cognition can improve farm animal welfare. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz., 33(1), 103-110.
- Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M. B., Moe, R. O., Spruijt, B., Keeling, L. J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I. & Aubert, A. (2007). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. Physiology & behavior, 92(3), 375-397.
- Boyle L., Conneely M., Kennedy E., O'Connell N., O'Driscoll K., & Earley B. (2022). Animal welfare research – progress to date and future prospects.

- Irish Journal of Agricultural and Food Research, 61(1), 87-108. DOI: 10.15212/ijaf-2020-0151
- Briefer, E.F., Tettamanti, F., & McElligott, A. G. (2015). Emotions in goats: mapping physiological, behavioural and vocal profiles. *Animal Behaviour*, 99, 131-143, <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.11.002>.
- Burgdorf, J., & Panksepp, J. (2006). The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(2), 173-187. doi:10.1016/j.neubiorev.2005.06.001
- Canpolat Ö. (2016). Hayvan Davranışları (Sığır, Koyun, Keçi, Tavuk). Dora Baim-Yayın Dağıtım Ltd. Şti., ISBN: 978-605-9666-46-6, Bursa.
- Doyle, R. E., Fisher, A. D., Hinch, G. N., Boissy, A., & Lee, C. (2010). Release from restraint generates a positive judgement bias in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 122(1), 28-34, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.11.003>.
- Doyle, R. E., Hinch, G. N., Fisher, A. D., Boissy, A., Henshall, J. M., & Lee, C. (2011). Administration of serotonin inhibitor p-Chlorophenylalanine induces pessimistic-like judgement bias in sheep. *Psychoneuroendocrinology*, 36(2), 279-288, <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2010.07.018>.
- Dwyer C.M. (2009). Welfare of sheep: Providing for welfare in an extensive environment. *Small Ruminant Research*, 86, 14-21. doi:10.1016/j.smallrumres.2009.09.010
- Fatjó J., & Bowen J. (2020). Behavior and Medical Problems in Pet Animals. *Advances in Small Animal Care*, 1, 25-33. ISSN 2666-450X, ISBN 9780323792103, <https://doi.org/10.1016/j.yasa.2020.07.003>.
- Gazzano, A., Bianchi, L., Campa, S., & Mariti, C. (2015). The prevention of undesirable behaviors in cats: Effectiveness of veterinary behaviorists' advice given to kitten owners. *Journal of Veterinary Behavior*, 10(6), 535-542. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2015.07.042>.
- Goddard, P., Waterhouse, T., Dwyer, C., & Stott, A. (2006). The perception of the welfare of sheep in extensive systems. *Small Ruminant Research*, 62(3), 215-225. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.08.016
- Goliomytis, M., Charismiadiou, M., Petropoulos, A., Troupakis, G., & Simitzis, P. (2022). Effect of weaning and feed provision times on the performance and several behavioural traits of post-weaning lambs. *Tropical Animal*

- Health and Production, 54, 366 <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03369-3>
- Mattiello S., Battini M., & Dwyer C. (2019). How Can We Assess Positive Welfare in Ruminants? *Animals*, 9 (758), 1-27. doi:10.3390/ani910075
- Griffin, B. & Henry Baker, H. J. (2002). Domestic Cats as Laboratory Animals. Chapter 12, *I.Laboratory Animal Medicine*, 2nd edition Copyright, Elsevier Science (USA). All rights reserved. ISBN 0-12-263951-0 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7150223/pdf/main>
- Grosso, L., Battini, M., Wemelsfelder, F., Barbieri, S., Minero, M., Costa, E. D., & Mattiello, S. (2016). On-farm Qualitative Behaviour Assessment of dairy goats in different housing conditions. *Applied Animal Behaviour Science*, 180, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.04.013>.
- Kaymakçı, M. (2006a). İleri Koyun Yetiştiriciliği. İmeta Basım Maat., s.s 79-97, ISBN: 9944-5334-0-8, Bornova İzmir.
- Kaymakçı, M. (2006b). Keçi Yetiştiriciliği. İmeta Basım Maat., s.s, 41-52, ISBN: 9944-5334-1-6, Bornova İzmir.
- Kılıç, İ., Bozkurt, Z., Tekerli, M., Koçak, S., & Çelikeloglu, K. (2013). Afyonkarahisar İli Koyunculuk İşletmeleri Çalışanlarının Hayvan Refahını Etkileyen Faktörlerle İlgili Algıları. *Lalahan Hay. Arast. Enst. Derg.*, 53(1), 29-38.
- Menchetti, L., Calipari, S., Guelfi, G., Catanzaro, A., & Diverio, S. (2018). My dog is not my cat: Owner perception of the personalities of dogs and cats living in the same household. *Animals*, 8(6), 80. <https://doi.org/10.3390/ani8060080>
- Miranda-de la Lama, G. C., & Mattiello, S. (2010). The importance of social behaviour for goat welfare in livestock farming. *Small Ruminant Research*, 90, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.006>
- Nawroth, C., Albuquerque, N., Savalli, C., Single, M.-S., & McElligott, A. G. (2018). Goats prefer positive human emotional facial expressions. *Royal Society Open Science*, 5, 180491. <https://doi.org/10.1098/rsos.180491>
- Neethirajan, S. (2022). Affective state recognition in livestock—Artificial intelligence approaches. *Animals*, 12, 759. <https://doi.org/10.3390/ani12060759>

- Neethirajan, S., Reimert, I., & Kemp, B. (2021). Measuring farm animal emotions—Sensor-based approaches. *Sensors*, 21, 553. <https://doi.org/10.3390/s21020553>
- Paul, E. S., Harding, E. J., & Mendl, M. (2005). Measuring emotional processes in animals: The utility of a cognitive approach. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29, 469–491. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.01.002>
- Pearson G., Waran N., Reardon R.J.M., Keen J., & Dwyer C. (2021). A Delphi study to determine expert consensus on the behavioural indicators of stress in horses undergoing veterinary care. *Applied Animal Behaviour Science*, 237, 105291. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105291>.
- Reefmann, N., Kaszàs, F. B., Wechsler, B., & Gygas, L. (2009b). Ear and tail postures as indicators of emotional valence in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 118(3-4), 199-207.
- Reefmann N., Muehleemann T., Wechsler B., & Gygas L. (2012). Housing induced mood modulates reactions to emotional stimuli in sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 136(2-4), 146-155. ISSN 0168-1591, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.12.007>.
- Reefmann, N., Wechsler, B., & Gygas, L. (2009a). Behavioural and physiological assessment of positive and negative emotion in sheep. *Animal Behaviour*, 78(3), 651-659. doi:10.1016/j.anbehav.2009.06.015
- Roger, P. A. (2008). The impact of disease and disease prevention on sheep welfare. *Small Ruminant Research*, 76(1-2), 104-111. doi:10.1016/j.smallrumres.2007.12.005
- Rutter, M. (2002). Chapter: Behaviour of Sheep and Goats. Book: The Ethology of Domestic Animals. Edited by Per Jensen, p.p. 145-158, ISBN 0 85199 602 7, CABI Publishing, London, UK.
- Sağmanlıgil, V., Cengiz, F., Atasoy, F., Ünal, N., & Petek, M. (2011). Hayvan Davranışları ve Refahı. Ed: Sağmanlıgil V., Ünal N. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2332 Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1329, 1. Baskı, Eskişehir, Türkiye. ISBN 978-975-06-1006-6
- Savaş, T., & Yurtman Yaman, İ. (2008). Hayvan Davranış Bilimi ve Zootekni: Tanım ve İzlem. *Hayvansal Üretim*, 49(2), 36-42.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D.C. (2021). Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm

- Animal Welfare. Front. Anim. Sci., 2, 639678. doi: 10.3389/fanim.2021.639678
- Seksel, K. (2014). Fear, Aggression, Communication, Body Language and Social Relationships in Cats. EJCAP, Autumn, 24(3), 20-27. <http://www.fecava.org/ejcap>
- Simitzis, P., Seferlis, I., Goliomytis, M., Bizelis, I., & Politis, I. (2021). Handling and milking frequency affect milk yield and behavior in dairy ewes. Small Ruminant Research, 198, 106351. ISSN 0921-4488, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106351>.
- Singh, B., Singh, H. K., Nain, D., Choopra, D., Jareda, P., Satpute, T., Gupta, V.K., Yadav R. & Singh, D. (2023). Goat Production and Management, 10. Chapter: Goat Behaviour in General. Indian Journal of Livestock. Veterinary and Animal Sciences, 3(1), 77-82.
- Sutherland, M.A., Rogers, A.R., & Verkerk, G.A. (2012). The effect of temperament and responsiveness towards humans on the behavior, physiology and milk production of multi-parous dairy cows in a familiar and novel milking environment. Physiology & Behavior, 107, 329–337.
- Taşkın T., Ünal H.B., & Canbolat Ö. (2015). Koyunculüğün Temel Esasları. Hasad Yayıncılık LTD. ŞTİ. ISBN: 978-975-8377-90-1, pp. 164-165, İstanbul.
- Tölü, C., & Savaş, T. (2006). Çiftlik Hayvanlarında Sosyal Sıra ve Agonistik Davranışlar. Hayvansal Üretim, 47(2), 26-31.
- Tuvay, N.H., & Ermetin, O. (2023). Yapay zekâ teknolojilerinin hayvancılıkta kullanımı. Hayvansal Üretim, 64(1), 48-58. <https://doi.org/10.29185/hayuretim.1034328>
- Ünal, N., Teke B., & Özbeyaz, C. (2008). Ankara Ticaret Borsası Kesimhanesi'ne yapılan kasaplık hayvan nakillerinde bazı koşulların hayvan refahı bakımından incelenmesi. Ankara Üniv Vet Fak Derg, 55, 51-56.
- Yakan A., Ünal, N., & Akçapınar H. (2007). Keçilerde Davranış. Lalahan Hay. Arast. Enst. Derg., 47 (1), 39 – 47.
- Watanabe, S. (2007). How animal psychology contributes to animal welfare. Applied Animal Behaviour Sci

BÖLÜM 4

HAYVAN BESLEMEDE BİTKİ EKSTRAKTLARININ KULLANIMI: PERFORMANS, EKONOMİK VE ÇEVRESEL BOYUTLARININ İNCELENMESİ

Arş. Gör. Kadir ERTEN¹

Prof. Dr. Fisun KOÇ²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18138893>

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. kerten@nku.edu.tr, orcid id: 0000-0002-6307-1573

² Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. fkoc@nku.edu.tr, orcid id: 0000-0002-5978-9232

GİRİŞ

Küresel ölçekte hayvansal üretim, gıda güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirliğin temel direklerinden biridir. Ancak artan çevresel baskılar, antibiyotik direnci ve tüketici bilinçlenmesi, hayvancılıkta doğal yem katkı maddelerine yönelimi hızlandırmıştır. Bu noktada bitki ekstraktları hem performans artırıcı hem de çevresel etkileri azaltıcı özellikleri nedeniyle alternatif olarak öne çıkmaktadır (Greathead, 2003; Windisch ve ark. 2008; FAO, 2020).

Bitki ekstraktları, tıbbi ve aromatik bitkilerin uçucu yağ, fenolik bileşik, alkaloid, saponin, flavonoid ve tanen gibi sekonder metabolitlerini içeren konsantre karışımlardır (Benchaar ve ark., 2008). Bu bileşikler, hayvanların sindirim sistemi mikrobiyotasını modüle eder, bağırsak sağlığını iyileştirir ve metabolik verimliliği artırır (Brenes ve Roura, 2010). Ayrıca rumen mikrobiyotasını düzenleyerek enerji kayıplarını azaltır ve metan üretimini düşürür (Benchaar ve ark., 2008).

Ruminant hayvanlar, sindirim sistemlerinde yer alan zengin ve dinamik rumen mikrobiyotası sayesinde, selüloz ve hemiselüloz gibi kompleks polisakkaritleri uçucu yağ asitlerine dönüştürerek enerji kaynağı olarak kullanabilmektedirler. Bu mikrobiyota; bakteri, arkea, mantar ve protozoalardan oluşan karmaşık bir ekolojik sistemdir ve ruminant beslenmesinin verimliliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak bu süreç sırasında metan gazı üretimi gerçekleşir ve bu da enerji kaybına ve sera gazı emisyonuna yol açar (Erten ve ark., 2023a). Metan, hem atmosferdeki sera gazı etkisine sahip bir gazdır hem de ruminant hayvanlar için enerji kaybı anlamına gelir, çünkü rumendeki metan oluşumu, ruminantlarda toplam enerji kaybının % 2–12 arasını oluşturmaktadır (Sezmiş ve ark., 2023).

Son yıllarda bitki ekstraktları, özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen biyoaktif bileşikler, metan üretimini azaltmada alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu bileşikler; uçucu yağlar, tanenler, saponinler, fenolikler gibi maddeleri içerir ve rumen mikroflorasını modüle ederek hem sindirim performansını artırabilir hem de metan emisyonunu azaltabilir (Patra ve Saxena 2010).

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN ÖZELLİKLERİ

Fitokimyasal Bileşenler ve Etkileri

Tıbbi ve aromatik bitkiler yani hem farmakolojik etkiler taşıyan hem de koku, tat, uçucu yağ gibi aromatik özellikleri ile öne çıkan bitkiler geleneksel tıptan modern endüstriye kadar geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu bitkiler sadece tıp için değil; kozmetik, gıda aroması, yem katkısı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da önem taşımaktadır. Tıbbi bitkiler; farmakolojik etkiye sahip bileşenler içeren, tedavi edici ya da koruyucu amaçla geleneksel veya modern yöntemlerle kullanılan bitkilerdir. Aromatik bitkiler ise koku, tat veya uçucu yağ içeriği nedeniyle kokulu ürünler, kozmetik ve baharat sektöründe kullanılan bitkilerdir. Bu iki kategori örtüşebilmektedir; yani bir bitki hem tıbbi özellik taşıırken hem de aromatik olarak değer görebilir. Örneğin, *Thymus vulgaris* (kekik) hem uçucu yağ bakımından aromatik hem de antimikrobiyel/antioksidan etkiler bakımından tıbbi bitki özelliği gösterir.

Bu tanımla birlikte, “tıbbî ve aromatik bitkiler” terimi yaygın biçimde kullanılmakta ve bu bitkilerin çok bileşenli polifenol yapısı, çok yönlü kullanım potansiyeli ve biyolojik aktiviteleri vurgulanmaktadır.

Tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etken maddeler, aşağıdaki mekanizmalarla etki gösterir:

- Hücre zarını ve membran geçirgenliğini etkiler: Uçucu yağlar özellikle mikrobiyal zarları destabilize ederek antimikrobiyal etki oluşturabilir.
- Oksidatif stresin kontrolü: Fenolik bileşenler serbest radikalleri süpürerek antioksidan koruma sağlar.
- İnflamasyon yollarının modülasyonu: NF-κB, MAPK gibi sinyal yolları bitkisel bileşenler tarafından etkilenebilir.
- Uçucu yağların uçucu doğası nedeniyle aromaterapi, inhalasyon gibi uygulamalarla fizyolojik sistemler üzerinde dolaylı etkiler oluşturabilir (Tayfun, 2019; Dong, 2024).

Bitki Ekstraktlarının Elde Edilme Yöntemleri

Bitki ekstraktlarının hayvan beslemede kullanılması için hem etkinlik hem de ekonomik/çevresel sürdürülebilirlik açılarından ekstraksiyon yöntemleri büyük önem taşır.

Temel Ekstraksiyon Teknikleri

Bitkisel materyallerden biyolojik aktif bileşenlerin ayrılması için yaygın olarak kullanılan teknikler şunlardır:

Maserasyon (Bekletme): Maserasyon, bitki materyalinin (kök, yaprak, çiçek, tohum vb.) uygun bir çözücü (etanol, metanol, su ya da bunların karışımları) içinde uzun süre (birkaç saat / birkaç gün) bekletilmesi ile hücre içindeki biyoaktif bileşenlerin çözücüye geçmesini sağlayan klasik bir ekstraksiyon yöntemidir. Hücre duvarlarının geçirgenliğinin artması, difüzyon yoluyla çözücünün biyomateriyale nüfuz etmesi ve çözünmüş bileşenlerin dışarı çıkışı süreci temel mekanizmadır. Bu yöntemlerle flavonoidler, tanenler, saponinler gibi polifenolik bileşikler ile uçucu yağlar elde edilebilmektedir (Ayuni ve ark., 2024). Yöntemin başlıca avantajları arasında düşük donanım gereksinimi, teknik açıdan basit uygulanabilirlik ve düşük enerji tüketimi yer almaktadır. Ancak önemli dezavantajları da vardır: uzun ekstraksiyon süresi, büyük çözücü hacmi gereksinimi, düşük verim ya da çözünmeyen maddelerin co-ekstraksiyonu nedeniyle safsızlık riski ve çözünmüş bazı ısıya/yere duyarlı bileşenlerin zaman içinde bozulma olasılığı bu olumsuzluklar arasındadır. Uygulamada dikkat edilecek olan noktalar, materyalin uygun şekilde öğütülmesi ve kurutulması, çözücü seçiminin bileşen profilini etkilemesi, sıvı/katı oranının, ekstraksiyon süresinin ve sıcaklığın optimizasyonunun yapılmasıdır. Maserasyon teknoloji bakımından ulaşılabilir ve maliyeti nispeten düşük olsa da yüksek verim ve kısa sürede elde etmeye yönelik modern ekstraksiyon gereksinimleri açısından kısıtları bulunmaktadır. (Sun ve ark., 2025).

Sürekli Çözücü Ekstraksiyonu (Soxhlet): Soxhlet ekstraksiyon yöntemi, klasik çözücü ekstraksiyonunun geliştirilmiş bir formudur. Bu yöntemde bitkisel materyal, “thimble” adı verilen filtre haznesine yerleştirilir; çözücü ise ısıtılarak buharlaştırılır, yoğunlaşarak materyalin üzerine geri döner ve çözünmüş

bileşenleri sürekli olarak toplar. Doygun hale gelen çözücü, sifon mekanizması aracılığıyla geri akıtılarak yeniden döngüye alınır. Böylece çözücü sürekli yenilenir ve ekstraksiyon verimliliği artırılır. Yani çözücü sürekli olarak materyale yeniden sunulur ve daha etkin bir ekstraksiyon süreci gerçekleşir. Bu yöntem özellikle ısıya dayanıklı bileşenlerin ekstraksiyonunda tercih edilir. Avantaj olarak, materyalin çözücü ile daha iyi temas sağlaması, çözücünün sürekli yenilenmesi sayesinde daha yüksek verim elde edilebilmesi sayılabilir. Ancak, yöntem yüksek sıcaklıkta çalıştığından ısıya duyarlı bileşenlerin bozulma riski vardır, büyük çözücü hacmi gerektirir, uzun süreli işlemlere yol açabilir ve çevre/enerji açısından daha dezavantajlıdır. Çözücünün kaynama noktası, materyalin uygun hazırlığı (kurutma, öğütme), ekstraksiyon süresi ve sıcaklık kontrolü ile ısıya duyarlı bileşenlerin korunması önemlidir. Soxhlet yöntemi verim açısından güçlü ancak modern “yeşil” ekstraksiyon taleplerine (düşük çözücü, düşük sıcaklık, çevre dostu süreç) tam olarak karşılık vermemektedir (Shi ve ark., 2022).

İnfüzyon /Dekoksasyon /Kaynatma: Bu yöntemler, bitki materyalinin sıcak su veya uygun bir çözücü ile belirli süre temas ettirilerek biyoaktif bileşenlerin ekstrakte edilmesi esasına dayanır. İnfüzyon, bitkinin kısa süre (genellikle birkaç dakika) sıcak suya maruz bırakılmasıyla uygulanırken; dekokasyon, materyalin su veya çözücü içerisinde kaynatılmasıyla gerçekleştirilen daha yoğun bir ekstraksiyon yöntemidir. Bu yöntemlerin avantajları; uygulama kolaylığı, düşük teknoloji gereksinimi, düşük başlangıç maliyeti olmasıdır. Ancak dezavantaj olarak sıcaklığın yüksek olması nedeniyle ısıya duyarlı bileşenlerin bozulması, çözücü seçiminin kısıtlı olması, genellikle verimin düşük olabilmesi sayılabilir. Ayrıca, çözücü kalıntısı ve işlemin standardizasyonu açısından sınırlamalar vardır. Uygulamada materyalin doğru miktarda sıcak suya/çözücüye maruz bırakılması, karıştırma ve süzme işlemlerinin dikkatle yapılması, işlem süresi ve sıcaklık gibi parametrelerin optimizasyonu önemlidir (Verap ve ark., 2023).

Presleme / Soğuk Sıkma: Presleme veya soğuk sıkma yöntemi, özellikle yağ oranı yüksek bitkisel materyallerde uygulanan bir fiziksel ekstraksiyon tekniğidir. Bu yöntemde materyal mekanik olarak sıkılarak yağ veya özüt fazı ayrılır. İşlem genellikle çözücü kullanılmadan ya da çok az çözücü ilavesiyle, düşük sıcaklık koşullarında gerçekleştirilir. Avantajı; çözücü kullanımını

azaltması, mekanik bir işlem olması nedeniyle kimyasal çözücü kalıntısı riskinin düşük olması ve nispeten basit olmasıdır. Dezavantajları; yalnızca yağ ya da sıvı çıkarılabilir materyaller için uygun olması, çözünmeyen ya da düşük yağ içeriğine sahip materyallerde uygulama alanının sınırlı olması ve biyoaktif bileşenlerin (özellikle polar ve çözücüyle çıkarılan) veriminin düşük olabilmesidir. Uygulamada materyalin nem oranı, öğütme düzeyi, filtreleme/sıkma teknolojisi, sıcaklık kontrolünün dikkate alınması gerekir. Bu yöntem genellikle “yeşil” ekstraksiyon anlamında çevre dostu olarak kabul edilen fiziksel yöntemlerden biridir (Verpe ve ark., 2023).

Süperkritik Sıvı Ekstraksiyon: Bu yöntem özellikle çevre ve kalite açısından avantajlı modern bir yaklaşımdır. Bu yöntemde genellikle Karbondioksit (CO₂) gibi bir akışkan, kritik sıcaklık ve basınç aşımına uğratarak “süperkritik” hale getirilir; bu durumda sıvı ve gaz özelliklerini birlikte gösterir. Bu özellik sayesinde yüksek difüzivite, düşük viskozite ve iyi nüfuz kabiliyeti ile bitki matriksine girerek biyoaktif bileşenleri çözebilir. Avantajları: çözücü kalıntısı minimumdur, ısıya duyarlı bileşenler daha iyi korunabilir, çevre dostudur, seçicilik imkânı yüksektir. Dezavantajları ise yüksek basınç ve ileri ekipman gerektirmesi, yatırım maliyetinin yüksek olması, operasyonel uzmanlık gerektirmesi ve bazı matrikslerde verimin optimize edilmesinin zor olmasıdır. Uygulamada pozitif yönlerinden faydalanmak için basınç, sıcaklık, akış hızı, süperkritik sıvının seçimi ve ekstrakt toplama sistemlerinin optimizasyonu gereklidir. Bu yöntem özellikle uçucu yağlar, polifenoller ve aroma bileşenleri için endüstriyel ölçekte tercih edilmektedir (Herzyk ve ark., 2024).

Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon: Ultrasonik destekli ekstraksiyon, bitki materyalinin çözücü içinde ultrasonik dalgalar (genellikle 20-100 kHz frekanslarında) yardımıyla titreşime maruz bırakılması suretiyle hücre duvarlarının mekanik olarak bozulması, çözücünün daha hızlı nüfuz etmesi ve biyoaktif bileşenlerin daha etkin biçimde çözücüye geçmesi esasına dayanır (Yusoff ve ark., 2022). Avantajları arasında: düşük çözücü hacmi kullanımı, kısa ekstraksiyon süresi, düşük sıcaklıkta işlem imkânı (termal bozunma riski daha az), prototip olarak “yeşil ekstraksiyon” kriterlerine daha uygun olması sayılabilir. Maserasyon ya da Soxhlet gibi uzun süreli veya yüksek sıcaklık gerektiren yöntemlere kıyasla daha hızlı ve daha az enerji gerektiren bir alternatiftir. Bununla birlikte dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır:

ultrasonik işlem sırasında lokal ısı artışları olabilir, bazı duyarlı bileşenlerde bozulma meydana gelebilir; ayrıca ekipman maliyeti ve ölçekleme sorunları olabilir. Uygulamada optimizasyon gereklidir: ultrasonik güç, frekans, süre, çözücü türü, katı/çözücü oranı gibi parametreler doğru seçilmelidir (Özdemir ve ark., 2025).

Enzim Destekli Ekstraksiyon: Enzim destekli ekstraksiyon, bitki hücre duvarlarında bulunan selüloz, hemiselüloz, pektin vb. yapıları parçalamak için özel enzimlerin (selülaz, pektinaz, hemiselülaz vb.) kullanılması ve bu sayede hücre içindeki bileşenlerin çözücüyle daha kolay temasa geçmesi ilkesine dayanır. Özetle, enzimler hücre duvarını zayıflatır, membran geçirgenliğini artırır ve sonrasında çözücü ekstraksiyonu daha etkin hâle gelir (Streimikyte ve ark., 2022). Avantaj olarak, daha düşük sıcaklık ve daha nazik ekstraksiyon koşulları sayesinde termolabile bileşenlerin korunması; daha az toksik çözücü gereksinimi özellikle atık bitkisel materyallerden ekstraksiyon imkânının artması; çevre dostu bir yöntem olması sıralanabilir. Ancak dezavantajları da vardır, enzimlerin maliyeti yüksek olması, her materyal için en uygun enzim tipi, süresi, pH'sı, sıcaklığı gibi parametrelerin optimizasyonu gerekir; ayrıca büyük ölçekli uygulamalarda enzim stabilitesi ve ekonomik fizibiliteye dikkat etmek gerekir (Das ve ark., 2021).

Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon: Bu yöntem bitki materyali ve çözücü karışımına mikrodalga enerjisi verilmesiyle çalışır. Mikrodalga enerjisi, polar moleküller ve çözücü arasında etkileşime girerek hızlı ısı üretir, hücre içindeki su moleküllerini ısıtarak mikro-patlamalar oluşturur ve hücre duvarlarının yırtılmasını kolaylaştırır. Böylece biyoaktif bileşenlerin çözücüye geçişi hızlanır. Avantajları: ekstraksiyon süresi önemli ölçüde kısalmır (birkaç dakika), çözücü kullanım hacmi azalabilir, enerji tasarrufu sağlanabilir, termal bozunma riski azaltılabilir. Dezavantajları: mikrodalga ısıtılması sırasında sıcaklık kontrolsüz olursa ısıya ve ışığa duyarlı bileşenlerde bozunma olabilir; mikrodalga penetrasyonu çözelti türüne ve materyal yapısına bağlı olarak değişebilir; ekipman yatırım maliyeti daha yüksek olabilir. Uygulamada solventin mikrodalga uyumluluğu, dalga gücü, maruz kalma süresi, sıcaklık, materyal boyutu gibi parametrelerin optimizasyonu önemlidir (López-Salazar ve ark., 2023).

Basınçlı Sıvı Ekstraksiyon / Basınçlı Sıcak Su Ekstraksiyonu: Basınçlı sıvı ekstraksiyon ya da basınçlı sıcak su ekstraksiyonu gibi yöntemler, yüksek basınç ve sıcaklıkta çözücünün (genellikle su ya da organik çözücü) sıvı halde tutulduğu ve bitki materyali ile temas ettirildiği modern ekstraksiyon teknikleridir. Bu yöntemde yüksek sıcaklık ve basınç sayesinde çözücünün nüfuz kabiliyeti artırılır, çözünürlük ve difüzyon hızları yükselir. Avantajları: kısa işlem süresi, düşük çözücü hacmi, yüksek verim, organik çözücü ihtiyacının azaltılması; modern ekstraksiyon penceresinde “yeşil teknoloji” olarak değerlendirilebilir. Dezavantajları: yüksek basınç altında çalışma gereği ekipman maliyeti artar, güvenlik riskleri yükselir, bazı termolabile bileşenlerin yüksek sıcaklıkta bozulması riski vardır. Uygulamada ekstraksiyon hücresinin basınç toleransı, sıcaklık kontrolü, çözücü seçimleri ve uzaklaştırma sonrası çözücü geri kazanımı gibi hususlar dikkate alınmalıdır (Lam ve ark., 2020).

Pulsed Electric Field (PEF): Bu ekstraksiyon yönteminde, bitki materyaline kısa süreli yüksek voltajlı elektrik alanları uygulanarak hücre membranında geçirgenlik artışı (elektroporasyon) sağlanır. Bu sayede hücre içi biyoaktif bileşenlerin daha kolay çözücüye geçmesi mümkün olur. Avantajları: düşük sıcaklıklarda uygulanabilir, termal bozunma riski düşüktür, işlem süresi kısa olabilir ve enerji tüketimi geleneksel yöntemlere kıyasla düşük olabilir. Dezavantajları: teknolojinin ticari yaygınlığı sınırlı olabilir, ekipman maliyeti ve operasyonel karmaşıklığı yüksek olabilir; ayrıca her tür materyal için etkili olmayabilir, optimizasyon gerektirir. Uygulamada uygulanacak elektrik alan şiddeti, impuls süresi, materyal boyutu ve ön işlem (kurutma, öğütme) gibi parametrelerin dikkatle düzenlenmesi gerekir (Maddala, 2022).

Çözücü Seçimi ve Parametreler

Ekstraksiyon verimini ve biyolojik aktiviteyi etkileyen faktörler şunlardır:

- Çözücü tipi: Hidrofilik çözücüler (su, etanol-su karışımları) polifenolik bileşikler için uygunken; lipofilik çözücüler (hekzan, eter) uçucu yağlar ve terpenoidler için daha uygun olabilir.
- Sıcaklık ve süre: Yüksek sıcaklık ekstraksiyonu hızlandırabilir ancak ısı bozunma ya da biyolojik aktivite kaybına yol açabilir.

- Parça büyüklüğü ve bitki materyalinin durumu: Kurutma, öğütme gibi ön işlemler ekstraksiyon yüzeyini artırır ve verimi yükseltir.
- Hasat zamanı ve bitki kısmı: Uçucu yağ ve fenolik bileşenlerin konsantrasyonu, bitkinin gelişim evresine, hasat saatine ve iklim koşullarına bağlı olarak değişir. Bu durum ekstra kalite kontrol gerektirir (Zeng ve ark., 2015a).

Stabilizasyon, Formülasyon ve Uygulama

Hayvan yemlerinde bitki ekstraktlarının etkinliği yalnızca elde edilen ham ekstraktla değil, bu ekstraktların nasıl formüle edildiğiyle de yakından ilgilidir:

- Mikro- veya nano-enkapsülasyon gibi teknolojiler, ekstrakt bileşenlerinin oksidasyondan korunmasını, yemin depolanma süresinde stabil kalmasını ve rumende kontrollü salınmasını sağlar.
- Makro formülasyonlar: Ekstraktlar doğrudan karma yem içine katılabileceği gibi granül, pelet veya likit formda da verilebilir. Formun hayvan türüne uygunluğu, yemin işlenebilirliği ve palatabilitesi açısından önem taşır.
- Yemle entegrasyon ve salım kontrolü: Rumende erken bozulma veya istenmeyen salım kinetiği, etkinliği düşürebilir. Bu nedenle kontrollü salım sağlayan taşıyıcı sistemler tercih edilmektedir.
- Depolama, stabilite ve kalite kontrol: Ekstraktların bileşen profili (karvakrol, timol, alisin vb.) ekstraksiyon, formülasyon ve depolama sırasında değişebilir. Bu değişim, çıktıları doğrudan etkiler (Canbolat, 2012; Abdelbagi ve ark., 2021; Garba ve Fıncıoğlu, 2023; Koç ve ark., 2024; Biswas ve Kim, 2025; Koç ve ark., 2025).

Uygulamada Dikkat Edilecek Hususlar

- Aynı bitki türünün farklı bölgelerden elde edilmesi, farklı kimyasal profiller (farklı biyoaktif bileşik oranları) oluşturabilir. Bu nedenle standartlaştırılmış kaynaklar tercih edilmelidir (Zeng ve ark., 2015a).
- Dozaj optimizasyonu önemlidir: Çok yüksek dozlar yemin tat, hayvan yem alımı ya da sindirim açısından olumsuzluk oluşturabilir.

Formülasyondan önce biyoyararlanım ve toksisite analizleri gereklidir (Alem, 2024).

- Ham ekstraktların doğrudan kullanımı yerine formüle edilmiş, stabil ve kontrollü salım sunan ürünler hayvan besleme pratiğinde daha güvenli ve etkili olabilir.
- Regülasyon ve standardizasyon eksikliği: Bitki ekstraktlarının kalite, saflık, etiketleme ve güvenilirlik açısından mevzuat düzeyinde farklılıklar gösterebilir; bu da uygulamayı zorlaştırmaktadır (Nastoh ve ark., 2024; Özsaygın ve Kaya, 2025).

Ekonomik ve Sürdürülebilirlik Perspektifi

Ekstraksiyon teknolojilerinin maliyeti, hammadde tedariki, taşıyıcı sistemler, stabilizasyon ve formülasyon maliyetlerini içerir. Yüksek teknoloji uygulamaları (örneğin nano-enkapsülasyon) başlangıçta maliyetli olabilir ancak uzun dönemde hayvan performansı, yem verimliliği, daha düşük ilaç/antibiyotik ihtiyacı ve düşük sera gazı emisyonları gibi avantajlarla amorti edilebilir (Tablo 1). Ek olarak, yerel bitki kaynaklarının değerlendirilmesi ve yan ürünlerin ekstraksiyon hammaddesi olarak kullanılması ekonomiye fayda sağlamanın yanında çevresel sürdürülebilirliği de artırabilir.

Tablo 1. Tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etken maddeler ve çiftlik hayvanları üzerine etkisi

Bitki / Bileşik	Öne Çıkan Etken Madde	Etki	Kaynak
<i>Origanum vulgare</i> (Kekik)	Carvacrol, Thymol	Güçlü antimikrobiyal etkisi; Rumen mikrobiyotasında metanogenleri azaltma	Iommelli ve ark. (2025); Embaby ve ark. (2019)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (Biberiye)	1,8-Sineol, Kamfor, Linalool	Rumen performansı ve kan parametrelerini iyileştirme; Bağışıklık hücrelerinde immünmodülatör etki gösterme	Bıyık ve ark. (2023); Ciliberti ve ark. (2024)
<i>Thymus vulgaris</i> (Ada Kekik)	Thymol, Carvacrol	Antibakteriyel ve uçucu yağ kompozisyonu yüksek; Rumen fermentasyonunu iyileştirme	Ribeiro ve ark. (2019); Abdelfarrag ve ark. (2025)

<i>Mentha piperita</i> (Nane)	Menthol, Menthone	Rumen fermantasyonunu iyileştirme; Metan üretimini azaltma	Beyzi (2020); Abdelfarrag ve ark. (2025)
<i>Nigella sativa</i> (Çörek otu)	Thymoquinone	Rumen fermantasyonunu iyileştirme	Noaman ve ark. (2022)
<i>Salvia officinalis</i> (Adaçayı)	Tujon, Borneol, Sineol	Sindirilebilirliği artırma ve metan üretimini azaltma	Erten ve ark. (2023b)
<i>Tilia tomentosa</i> (Ihlamur)	T.tomentosa, rubra	Sindirilebilirliği artırma ve metan üretimini azaltma	Erten ve ark. (2023b)
<i>Glycyrrhiza glabra</i> (Meyan)	Glisirizin	Sindirilebilirliği artırma ve metan üretimini azaltma	Erten ve ark. (2023b)
<i>Foeniculum vulgare</i> (Rezene)	Anethole, Fenchone	Sindirilebilirliği artırma	Rahmy ve ark. (2019)
<i>Melissa officinalis</i> (Melisa)	Citral, Geranial	Sindirilebilirliği artırma	Rahmy ve ark. (2019)
<i>Artemisia campestris</i> (Artemisia)	Uçucu yağ karışımı	Rumen fermantasyonunu iyileştirme	Medila ve ark. (2017)
<i>Lavandula angustifolia</i> (Lavanta)	Linalool, Linalyl acetate	Rumen fermantasyonunu iyileştirme; Metan üretimini azaltma	Beyzi (2020); Kara ve ark. (2025); Coşkuntuna ve ark. (2023)
<i>Achillea millefolium</i> (Yarrow)	Flavonoidler, Uçucu yağ rezidüleri	Rumen fermantasyonunu iyileştirme	Kara ve ark. (2025)
<i>Anethum graveolens</i> (Dereotu)	Dill-oil, Uçucu yağ karışımı	Metan üretimini azaltma	Tekippe ve ark. (2012)
<i>Ocimum basilicum</i> (Fesleğen)	Eugenol, Linalool	Metan üretimini azaltma	Tekippe ve ark. (2012)
<i>Allium sativum</i> (Sarımsak)	Diallyl disulfide, Allicin	Metan üretimini azaltma	Caroprese ve ark. (2023); Busquet ve ark. (2006)

ÇİFTLİK HAYVANLARINDA TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN KULLANIMI

Tek Mideli Hayvanlarda Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanımı

Antibiyotik kullanımına bağlı olumsuzluklar, kümes hayvancılığı endüstrisinde önemli bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, performans artırıcı doğal alternatifler olarak bitki ekstraktlarının kullanımı her geçen gün daha fazla araştırılmaktadır (Tablo 2). Çabuk ve ark. (2006), kekik, defne, adaçayı, anason ve turunçgil esansiyel yağlarından oluşan bir karışımın etlik piliçlerde yem dönüşüm oranını belirgin biçimde iyileştirdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Lippens ve ark. (2005), tarçın, kekik, mercanköşk, kırmızıbiber ve turunçgil ekstraktlarından oluşan bir karışımın; ayrıca bitki ekstraktları ile organik asitlerin kombinasyonunun, besleyici antibiyotik avilamisin ile karşılaştırıldığında benzer veya daha yüksek etkinlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bitki ekstraktı takviyesi yapılan gruplarda, kontrol ve antibiyotik gruplarına kıyasla daha yüksek canlı ağırlık değerleri ve daha iyi yem dönüşüm oranları gözlenmiştir.

Ayrıca Lee ve ark. (2003), kekik ve tarçın karışımının broylerlerde bağırsak villus yüksekliğini artırdığını bildirmiştir. Kekik, sarımsak ve biberiye ekstraktlarının kullanıldığı diğer araştırmalarda da yemden yararlanma oranı ile bağışıklık yanıtının iyileştiği saptanmıştır (Toghyani ve ark., 2010; Cross ve ark., 2007). Benzer şekilde, Roselli ve ark. (2007), sarımsakta bulunan allicin bileşiğinin *Escherichia coli* ile enfekte edilen domuzlarda bağırsak epitel hücrelerinin zar geçirgenliğinin artmasını önlediğini rapor etmiştir. Zigger (2001), sarımsak ve tarçın ekstraktlarıyla zenginleştirilmiş yemle beslenen sütten kesilmiş domuzlarda yem tüketiminin ve canlı ağırlık artışının yükseldiğini; buna paralel olarak bağırsak rahatsızlıklarına bağlı ölüm oranının %3.9'dan %1.2'ye düştüğünü bildirmiştir. Manzanilla ve ark. (2006), kekik ve anason kombinasyonunun domuzlarda ishal oranını azalttığını ortaya koymuştur. Ayrıca Zeng ve ark. (2015b), fitojenik karışımların bağırsak mikrobiyotasının dengesini koruyarak sindirim sağlığını desteklediğini bildirmiştir.

Tablo 2. Tıbbi ve aromatik bitkilerin tek mideli hayvanlar üzerine etkisi

Bitki / Bileşik	Doz	Tür	Etki	Kaynak
Kekik	5 g/kg	Broiler	Performans ve bağışıklıkta artış	Toghyani ve ark. (2010)
Kekik yağı + Tarçın	200 mg/kg	Broiler	Yemden yararlanmada artış, mortalitede azalma	Cross ve ark. (2007)
Biberiye	0.3 g/kg	Broiler	Yem alımını artırma	Basmacioglu ve ark. (2004)
Fitojenik karışım	% 1	Broiler	Karkas ve canlı ağırlıkta artış	Hafeez ve ark. (2024)
Kekik + Tarçın	500 mg/kg	Broyler	Patojen <i>E. coli</i> baskılanması	Lee ve ark. (2003)
Çörek otu	0.06 g/kg	Broyler	Yemden yararlanmada artış	Denli ve ark. (2004)
Kişniş	5.0 g/kg	Broiler	Yemden yararlanmada artış	Güler ve ark. (2005)
Kekik + Biberiye	0.5 g/kg	Broiler	Vücut ağırlık artışı	Mountzouris ve ark. (2011)
Kişniş	% 0.1-0.3-0.5	Yumurtacı Tavuk	Yumurta veriminde artış, kolesterol değerinde azalma	Çiftçi ve Macit (2018)
Oleuropein	200. 400 ppm/kg	Broiler	Yemden yararlanmayı artırma, Süperoksit Dismütaz ile katalaz enzim aktivasyonu değerlerinde artış	Sezmis (2021)
Adaçayı	150-300 ppm	Yumurtacı Tavuk	Kabuk ağırlığında, yumurta veriminde, kırılma mukavemetinde artış	Kaya ve Turgut (2012)
Kekik	150-300 ppm	Yumurtacı Tavuk	Kabuk ağırlığında, yumurta veriminde, kırılma mukavemetinde artış	Kaya ve Turgut (2012)
Nane	150-300 ppm	Yumurtacı Tavuk	Kabuk ağırlığında, yumurta veriminde, kırılma mukavemetinde artış	Kaya ve Turgut (2012)
Sarımsak	%2. 4. 6	Yumurtacı Tavuk	Dokularda antioksidan enzimlerin düzeylerinde artış	Çelebi ve ark. (2016)

Kekik + Anason	100 mg/kg	Domuz	İshal oranını azaltma	Manzanilla ve ark. (2006)
Fitojenik karışım	0.25 g/kg	Domuz	Sindirilebilirliği iyileştirme	Zeng ve ark. (2015b)
Kekik yağı	1000 ppm	Domuz	Daha düşük ölüm oranı	Allan ve Bilkei (2005)

Ruminant Hayvanlarda Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanımı

Yapılan çalışmalar, antibiyotik iyonoforların rumendeki enerji ve protein kayıplarını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir. Ancak 2006 yılından itibaren Avrupa Birliği'nde hayvan yemlerinde antibiyotik kullanımı yasaklanmıştır. Bu durum, araştırmacıların rumen fermantasyonunu modüle edebilecek ve mikrobiyal popülasyonları dengeleyebilecek doğal alternatiflere, özellikle de bitki ekstraktlarına yönelmelerine neden olmuştur. Bitki ekstraktlarında yer alan uçucu yağ bileşenleri, mikrobiyal hücre zarlarıyla etkileşime girerek hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilerin büyümesini baskılayabilmektedir. Rasyona belirli bitki ekstraktlarının ilavesi, deaminasyon ve metanojenik aktivitenin inhibisyonuna yol açarak rumende amonyak-N, metan ve asetat üretimini azaltırken; propiyonat ve bütirat oranlarını artırmaktadır (Tablo 3).

Çeşitli çalışmalar, sarımsak yağı, sinnamaldehit (tarçının ana bileşeni), öjenol (karanfil), kapsaisin (acı biber) ve anason ekstraktının, propiyonat üretimini artırarak asetat ve metan oluşumunu azalttığını; ayrıca rumende proteoliz, peptidoliz ve deaminasyon süreçlerini etkileyebildiğini ortaya koymuştur (Calsamiglia ve ark., 2006).

Cardozo ve ark. (2006), anason, kapsikum, sinnamaldehit ve öjenol karışımının sığırlarda rumen fermantasyonu üzerine olumlu etkiler gösterdiğini ve bu bileşenlerin fermantasyon düzenleyicisi olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Bununla birlikte, Benchaar ve ark. (2007), 750 mg/gün düzeyinde uygulanan timol, öjenol, vanilin, guaiacol ve limonenden oluşan uçucu yağ karışımının, rasyonu yalnızca kaba yem (yonca veya mısır silajı) içeren ineklerde ruminal fermantasyon, besin madde kullanımı ve süt verimi üzerinde sınırlı etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Farklı bir araştırmada ise Kraszewski ve ark. (2002), rasyona %2 oranında ilave edilen ısırgan (Urtica dioica), koyun otu (Agrimonia eupatoria), kimyon (*Fructus carvi*) ve papatya (*Matricaria chamomilla*) karışımının süt kalitesini iyileştirdiğini rapor etmiştir.

Tablo 3. Tıbbi ve aromatik bitkilerin ruminant hayvanlar üzerine etkisi

Bitki / Bileşik	Doz	Tür	Etki	Kaynak
Timol, öjenol, vanilin ve limonen	0-1000 ppm	Sığır	Amino asitlerin deaminasyon oranını inhibe etti	McIntosh ve ark. (2003)
Sarımsak + Tarçın	0-500 mg/Lt	Sığır	Rumen fermentasyonunu iyileştirme	Calsamiglia ve ark. (2007)
Ardıç	0.02 g/kg	Koyun	Metanojenler üzerinde etkisi yok	Ohene-Adjeietal (2008)
Yucca schidigera	5 g/kg KM	Sığır	Metan %20 azaldı	Holtshausen ve ark. (2009)
Kekik	500 mg/kg KM	Sığır	Propiyonat oranını artırma ve amonyak N konsantrasyonunu azaltma	Castillejos ve ark. (2006)
Biberiye	500 mg/gün 1000 mg/gün 2000 mg/gün	Sığır	Yem verimini artırma ve amonyak-N miktarında düşme	Bıyık ve ark. (2023)
Sarımsak	5 g/gün	Sığır	Süt yağının artışı	Yang ve ark. (2007)
Tarçın	2 ml/gün	Keçi	Vücut ağırlığında artış, kuru madde tüketiminde artış, süt üretiminde artış, süt proteinde artış	Kholif ve ark. (2012)
Sarımsak	2 ml/gün	Keçi	Vücut ağırlığında artış, kuru madde tüketiminde artış, süt üretiminde artış, süt proteinde artış	Kholif ve ark. (2012)
Zencefil	2 ml/gün	Keçi	Vücut ağırlığında artış, kuru madde tüketiminde artış, süt	Kholif ve ark. (2012)

			üretiminde artış, süt proteinde artış	
Sarımsak	20 g/kg	Koyun	konjuge linoleik asitlerin ve omega-3 yağ asitlerini üretiminde artış	El Shereef, (2019)
Sarımsak	0-250 mg	Keçi	Vücut ağırlığında artış	Shokrollahi ve ark. (2016)
Sarımsak	250 mg	Sığır	Vücut ağırlığında ve yem alımında artış	Ghosh ve ark. (2010)
Kekik	30 g/gün	Sığır	Vücut ağırlığında ve yem alımında artış, ishali azaltma	Ansari ve ark. (2022)
Kekik	12.5 mg/kg	Sığır	İshali azaltma	Katsoulos ve ark. (2017)
Biberiye	10 g/gün	Keçi	Süt ve süt yağı verimindeki artış	Kholif ve ark. (2017)
Biberiye	600 -1200 mg / gün	Koyun	Süt miktarında artış, sütte yağ, protein, kazein ve laktoz konsantrasyonunda artış	Chiofalo ve ark. (2010)
Biberiye	28 g/gün	Sığır	Süt veriminde artış	Kong ve ark. (2022)

EKONOMİK VE ÇEVRESEL BOYUT: METAN EMİSYONUNUN ETKİLERİ

Fitobiyotik katkı maddeleri, başlangıçta yüksek maliyetli görünse de uzun vadede yemden yararlanma oranını artırarak ve hayvan sağlığını iyileştirerek toplam üretim maliyetini azaltmaktadır. Örneğin, kekik ekstraktı ilavesi yapılan rasyonlarda %4.5 oranında yem verimliliği artışı bildirilmiştir. Ayrıca, antibiyotik kullanımının azalmasına bağlı olarak ilaç giderlerinde önemli bir düşüş sağlanmakta; bu da genel üretim kârlılığını artırmaktadır (Cross ve ark., 2007).

Rminantlar, küresel ölçekte yılda yaklaşık 80–100 milyon ton metan (CH₄) üretmekte olup, bu miktar insan kaynaklı toplam metan emisyonlarının yaklaşık

%28'ini ve tarım sektörü kaynaklı metan emisyonlarının ise yaklaşık %32'sini oluşturmaktadır (FAO, 2020). Artan hayvan popülasyonu ile birlikte bu oranların giderek yükseldiği bildirilmektedir.

Metan, atmosferdeki yoğunluğu nispeten düşük olmasına karşın, yüksek küresel ısınma potansiyeline sahiptir ve ısı tutma kapasitesi bakımından karbondioksit'e kıyasla oldukça etkilidir. Bu nedenle, ruminant kaynaklı metan emisyonları iklim değişikliğinin önemli belirleyicilerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Azar ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, 100 yıllık zaman dilimi esas alınarak hesaplanan küresel ısınma potansiyeli çerçevesinde, atmosfere salınan 1 ton metanın sosyal zarar maliyetinin (yani iklim değişikliği nedeniyle oluşan ekonomik kaybın) 880–8.100 USD/tCH₄ arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu bulgu, birçok ülkede tarım ve özellikle hayvancılık sektörünün sera gazı azaltımı politikalarıyla yeniden şekillendirilmesine yol açmıştır.

Bununla birlikte, Sánchez-Triana ve ark. (2023), tarım ve hayvancılık sektörlerinde bir ton CH₄ emisyonunun azaltım maliyetinin 400–1.000 USD/tCH₄ aralığında olduğunu bildirmiştir. Bu veriler dikkate alındığında, ruminantların yılda yaklaşık 100 milyon ton CH₄ saldırdığı ve ton başına ortalama 4.000 USD zarar oluşturduğu varsayımıyla, yıllık ekonomik kaybın yaklaşık 400 milyar USD düzeyine ulaştığı hesaplanmaktadır.

Bu sonuçlar, ruminant kaynaklı metan emisyonlarının yalnızca çevresel değil, ekonomik açıdan da önemli bir yük oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, metan üretimi hayvan verimliliği açısından da kayıp anlamına gelmektedir; zira metan formunda kaybedilen enerji, toplam yem enerjisinin yaklaşık %2–12'sini oluşturmaktadır. Bu enerji kaybı, doğrudan büyüme performansı, süt verimi ve yemden yararlanma oranı gibi üretim parametrelerinin düşmesine neden olmaktadır.

- 1000 başlıklı bir işletmede, bir hayvanın yıllık metan emisyonu dolaylı olarak 1 ton CH₄ miktarına tekabül eder,
- Ton başına metanın sosyal maliyeti ~4.000 USD/tCH₄

- Yıllık toplam sosyal zarar = $1.000 \text{ hayvan} \times 1 \text{ tCH}_4/\text{hayvan} \times 4.000 \text{ USD/tCH}_4 = 4.000.000 \text{ USD}$

Bitki ekstraktları, özellikle saponin ve tanen içeren türlerde, metanojen bakterilerin aktivitesini baskılayarak CH_4 salınımını azaltır (Patra ve ark., 2012). Bitki ekstraktları ruminantlarda metan emisyonunu ortalama %20 azalttığını ele aldığımızda (Tablo 4);

- Emisyon sonrası: $800 \text{ t CH}_4 (1.000 \times 0.8)$
- Yeni sosyal maliyet: $800 \times 4.000 = 3.200.000 \text{ USD}$
- Yıllık ekonomi açısından tasarruf edilen: $800.000 (4.000.000 - 3.200.000) \text{ USD}$

Bu rakamlar bitki ekstraktı kullanımının maliyetini azaltmakta ve bitki ekstraktlarının kullanılması ile birlikte çevresel zararın da oranı azaltılmaktadır.

Tablo 4. Tıbbi ve aromatik bitkilerin metan inhibasyonu üzerine etkisi

Bitki / Bileşik	Doz	<i>In vitro</i> metan inhibasyonu	Kaynak
Nane	0.33–2 ml/l	%19,9–75.6	Agarwal ve ark. (2009)
Karvakrol	1.5–5 mM (40 ml'de 400 mg substrat)	%13.3–98.4	Macheboeuf ve ark. (2008)
Tarçın	250mg/l	%8.1–75.6	Macheboeuf ve ark. (2008)
Timol	0.5–3 mM (40 ml'de 400 mg substrat)	%2.7–95.3	Macheboeuf ve ark. (2008)
Yakut tuz çalısı	100 µL	%14-75	Durmıc ve ark. (2013)
Sandal	25 µ	%14-75	Durmıc ve ark. (2013)
Hint Defnesi	25 µ	%14-75	Durmıc ve ark. (2013)
Limon kokulu çay ağacı	25 µL	%14-75	Durmıc ve ark. (2013)
Okalıptus	25 µL	%14-75	Durmıc ve ark. (2013)
Okalıptus	0.33–1.66ml/l	%13–58	Ravindra Kumar ve ark. (2009)
Okalıptus	0.33.0.67.1.33. 2 ml/l	%29.6–90.3	Sallam ve ark. (2009)
Ardıç	20 mg/l	%50.2	Chaves ve ark. (2008)
p-Simen	20 mg/l	29.1	Chaves ve ark. (2008)

Karanfil	0.2 g (0.5 ml metanol /30 ml etanol)	%47.0-85.6	Patra ve ark. (2010)
Kekik	300 mg/l	%35.19	Canbolat (2012)
Nane	300 mg/l	%40.42	Canbolat (2012)
Tarçın	300 mg/l	%26.48	Canbolat (2012)
Karanfil	300 mg/l	%34.15	Canbolat (2012)
Adaçayı	% 0.25- 0.50 (% 10 metanol/etanol)	%22.22-32.36	Erten ve ark., 2023b
İhlamur	% 0.25- 0.50 (% 10 metanol/etanol)	%8.21-15.0	Erten ve ark., 2023b
Meyan kökü	% 0.25- 0.50 (% 10 metanol/etanol)	%14.0-15.46	Erten ve ark., 2023b

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitki ekstraktları, hayvansal üretimde performans artırıcı, hastalık önleyici ve çevresel etkileri azaltıcı çok yönlü doğal bileşikler olarak öne çıkmaktadır. Literatürdeki bulgular, bu bileşiklerin uygun dozlarda ve doğru kombinasyonlarda kullanıldığında hayvansal üretim sistemlerine çok boyutlu katkı sağladığını göstermektedir.

Elde edilen veriler genel olarak şu sonuçları ortaya koymaktadır:

- Bitki ekstraktları, uygun doz ve kombinasyonlarda kullanıldığında canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranını iyileştirmektedir.
- Rumen mikrobiyotasındaki metanojen popülasyonlarını baskılayarak metan emisyonunu %15–35 oranında azaltabilmekte, böylece sera gazı salınımının düşürülmesine katkı sağlamaktadır.
- Antibiyotik kullanımına alternatif doğal ve güvenli çözümler sunarak sürdürülebilir üretim politikalarıyla uyum göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, bitki ekstraktları sürdürülebilir hayvancılık için stratejik bir bileşen olarak değerlendirilebilir. Ancak etkinlikleri; bitki türü, ekstraksiyon yöntemi, doz, uygulama şekli ve hayvan türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Gelecekteki Araştırmalar İçin Öneriler

- Biyoyararlanım ve kinetik çalışmalar: Ekstraktların rumen ve bağırsak ortamındaki salım kinetiği, etki süresi ve biyoyararlanımı üzerine daha fazla araştırma yapılmalıdır.
- Formülasyon teknolojileri: Mikrokapsülasyon, nanoemülsiyon veya enkapsülasyon gibi teknolojiler geliştirilerek ısı, depolama ve yem işleme koşullarına dayanıklı ürün formları tasarlanmalıdır.
- Standartlaştırma: Bitki kaynakları, ekstraksiyon koşulları, taşıyıcı sistemler ve etiketleme kriterlerine yönelik uluslararası kalite standartları belirlenmelidir.
- Ekonomik ve çevresel analiz: Yaşam döngüsü değerlendirmeleri ve maliyet-etkinlik analizleriyle, ekstrakt kullanımının çevresel ve ekonomik etkileri nicel olarak ortaya konmalıdır.

Sonuç olarak, bitki ekstraktlarının ruminant beslemede kullanımı hem çevresel sürdürülebilirlik hem de hayvansal verimlilik açısından umut verici bir yaklaşımdır. İn vitro çalışmalar, bu doğal bileşiklerin metan üretimini anlamlı düzeyde azaltabildiğini, in vivo çalışmalar ise yem tüketimi ve hayvan sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Düşük doz uygulamaları, rumen fermantasyon dengesini iyileştirerek gaz üretim profilini optimize etmekte ve enerji kayıplarını azaltmaktadır. Ancak yüksek dozlarda sindirim etkinliğini olumsuz etkileyebileceği için doz optimizasyonu ve formülasyon geliştirme çalışmaları gelecekteki araştırma öncelikleri arasında yer almalıdır. Ek olarak, yerel bitki kaynaklarının değerlendirilmesi, farklı ekstrakt kombinasyonlarının test edilmesi ve uzun dönemli saha denemelerinin yürütülmesi hem hayvansal üretim performansının artırılmasına hem de çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine önemli katkı sağlayacak

KAYNAKÇA

- Abd'quadri-Abojukoro, A. N., & Nsahlai, I. V. (2023). Evaluating the effects of some selected medicinal plant extracts on feed degradability, microbial protein yield, and total gas production *in vitro*. *Animals*, 13(4), 702.
- Abdelbagi, M., Ridwan, R., Fidriyanto, R., & Jayanegara, A. (2021). Effects of probiotics and encapsulated probiotics on enteric methane emission and nutrient digestibility *in vitro*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 788, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- Abdelfarrag, M. M., Khatlab, H. M., Khorshed, M. M., & Singer, A. M. (2025). Essential oils blends for small ruminants: A strategy for enhanced performance, rumen fermentation, digestibility, and profitability. *Aswan University Journal of Sciences and Technology*, 5(2), 182-193.
- 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.
- Alem, W. T. (2024). Effect of herbal extracts in animal nutrition as feed additives. *Heliyon*, 10(3).
- Allan, P., & Bilkei, G. (2005). Oregano improves reproductive performance of sows. *Theriogenology*, 63(3), 716-721.
- Ansari, M., Kargar, S., Eslami, M. A., Falahati, R., Albenzio, M. C. M. J. Z., Caroprese, M., & Kanani, M. (2022). Potential benefits of early-life supplementation of liquid feed with fennel (*Foeniculum vulgare*) seeds or oregano (*Origanum vulgare*) leaves on growth, health, and blood metabolites in Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6639-6653.
- Ayuni, D., Neri, L., Pittia, P., Sirikantaramas, S., Devahastin, S., & Borompichaichartkul, C. (2024). Impact of extraction methods on bioactive compounds and antioxidant activities of Thai jasmine rice leaf extracts. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 7865-7872.
- Azar, C., Martín, J. G., Johansson, D. J., & Sterner, T. (2023). The social cost of methane. *Climatic Change*, 176(6), 71.

- Basmacioglu, H., Tokuşoğlu, O., Ergül, M. (2004). The effect of oregano and rosemary essential oils or alpha-tocopheryl acetate on performance and lipid oxidation of meat enriched with n-3 PUFA's in broilers. South African Journal of Animal Science, 34, 197-210.
- Benchaa, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. Animal Feed Science and Technology, 145(1-4), 209-228.
- Benchaa, C., Petit, H. V., Berthiaume, R., Ouellet, D. R., Chiquette, J., & Chouinard, P. Y. (2007). Effects of essential oils on digestion, ruminal fermentation, rumen microbial populations, milk production, and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. Journal of Dairy Science, 90(2), 886-897.
- Beyzi, S. B. (2020). Effect of lavender and peppermint essential oil on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with Buffalo rumen liquor. Buffalo Bulletin, 39:311-321.
- Biyik, F., Biricik, H., Urkmez, E., Kara, C., Cetin, I., & Udum, D. (2023). Effects of rosemary essential oil as a feed additive on performance, rumen fermentation, and blood parameters in preweaning Holstein calves: Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 74(3), 6191–6199.
- Biswas, S., & Kim, I. H. (2025). A thorough review of phytogenic feed additives in non-ruminant nutrition: production, gut health, and environmental concerns. Journal of Animal Science and Technology, 67(3), 497.
- Brenes, A., & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. Animal Feed Science And Technology, 158(1-2), 1-14.
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., & Kamel, C. (2006). Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. Journal of Dairy Science, 89(2), 761-771.
- Cabuk, M., Bozkurt, M., Alcicek, A. H. M. E. T., Akbağ, Y., & Küçükyılmaz, K. (2006). Effect of a herbal essential oil mixture on growth and internal organ weight of broilers from young and old breeder flocks. South African Journal of Animal Science, 36(2), 135-141.

- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P. W., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580-2595.
- Calsamiglia, S., Castillejos, L., & Busquet, M. (2006). Alternatives to antimicrobial growth promoters in cattle.
- Canbolat, Ö. (2012). Bazı esansiyel yağların *in vitro* sindirim, rumen fermantasyonu ve metan gazı üretimi üzerine etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(1), 91-98.
- Cardozo, P. W., Calsamiglia, S., Ferret, A., & Kamel, C. (2006). Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 84(10), 2801-2808.
- Caroprese, M., Ciliberti, M. G., Marino, R., Santillo, A., Sevi, A., & Albenzio, M. (2023). Essential oil supplementation in small ruminants: a review on their possible role in rumen fermentation, microbiota, and animal production. *Dairy*, 4(3), 497-508.
- Castillejos, L., Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2006). Effect of essential oil active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. *Journal of dairy science*, 89(7), 2649-2658.
- Chaves, A. V., He, M. L., Yang, W. Z., Hristov, A. N., McAllister, T. A., & Benchaar, C. (2008). Effects of essential oils on proteolytic, deaminative and methanogenic activities of mixed ruminal bacteria. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(1), 117-122.
- Chiofalo, B., Riolo, E. B., Fasciana, G., Liotta, L., & Chiofalo, V. (2010). Organic management of dietary rosemary extract in dairy sheep: effects on milk quality and clotting properties. *Veterinary Research Communications*, 34(Suppl 1), 197-201.
- Ciliberti, M. G., Albenzio, M., Sevi, A., Frabboni, L., Marino, R., & Caroprese, M. (2024). Immunomodulatory role of *Rosmarinus officinalis* L., *Mentha x piperita* L., and *Lavandula angustifolia* L. essential oils in sheep peripheral blood mononuclear cells. *Veterinary Sciences*, 11(4), 157.
- Coşkuntuna, L., Lackner, M., Erten, K., Gül, S., Palangi, V., Koç, F., & Esen, S. (2023). Greenhouse gas emission reduction potential of lavender meal and essential oil for dairy cows. *Fermentation*, 9(3), 253.

- Cross, D. E., McDevitt, R. M., Hillman, K., & Acamovic, T. (2007). The effect of herbs and their associated essential oils on performance, dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age. *British Poultry Science*, 48(4), 496-506.
- Çelebi, Ş., Kaya, A., & Kaya, H. (2016). Yumurta tavuğu rasyonlarına sarımsak tozu ilavesinin yumurta, kan, karaciğer, but ve göğüs dokularında bazı antioksidan enzimler üzerine etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 32-40.
- Das, S., Nadar, S. S., & Rathod, V. K. (2021). Integrated strategies for enzyme assisted extraction of bioactive molecules: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 899-917.
- Denli, M., Okan, F., & Uluocak, A. N. (2004). Effect of dietary supplementation of herb essential oils on the growth performance, carcass and intestinal characteristics of quail (*Coturnix coturnix Japonica*). *South African Journal of Animal Science*, 34(3), 174-179.
- Dong, X. (2024). Pharmacological effects of aromatic medicinal plants: comprehensive analysis of active ingredients and mechanisms of action. *Medicinal Plant Research*, 14.
- Durmic, Z., Moate, P. J., Eckard, R., Revell, D. K., Williams, R., & Vercoe, P. E. (2014). *In vitro* screening of selected feed additives, plant essential oils and plant extracts for rumen methane mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1191-1196.
- El Shereef, A. A. (2019). Blood serum biochemical changes and milk fatty acids profile due to using garlic plant as feed additives for sheep. *Asian Journal of Research in Animal and Veterinary Sciences*, 4(4), 1-8.
- Embaby, M. G., Günal, M., & AbuGhazaleh, A. (2019). Effect of rumen culture adaptation to *Origanum vulgare* L. essential oil on rumen methane and fermentation. *American J. Anim. Vet. Sci*, 14, 190-196.
- Erten, K., Coskuntuna, L., & Koc, F. (2023b). Toplam karışım rasyonuna bitki ekstraktları katkısının *in vitro* gaz üretim parametreleri üzerine etkisi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 60(2), 317-329.
- Erten, K., Coskuntuna, L., & Koç, F. (2023a). Yem besin maddelerinin *in vitro* gaz üretim parametreleri arasındaki ilişki. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 529-540.

- FAO. (2020). Tackling climate change through livestock. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Garba, A. M., & Fıncıoğlu, S. Y. (2023). Role of encapsulation nutrients for improvement of ruminant performance and ruminant derived-products. Eurasian Journal of Agricultural Research, 7(2), 109-126.
- Ghosh, S., Mehla, R. K., Sirohi, S. K., & Roy, B. (2010). The effect of dietary garlic supplementation on body weight gain, feed intake, feed conversion efficiency, faecal score, faecal coliform count and feeding cost in crossbred dairy calves. Tropical Animal Health and Production, 42(5), 961-968.
- Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. Proceedings of the Nutrition Society, 62(2), 279-290.
- Guler, T., Ertas, O. N., Ciftci, M., & Dalkilic, B. (2005). The effect of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) as diet ingredient on the performance of Japanese quail. South African Journal of Animal Science, 35(4), 260-266.
- Hafeez, A., Shahid Ali, S., Akhtar, J., Naz, S., Alrefaei, A. F., Albeshr, M. F., ... & Ullah Khan, R. (2024). Impact of coriander (*Coriandrum sativum*), garlic (*Allium sativum*), fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) on zootechnical performance, carcass quality, blood metabolites and nutrient digestibility in broilers chickens. Veterinary Quarterly, 44(1), 1-7.
- Herzyk, F., Piłakowska-Pietras, D., & Korzeniowska, M. (2024). Çeşitli bitki yan ürünlerinden biyolojik olarak aktif maddeler elde etmek için süperkritik ekstraksiyon teknikleri. Yiyecekler, 13(11), 1713.
- Holtshausen, L., Chaves, A. V., Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., McAllister, T. A., Odongo, N. E., & Benchaar, C. (2009). Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. Journal of Dairy Science, 92(6), 2809-2821.
- Iommelli, P., Spina, A. A., Vastolo, A., Infascelli, L., Lotito, D., Musco, N., & Tudisco, R. (2025). Functional and economic role of some Mediterranean medicinal plants in dairy ruminants' feeding: A Review of the Effects of Garlic, Oregano, and Rosemary. Animals, 15(5), 657.

- Kara, K., Yılmaz Öztaş, S., & Baytok, E. (2025). *In vitro* ruminal metagenomic profiles and ruminal fermentation variables of aromatic plant pulps. *Veterinary Medicine and Science*, 11(4), e70447.
- Katsoulos, P. D., Karatzia, M. A., Dovas, C. I., Filioussis, G., Papadopoulos, E., Kioussis, E., & Karatzias, H. (2017). Evaluation of the in-field efficacy of oregano essential oil administration on the control of neonatal diarrhea syndrome in calves. *Research in Veterinary Science*, 115, 478-483.
- Kaya, A., & Turgut, L. (2012). Yumurtacı Tavuk Rasyonlarına Değişik Oranlarda Katılan Adaçayı (*Salvia officinalis*), Kekik (*Thymbra spicata*), Nane (*Menthae piperitae*) Ekstraktları ile Vitamin E'nin Performans, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı TBARS Değerleri Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 49-58.
- Kholif, A. E., Matloup, O. H., Morsy, T. A., Abdo, M. M., Elella, A. A., Anele, U. Y., & Swanson, K. C. (2017). Rosemary and lemongrass herbs as phytogenic feed additives to improve efficient feed utilization, manipulate rumen fermentation and elevate milk production of Damascus goats. *Livestock science*, 204, 39-46.
- Kholif, S. M., Morsy, T. A., Abdo, M. M., Matloup, O. H., & El-Ella, A. A. (2012). Effect of supplementing lactating goats rations with garlic, cinnamon or ginger oils on milk yield, milk composition and milk fatty acids profile. *Journal of Life Sciences*, 4(1), 27-34.
- Koç, S. T., Kök, S., Ersoy, O., & Atalay, S. (2024). Effects of microencapsulated and non-encapsulated aronia extract on serum lipid profile and liver histology in Sprague-Dawley rats fed a high fat diet. *Journal of Elementology*, 29(4), 769-788.
- Koç, S.T., Kök, S., Ersoy, O., & Atalay, S. (2025). Effect of microencapsulated and non-encapsulated aronia extract on paraoxonase 1 gene expression and aortic histopathology in high-fat diet-fed rats. *Journal of Medicinal Food*. DOI: 10.1089/jmf.2025.0027.
- Kong, F., Wang, S., Dai, D., Cao, Z., Wang, Y., Li, S., & Wang, W. (2022). Preliminary investigation of the effects of rosemary extract supplementation on milk production and rumen fermentation in high-producing dairy cows. *Antioxidants*, 11(9), 1715.

- Kraszewski, J., Wawrzyńczak, S., & Wawrzyński, M. (2002). Effect of herb feeding on cow performance, milk nutritive value and technological suitability of milk for processing.
- Lam, C. T., Sin, L. T., Bee, S. T., & Siwayanan, P. (2020). A review of natural products from plants using carbon dioxide supercritical fluid extraction. *IEM J*, 81, 1-16.
- Lee, K. W., Everts, H., Kappert, H. J., Frehner, M., Losa, R., & Beynen, A. C. (2003). Effects of dietary essential oil components on growth performance, digestive enzymes and lipid metabolism in female broiler chickens. *British Poultry Science*, 44(3), 450-457.
- Lippens, M., Huyghebaert, G., & Cerchiari, E. (2005). Effect of the use of coated plant extracts and organic acids as alternatives for antimicrobial growth promoters on the performance of broiler chickens. *European Poultry Science*, 69(6), 261-266.
- López-Salazar, H., Camacho-Díaz, B. H., Ocampo, M. A., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2023). Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A Review. *BioResources*, 18(3), 6614.
- Macheboeuf, D., Morgavi, D. P., Papon, Y., Mousset, J. L., & Arturo-Schaan, M. (2008). Dose–response effects of essential oils on *in vitro* fermentation activity of the rumen microbial population. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 335-350.
- Maddala, (2022). Bioactive Compounds from Fruit Waste and Its Importance, *Journal of Pharmaceutical Negative Results/Volume 13/Special Issue*.
- Manzanilla, E.G., Perez, J.F., Martin, M., Kamel, C., Baucells, F., Gasa, J. (2006). Effects of plant extracts and formic acid on the intestinal integrity and performance of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 127(3–4), 257–276.
- McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., Wallace, R. J., Beever, D. A., & Newbold, C. J. (2003). Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Applied and environmental microbiology*, 69(8), 5011-5014.
- Medila, I., Toumi, I., Adamou, A., & Maaroufi, S. (2017). The effects of plant essential oils on *in vitro* camel rumen fermentation. *Livestock Research*; 29.

- Mountzouris, K. C., Paraskevas, V., Tsirtsikos, P., Palamidi, I., Steiner, T., Schatzmayr, G., & Fegeros, K. (2011). Assessment of a phytogenic feed additive effect on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microflora composition. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3-4), 223-231.
- Nastoh, N. A., Waqas, M., Çınar, A. A., & Salman, M. (2024). The impact of phytogenic feed additives on ruminant production: A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*.
- Noaman, K., Hidayet, H. M., & Yateem, C. A. (2022). Effect of supplementation of *Nigella sativa* oil on nutrient digestibility, some blood metabolites and rumen parameters in Karadi lambs. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), 584-590.
- Ohene-Adjei, S., Chaves, A. V., McAllister, T. A., Benchaar, C., Teather, R. M., & Forster, R. J. (2008). Evidence of increased diversity of methanogenic archaea with plant extract supplementation. *Microbial Ecology*, 56(2), 234-242.
- Özdemir, M., Ak, İ., Coşkun, S., Ünverdi, N. (2025). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from plants. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi* (35), 1-12. <https://doi.org/10.56833/gidaveyem.1713475>
- Özsaygın, H., & Kaya, A. (2025). Farklı ekstraksiyon metodlarıyla elde edilen tarhun ekstraktının süt sığırları TMR'lerinde *in vitro* gaz ve metan üretimi ile tahminlenen parametreler üzerine etkisi. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 61-67.
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11-12), 1198-1222.
- Patra, A. K., Kamra, D. N., & Agarwal, N. (2010). Effects of extracts of spices on rumen methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feeds *in vitro*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(3), 511-520.
- Patra, A. K., Min, B. R., & Saxena, J. (2012). Dietary tannins on microbial ecology of the gastrointestinal tract in ruminants. *Dietary Phytochemicals and Microbes*, 237-262.
- Rahmy, H. A. F., El Bana, H. M., El-Bordeny, N. E., Mahmoud, A. E., & MA, G. W. (2019). Effect of caraway, fennel and melissa addition on *in vitro*

- rumen fermentation and gas production. Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS, 22(2), 67-72.
- Ravindra Kumar, R. K., Kamra, D. N., Neeta Agarwal, N. A., & Chaudhary, L. C. (2009). Effect of eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) oil on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor.
- Ribeiro, A. D. B., Ferraz, M. V. C., Polizel, D. M., Miszura, A. A., Gobato, L. G. M., Barroso, J. P. R., ... & Pires, A. V. (2019). Thyme essential oil for sheep: effect on rumen fermentation, nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and growth. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 71, 2065-2074.
- Roselli, M., Britti, M. S., Le Huërou-Luron, I., Marfaing, H., Zhu, W. Y., & Mengheri, E. (2007). Effect of different plant extracts and natural substances (PENS) against membrane damage induced by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 in pig intestinal cells. Toxicology *In Vitro*, 21(2), 224-229.
- Sallam, S. M. A., Bueno, I. C. D. S., Brigide, P., Godoy, P. B., Vitti, D. M. S. S., & Abdalla, A. L. (2009). Efficacy of eucalyptus oil on *in vitro* ruminal fermentation and methane production. Options Méditerranéennes, 85(85), 267.
- Sánchez-Triana, E., Shindell, D., Mena, M., & Enriquez, S. (2023). Integrating air quality management and climate change mitigation: Achieving ambitious climate action by cleaning the air we breathe. Washington, DC: World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099033123181574723/pdf/P17078405f2576003080b0095b8cda440ee.pdf>.
- Çiftçi, M. E., & Macit, M. (2018). Yumurtacı tavuk rasyonlarına kişniş yağı (coriander oil) ilavesinin performans, yumurta kalite özellikleri, yumurta sarısı tbars değerleri ve bazı serum parametreleri üzerine etkisi. Alinteri Journal of Agriculture Science, 33(2), 201-208.
- Sezmiş, G., Kaya, A., Kaya, H., Macit, M., Erten, K., Palangi, V., & Lackner, M. (2023). Comparison of black tea waste and legume roughages: methane mitigation and rumen fermentation parameters. Metabolites, 13(6), 731.
- Sezmiş, G. (2021). Oleuropein'in etlik piliçlerde performans ve kesim özellikleri ile bazı antioksidan enzim aktiviteleri ve gen ekspresyon

- seviyeleri üzerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Doktora Tezi.
- Shi, L., Zhao, W., Yang, Z., Subbiah, V., & Suleria, H. A. R. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(54), 81112-81129.
- Shokrollahi, B., Hesami, S. M., & Baneh, H. (2016). The effect of garlic extract on growth, haematology and cell-mediated immune response of newborn goat kids. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 117(2), 225-232.
- Streimikyte, P., Viskelis, P., & Viskelis, J. (2022). Enzymes-assisted extraction of plants for sustainable and functional applications. *International journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2359.
- Sun, S., Yu, Y., Jo, Y., Han, J. H., Xue, Y., Cho, M., ... & Zhuang, S. (2025). Impact of extraction techniques on phytochemical composition and bioactivity of natural product mixtures. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1615338.
- Tayfun, K. (2019). Aromatheraphy. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*.
- Tekippe, J. A., Hristov, A. N., Heyler, K. S., Zheljazkov, V. D., Ferreira, J. F. S., Cantrell, C. L., & Varga, G. A. (2012). Effects of plants and essential oils on ruminal in vitro batch culture methane production and fermentation. *Canadian Journal of Animal Science*, 92(3), 395-408.
- Toghyani, M., Tohidi, M., Gheisari, A. A., & Tabeidian, S. A. (2010). Performance, immunity, serum biochemical and hematological parameters in broiler chicks fed dietary thyme as alternative for an antibiotic growth promoter. *African Journal of Biotechnology*, 9(40), 6819-6825.
- Verep, D., Ateş, S., & Karaoğul, E. (2023). A review of extraction methods for obtaining bioactive compounds in plant-based raw materials. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(3), 492-513.
- Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C., & Kroismayr, A. (2008). Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*, 86(suppl_14), E140-E148.

- Yang, W. Z., Benchaar, C., Ametaj, B. N., Chaves, A. V., He, M. L., & McAllister, T. A. (2007). Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and on the site and extent of digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5671-5681.
- Yusoff, I. M., Taher, Z. M., Rahmat, Z., & Chua, L. S. (2022). A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food Research International*, 157, 111268.
- Zeng, Z., Xu, X., Zhang, Q., Li, P., Zhao, P., Li, Q., ... & Piao, X. (2015b). Effects of essential oil supplementation of a low-energy diet on performance, intestinal morphology and microflora, immune properties and antioxidant activities in weaned pigs. *Animal Science Journal*, 86(3), 279-285.
- Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015a). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 7.
- Zigger D. 2001. Helathier pigs on diet with garlic and cinna-mon. *Feedtech*, 5, 8/9: 17. http://www.allaboutfeed.net/allabouts/id935-3370/application_in_pig_diets.html (1. 12. 2008)

BÖLÜM 5

KANATLI BESLEMEDE ORGANİK ASİTLERİN ANTİBİYOTİKLERE ALTERNATİF OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ

Dr. Öğr. Üyesi Veysi KAYRI¹

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet IRMAK²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18138969>

¹ Batman Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu - Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü - Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, Batman/Türkiye.
veysi.kayri@batman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-8609>

² Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları, Siirt/Türkiye, mehmet.irmak@siirt.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-2859>

GİRİŞ

Kanatlı endüstrisi, yüksek besin değerine sahip olan et ve yumurta gibi temel hayvansal protein kaynaklarına yönelik küresel talebin artmasıyla birlikte son yirmi yılda belirgin bir büyüme eğilimi göstermiştir. Bu ürünlerin ekonomik açıdan ulaşılabilir olması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus ve değişen tüketim alışkanlıklarıyla beraber kanatlı sektörünün hızla büyümesine zemin hazırlamıştır. Ayrıca, kanatlı üretiminin kısa üretim döngüsüne, yüksek verimlilik düzeyine ve ruminant yetiştiriciliğine kıyasla daha düşük girdi maliyetine sahip olması, bu alanı hem üreticiler hem de politika yapıcılar açısından stratejik konuma getirmektedir. Islah çalışmaları, yem teknolojilerindeki gelişmeler, biyogüvenlik uygulamalarındaki düzenlemeler ve otomasyonun yaygınlaşması gibi modern üretim uygulamaları, kanatlı sektörünün sürdürülebilirliğini ve rekabet gücünü artıran başlıca etkenlerdir. Bu çerçevede kanatlı endüstrisi, hem ekonomik büyümenin bir unsuru hem de küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol üstlenen dinamik bir sektör olarak önem kazanmaktadır. Önümüzdeki yıllarda hem artan nüfus hem de sağlıklı ve uygun maliyetli protein kaynaklarına duyulan ihtiyacın artacak olmasıyla beraber sektörün genişleme eğilimini sürdürmesi beklenmektedir (Lauková ve ark., 2015; Steven 2021). Maliyeti düşürerek verimli bir üretim yapabilmek ve bu gıdalara yönelik artan talebi karşılayabilmek için kanatlı yetiştiriciliğinde iki temel amaç öne çıkmaktadır: Günlük canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranının artırılması. Kanatlı hayvanlarda yüksek verim düzeyinin elde edilmesi, büyük ölçüde genetik potansiyel, besleme teknikleri, çevresel etmenler ve sürüdeki hastalık faktörleri gibi temel üretim parametrelerin optimal bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Ancak son yıllarda bu klasik etkenlerin yanı sıra, sindirim sistemi sağlığının da performans üzerinde belirleyici bir rol oynadığı yönündeki bilimsel bulguların artmasıyla birlikte, bağırsak sağlığı kanatlı yetiştiriciliğinin önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Bağırsak sağlığı; sindirim ve emilim süreçlerinin etkinliği, bağırsak florasının dengesi, bağırsak duvarının bütünlüğü ve immun sistemin işleyişi gibi parametreleri kapsayan çok yönlü bir kavramdır. Bu parametrelerde oluşacak bozulmalar, kanatlıların büyüme performansını, yemden yararlanma oranını, bağışıklık yanıtını ve genel refahını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle bağırsak sağlığının korunması, sadece

hastalıkların önlenmesi bakımında değil, genel verim özelliklerinin artırılması ve ekonomik kayıpların azaltılması açısından da kritik bir önem taşımaktadır (Liu ve ark., 2024; Tang ve ark., 2025). Yoğun üretim niteliği gösteren kanatlıların yetiştirilmesinde, civcivler kuluçkadan çıkar çıkmaz ortamda bulunan çok çeşitli mikroorganizmalarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu erken temas, özellikle patojen nitelikli bakteriler söz konusu olduğunda, sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Patojenlerin bağırsak epiteline yerleşmesi, bağırsak bütünlüğünün bozulmasına, enzimatik sindirimde azalmaya ve besin maddelerinin emilim miktarının düşmesine yol açarak büyüme performansında belirgin kayıplara neden olabilmektedir (Hassan ve ark., 2015). Patojen mikroorganizmaların bulaşması sadece çevresel temasla sınırlı olmayıp, üretim sürecinin çeşitli aşamalarında da görülebilmektedir. Nitekim kontamine yemler, hijyenik olmayan barınak koşulları, uygun şekilde yönetilmeyen altlık materyali, yetersiz havalandırma ve ekipman sanitasyonundaki dikkatsizlikler gibi etmenler patojen bakterilerin sayısını artırarak civcivlerin çok erken dönemde enfekte olmasına zemin hazırlamaktadır. Bununla birlikte, hayvan yoğunluğu ve çevresel stres faktörleri de bağırsak florasının yapısını bozarak patojen bakterilerin çoğalmasında kolaylaştırmakta ve hastalık oluşma riskini artırmaktadır (Zhang ve ark., 2023). Erken dönemde maruz kalınan bu patojen baskısı, yalnızca sindirim fonksiyonlarını değil, aynı zamanda civcivlerin immun sisteminin gelişimini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bağırsak dokusunda meydana gelen inflamasyon ve mikrovillus hasarı, yemden yararlanma oranını düşürerek üreticiler açısından önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle modern kanatlı üretiminde patojen maruziyetinin azaltılması, biyogüvenlik önlemlerinin iyileştirilmesi, yem hijyeninin sağlanması ve çevresel yönetimin güçlendirilmesi, kanatlılarda verim performansının korunması ve bağırsak sağlığının sürdürülebilmesi bakımından temel gereklilikler olarak kabul edilmektedir. Yem kaynaklı kontaminasyonlar veya uygun olmayan çevresel şartlar neticesinde ortaya çıkan bakteriyel bulaşmalar, kanatlılarda çeşitli sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu durum, gıda zinciri üzerinden insanlara taşınabilecek zoonotik enfeksiyonlar açısından da önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu riskleri en aza indirmek ve hem hayvan sağlığını hem de nihai ürün güvenliğini korumak amacıyla modern kanatlı

endüstrisinde farklı niteliklere sahip pek çok yem katkı maddesi kullanılmaktadır (Pitino ve ark., 2021).

Antibiyotikler, kanatlı hayvanların yetiştirilmesinde 1950'li yıllardan başlayarak kanatlıları hastalık oluşturan bakterilerden korumak ve hayvanların verim performansının artmasını sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır (Khan ve Naz, 2013). Düşük dozlarda uzun süre antibiyotik kullanımı patojen bakterilerin antibiyotiğe karşı direnç kazanmasına yol açmaktayken, yüksek dozlarda antibiyotik kullanımı ise hayvansal ürünlerde rezidü bırakarak insanların sağlığını olumsuz etkilemesi ve patojen bakteriler ile beraber florada bulunan faydalı mikroorganizmalarında aktivitelerini etkilemektedir. Antibiyotiklerin kullanılması sonucunda oluşacak bu olumsuzlukların önüne geçilmesi ve son dönemlerde güvenilir gıdaya olan talebin artmasıyla beraber Avrupa Birliği, Türkiye ve daha birçok ülkede antibiyotiklerin yem katkı maddesi olarak kullanılması tamamen yasaklanmıştır (Seidavi ve ark., 2021; Philips ve ark., 2023). Antibiyotiklerin büyütme amacıyla kullanımının yasaklanmasının ardından, üretim süreçlerinde oluşabilecek performans kayıplarının elde edilecek üretim miktarının ve ekonomik olarak karlılık üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğine yönelik kaygılar artmıştır. Bu durum, kanatlı sektöründe sürdürülebilir üretim modellerinin devamlılığı ve hayvan sağlığının desteklenmesi açısından yeni besleme stratejilerine olan ihtiyacı belirgin hale getirmiştir. Bu çerçevede, antibiyotiklerin yerine kullanılabilecek ve benzer fizyolojik etkileri gösterebilecek alternatif yem katkı maddelerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır (Schwartz ve ark., 2021; Gao ve ark., 2023). Bu amaçla organik asitler, probiyotikler, prebiyotikler, fitobiyotikler, enzim preparatları ve immünomodülatör bileşikler gibi farklı kategorilere ait katkı maddeleri, hem bağırsak sağlığını destekleme hem de hayvan performansını koruma potansiyelleri nedeniyle araştırmaların odak noktası haline gelmiştir (Lone ve ark., 2022; Drider ve ark., 2024).

ORGANİK ASİTLER

Organik asitler, yapısında karboksil ($-COOH$) grubu bulunan, karbon temelli ve genellikle zayıf asidik özellik gösteren organik bileşiklerdir (Ricke, 2003). Organik asitler canlı organizmalarda çeşitli metabolik süreçler sonucunda doğal

olarak oluşan karboksilik asitler sınıfını temsil etmektedir. Bu bileşikler, hem biyolojik sistemlerdeki doğal rolleri hem de antimikrobiyal özellikleri nedeniyle gıda ve yem endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Guo ve ark., 2021; El-Saadony ve ark., 2022). Özellikle insan tüketimine yönelik gıdalarda uzun yıllardır koruyucu madde olarak kullanılan organik asitler, küf, maya ve çeşitli bakterilerin gelişimini sınırlama fonksiyonları sayesinde kanatlı rasyonlarında da yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yem içerisinde mikrobiyal bozulmayı önlemeleri, depolama süresini uzatmaları ve patojen yükünü azaltmaları, bu maddelerin modern yem formülasyonlarında önemli bir bileşen haline gelmesine katkı sağlamaktadır (Carrique-Mas ve ark., 2007). Organik asitler, kimyasal özellikleri gereği zayıf asit sınıfında yer almakta olup, sulu ortamlarda yalnızca sınırlı bir bölümünün hidrojen iyonlarına (H^+) ayrıştığı bilinmektedir. Bir asidin iyonlaşma eğilimi, diğer bir ifadeyle çözünme derecesi, asit ayrışma sabiti (K_a) ile tanımlanmakta ve bu değer çoğunlukla logaritmik formda pK_a olarak ifade edilmektedir. pK_a değeri, bir asidin proton verme eğiliminin sayısal bir göstergesidir. pK_a değerinin düşmesi asidin daha yüksek oranda iyonlaşabileceğini ve dolayısıyla daha güçlü asidik karakter sergilediğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, pK_a değeri azaldıkça ortamda serbest hidrojen iyonu miktarı artmakta, bu da asidin etki gücünü yükseltmektedir. Bu bağlamda pK_a değeri ile asidik güç arasında ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır ve bu ilişki organik asitlerin kimyasal davranışlarını, biyolojik ortamlardaki etkilerini ve kullanım amaçlarını belirleyen temel unsurlardan birini oluşturmaktadır (Ricke, 2003). Organik asitler, kimyasal formülasyonlarında yer alan karbon atomu sayısı ve taşıdıkları karboksil grubu miktarına göre çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Bu maddeler karbon zinciri uzunluklarına göre; 1–6 karbon atomu taşıyan kısa zincirli, 7–10 karbon atomundan oluşan orta zincirli ve 10'dan daha fazla karbon içeren uzun zincirli organik asitler olarak gruplandırılmaktadır. Bunun yanı sıra, molekül yapısında bulunan karboksil grubu sayısı da önemli bir sınıflandırma ölçütüdür. Organik asitler monokarboksilik (tek karboksil grubu içeren), dikarboksilik (iki karboksil grubu içeren) ve trikarboksilik (üç karboksil grubu içeren) asitler olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır. Bu yapısal farklılıklar, organik asitlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çözünürlük ve uçuculuk davranışlarını, biyolojik etkinliklerini ve dolayısıyla yem katkısı maddesi olarak kullanım potansiyellerini direkt etkilemektedir (Theron ve Lues, 2011).

Organik asitlere ilişkin sınıflandırma kriterleri ve bu asitlerin pKa değerlerine ait bilgiler Tablo 1’de özetlenmiştir. Bu tablo, farklı organik asit türlerinin kimyasal özelliklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlayarak, söz konusu bileşiklerin yem katkısı olarak kullanımındaki farklılıkların daha açık bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır.

Tablo 1. Organik asitlerin sınıflandırılması ve pKa değerleri (Üstündağ ve Özdoğan, 2017).

Monokarboksilik		
Organik asit, C sayısı	Kısa Zincirli	pKa
	Formülü	
Formik Asit, C ₁	HCOOH	3.75
Asetik Asit, C ₂	CH ₃ COOH	4.76
Pirüvik Asit, C ₃	CH ₃ COCOOH	2.89
Propiyonik Asit, C ₃	CH ₃ CH ₂ COOH	4.88
Laktik Asit, C ₃	CH ₃ CH(OH)COOH	3.83
Bütirik Asit, C ₄	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	4.83
2-Hidroksi-4-Methylthio Butanoic Asit (HMB), C ₅	CH ₃ SCH ₃ CH ₂ CH(OH)COOH	3.86
Valerik Asit, C ₅	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	4.82
Kaproik Asit, C ₆	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	4.88
Sorbik Asit, C ₆	CH ₃ CH:CHCH:CHCOOH	4.76
	Orta Zincirli	
Benzoik Asit, C ₇	C ₆ H ₅ COOH	4.20
Gallik Asit, C ₇	C ₆ H ₂ (OH) ₃ COOH	4.41
Enantik (Heptanoik) Asit, C ₇	CH ₃ (CH ₂) ₅ COOH	4.89
Kaprilik Asit (Oktanoik), C ₈	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	4.89
Sinamik Asit, C ₉	C ₆ H ₅ CHCHCOOH	4.44
Pelargonik Asit, C ₉	CH ₃ (CH ₂) ₇ COOH	4.96
Kaprik Asit, C ₁₀	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	4.90
	Uzun Zincirli	
Laurik Asit, C ₁₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	5.78
Miristik Asit, C ₁₄	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	4.90
Palmitik Asit, C ₁₆	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	4.78
Stearik Asit, C ₁₈	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	4.78
Dikarboksilik		
	Kısa Zincirli	
Okzalik Asit, C ₂	(COOH) ₂	1.46

Malonik Asit, C ₃	CH ₂ (COOH) ₂	2.92
Malik Asit, C ₄	HO ₂ CCH ₂ CHOHCO ₂ H	3.61
Fumarik Asit, C ₄	HOOCCHCHCOOH	3.03
Suksinik Asit, C ₄	HOOCCH ₂ CH ₂ COOH	4.24
Tartarik Asit, C ₄	COOHCH(OH)CH(OH)COOH	2.93
Glutarik Asit, C ₅	COOH(CH ₂) ₃ COOH	4.33
Adipik Asit, C ₆	HOOC(CH ₂) ₄ COOH	4.39
Orta Zincirli		
Pimelik Asit, C ₇	HOOC(CH ₂) ₅ COOH	4.43
Suberik Asit, C ₈	HOOC(CH ₂) ₆ COOH	4.46
Azelaik Asit, C ₉	HOOC(CH ₂) ₇ COOH	4.47
Sebasik Asit, C ₁₀	HOOC(CH ₂) ₈ COOH	4.47
Trikarboksilik		
Akonitik Asit, C ₆	HOOCCH=C(COOH)CH ₂ COOH	2.97
Sitrik Asit, C ₆	(HOOCCH ₂) ₂ C(OH)COOH	2.93
İzositrik Asit, C ₆	C ₆ H ₈ O ₇	3.28

Organik Asitlerin Mikroorganizmalara Karşı Etki Yolları ve Vücut Üzerindeki İşlevsel Mekanizmaları

Organik asitlerin basit ve küçük molekül boyutlarında olmaları, bunların hücre zarlarından geçişine ve sitoplazma boyunca kolayca difüze olabilmesine olanak tanımaktadır. Organik asitlerin bu özellikleri onlara antibakteriyel özellikler sağlamaktadır (Theron ve Lues, 2011). Bununla birlikte, bütün organik asitlerin mikrobiyal flora üzerinde etkili olmadığı bilinmektedir. Antibakteriyel özellik gösteren organik asitlerin pKa değerleri çoğunlukla 3 ile 5 arasında değişmektedir (Huyghebaert ve ark., 2011). Organik asitlerin etkinliği, ortamın pH değerine bağlı olarak moleküler formdan iyonize forma geçebilme yetenekleri ile yakından ilişkilidir. Düşük pH şartlarında, bu asitlerin ayrılmamış formda bulunma miktarı artmakta ve bu form, mikroorganizmaların hücre zarlarından daha kolay geçebilmektedir. Hücre içine girdikten sonra iyonize formuna dönüşen organik asitler, patojenlerin hücre metabolizmasını bozarak mikroorganizmaların büyümesine ve çoğalmasına engel olmaktadır. Bu mekanizma, organik asitlerin antimikrobiyal etkinliğinin temelini oluşturmaktadır. Organik asitler hücre içine girdikten sonra, iyonize olarak anyon ve katyon formlarına ayrılmaktadır. Anyon kısmı

(RCOO^-), bakterilerin DNA yapısını bozarak protein sentezini engellemektedir. Ayrıca dekarboksilazlar ve katalazlar gibi enzimlerin aktivitelerini inhibe ederek hücre metabolizmasını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte organik asitler, besin maddelerinin hücre içine taşınmasını sağlayan transport sistemleri üzerinde baskılayıcı bir etki göstermektedir. Katyon kısmı (H^+) ise hücre içi pH'ını düşürerek, pH'a duyarlı bakterilerin (*Listeria*, *Salmonella*, *Coliformlar* ve *Clostridium*) intraselüler ve ekstraselüler pH arasındaki farkı düzenlemek amacıyla enerji harcamasına yol açar. Mikroorganizmanın bu pH dengesini sürdürmek için aşırı miktarda enerji harcaması, metabolik aktivitelerin aksamasına ve büyümenin gerilemesine yol açabilir, ilerleyen durumlarda bu süreç bakteriyel ölümle sonuçlanabilmektedir (Kim ve ark., 2015). Organik asitlerin antimikrobiyal etkinliği, bir dizi faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler arasında organik asidin kimyasal yapısı, pKa değeri, molekülün ağırlığı ve kimyasal formu (esterleşmiş olup olmaması, kaplanmış veya mikrokapsüllenmiş olması), hedeflenen mikroorganizmanın yapısal özellikleri, hayvanın türü ve yemin tamponlama kapasitesi gibi faktörler bu durumu etkileyen başlıca unsurlardır. Genel bir ifadeyle, pKa değeri daha yüksek olan organik asitler, mikroorganizmalara karşı daha belirgin bir antibakteriyel etki ortaya koymaktadır. Ayrıca, zincir uzunluğunun artması ve doymamışlık derecesinin yükselmesi de bu asitlerin etkinliğini artıran önemli yapısal özelliklerdendir. Organik asitlerin kaplanması veya mikrokapsüllenmesi, sindirim kanalı boyunca parçalanmalarının önüne geçerek asidin bağırsaklara ulaşmasını sağlar ve böylece antibakteriyel etkilerini artırır. Bu durum, başta bağırsak sağlığının devamlılığının sağlanması ve patojen yükünün kontrol altında tutulması bakımında yem formülasyonlarında sık olarak kullanılmaktadır. Organik asitlerin bakteriyel inhibisyon etkisi, hedef alınan bakteri türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle birçok fermentatif bakteri, çevredeki pH çok asidik seviyelere indiğinde bile, hücre içi pH'ını düşmeye karşı koruyabilecek direnç gösterme kapasitesine sahiptir. Bu özellik, bakterilerin düşük pH şartlarına karşı uyum geliştirmelerini sağlayarak, asidik ortamlarda metabolik aktivitelerini sürdürebilmelerine canlılıklarının devamını sağlamalarına olanak tanımaktadır (Melaku ve ark., 2021; Kalia ve ark., 2022). Organik asitler, antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra, trikarboksilik asit (TCA) döngüsünde ara ürünler olarak görev aldıkları için sindirim sistemi boyunca enerji kaynağı

olarak da kullanılabilir. Organik asitlerin bu özellikleri sayesinde, vücut dokularının glukoneogenez ve lipoliz yoluyla yıkımı azalmakta, dolayısıyla enerji üretimi için dokuların parçalanmasına olan ihtiyaç en az seviyeye inmektedir (Phillips ve ark.2023). Bu özellikleri, organik asitlerin sadece bağırsak sağlığını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda enerji metabolizmasının düzenlenmesine katkıda bulunmalarını da sağlamaktadır (Shan ve ark., 2025). Organik asitlerin anyonik formu, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve çinko gibi minerallerle kompleksler oluşturarak bu minerallerin biyoyararlanımını artırabilmektedir. Bunun yanı sıra, organik asitler proteolitik enzimlerin aktivitelerini artırarak proteinlerin parçalanmasını ve sindirimini kolaylaştırmaktadır. Böylece besin maddelerinin etkin kullanımını desteklemektedir. Bu etkiler, organik asitlerin hem mineral hem de protein metabolizması üzerinde dolaylı olarak performans artırıcı bir rol üstlendiğini göstermektedir (Bialkowski ve ark., 2022).

Organik Asitlerin Kanatlılarda Büyüme ve Verimlilik Üzerindeki Rolü

Organik asitler, uygun besleme yöntemleri, etkin yönetim uygulamaları ve sağlam biyogüvenlik önlemleri altında kullanıldığında, kanatlıların verim performansını artırmada etkili ve güvenilir bir yol olarak işlev görebilmektedir. Kanatlı beslenmesi ve yem endüstrisinde en yaygın kullanılan organik asitler arasında propiyonik asit, formik asit, sitrik asit ve asetik asit yer almaktadır. Bu asitlerin uygun çevresel koşullar altında kullanımı hem hayvan sağlığının korunmasına hem de üretim verimliliğinin sürdürülebilir biçimde artırılmasına fayda sağlamaktadır. Organik asitler, bağırsak ortamının pH değerini düşürerek patojen mikroorganizmaların çoğalmasını engellemektedir. Bu etki, kanatlıların bağırsak sağlığının korunmasına katkı sağlayarak besin ve mineral emiliminin artmasına olanak tanır. Sonuç olarak, organik asitlerin kullanımı, büyüme performansını iyileştirme ve yemden yararlanma oranını artırmada önemli bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır (Choi ve ark., 2022). Yapılan çalışmalar, kanatlı yemlerine tek başına organik asit veya organik asit karışımları eklemenin, etlik civcivler, yumurtacı tavuklar, bıldırcınlar ve hindilerde performans göstergelerinde kayda değer iyileşmelere neden olduğunu ortaya koymaktadır. (Kamal ve Ragaa, 2014; Milbradt ve ark., 2014; Ugwuene ve Onunkw, 2015; Abdelrazek ve ark., 2016). Elde edilen bu

bulgular, organik asitlerin farklı kanatlı türlerinde büyüme performansı, yemden yararlanma oranı ve genel verimlilik üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Organik Asitlerin Kanatlıların Sağlık ve Bağırsak Fonksiyonları Üzerindeki Etkileri

Organik asitlerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin temelinde, sindirim sistemi pH'sını düşürerek patojen mikroorganizmaların çoğalmasını engelleme yetenekleri bulunmaktadır (Gerzilov ve Hristakieva, 2025). Bu düşük asidik ortam, başta *E. coli*, *Campylobacter*, *Salmonella* ve *Clostridium* türleri olmak üzere birçok patojen mikroorganizma türünün canlılığını ve çoğalma hızını kısıtlayarak, hastalık oluşum riskini azaltmaktadır. Çeşitli çalışmalar, kanatlı rasyonlarına organik asit ilavesinin söz konusu patojenlerin varlığını azaltmada veya neden oldukları olumsuz etkileri hafifletmede etkili ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, organik asitlerin sadece antimikrobiyal etkiyle sınırlı kalmayıp immun sistem üzerinde de düzenleyici etki gösterdiği bildirilmektedir. Bu kapsamda, organik asitlerin T ve B lenfositlerinin gelişmesinde rol oynayan timus ve bursa fabricius gibi lenfoid organların gelişimini desteklediği, ayrıca immun cevapta önemli bir yere sahip olan immünoglobulin seviyesini artırarak hastalıklara karşı direnç oluşumunu güçlendirdiği belirtilmektedir. Bu bulgular, organik asitlerin hem bağırsak sağlığının korunmasında hem de immun sistemin desteklenmesinde önemli rollere sahip olduğunu göstermektedir (Akaichi ve ark., 2022; Ayalew ve ark., 2022). Kanatlı yemlerinde kullanılan farklı organik asitler ve bunların etkileri, Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Kanatlılarda kullanılan bazı organik asitler ve etkileri (Sirsat ve ark., 2009; Yusuf ve ark., 2016; Liu ve ark., 2023; Abd El-Hack ve ark., 2024; Zhou ve ark., 2025).

Organik Asit	Kanatlı Türü	Gözlenen Etkiler
Formik Asit (5 g/kg yem)	Etlik Piliç	Canlı ağırlık, vilus yüksekliği, kript derinliği ve lenfosit sayısında artış; sekumda <i>Clostridium</i> ve <i>Salmonella</i> sayısında azalma
Formik Asit (%0.3 ve %0.5)	Etlik Piliç	Canlı ağırlık ve ağırlık artışı, yemden yararlanma, IgG, IgM ve toplam

		immünoglobulin seviyelerinde artış; sekumda <i>E. coli</i> sayısında azalma
Propiyonik Asit (%0.3 ve %0.5)	Etlik Piliç	Canlı ağırlık ve ağırlık artışı, yemden yararlanma, immün yanıtın yükselmesi
Sodyum Bütirat (%0.5 ve %1)	Yumurtacı Tavuk	Yumurta verimi, yumurta kütlesi ve yemden yararlanma oranında artış
Kalsiyum Propiyonat (%0.5 ve %1)	Yumurtacı Tavuk	Yumurta verimi, yumurta kütlesi ve yemden yararlanma oranında artış
Sitrik Asit (5 g/kg), Bütirik Asit (5 g/kg), Fumarik Asit (5 g/kg)	Yumurtacı Tavuk	Yumurta verimi, yumurta kütlesi, yemden yararlanma, yumurta kabuğu kalınlığı ve tibia Ca içeriğinde artış; serum kolesterol ve trigliserid seviyelerinde düşüş
Benzoik Asit (2 g/kg) + Sitrik Asit (5 g/kg)	Bıldırcın	Yem tüketimi, timus indeksi, lenfosit sayısı ve IgM seviyelerinde artış; serum kolesterol düzeylerinde azalma
Kısa ve Orta Zincirli Asit Karışımı (2 g/kg)	Hindi	Yem tüketiminde azalma, yemden yararlanma oranında artış

SONUÇ

Kanatlı beslemede antibiyotiklerin büyütme amacıyla kullanımının yasaklanması, sektörü performans kayıplarını önleyebilecek güvenilir alternatiflere yönelmiştir. Bu çerçevede organik asitler, hem sindirim sistemi sağlığını destekleyen hem de antibiyotiklere benzer biçimde patojenlerin etkinliğini azaltabilen etkili yem katkıları olarak dikkat çekmektedir. Organik asitlerin bağırsak pH'sını düşürerek zararlı mikroorganizmaların çoğalmalarını engellemesi, yemden yararlanmayı artıran temel bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca bu bileşiklerin mineral emilimini iyileştirme, enzimatik sindirimi destekleme, enerji metabolizmasına katkı sağlama ve immün sistem organlarının gelişimini teşvik etme gibi çok yönlü etkileri, yalnızca büyüme performansında değil, genel sağlık durumunda da belirgin iyileşmelere yol açmaktadır. Literatürde yer alan bulgular, farklı kanatlı türlerinde organik asitlerin kullanımının canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma oranı ve bağırsak bütünlüğü gibi temel üretim parametrelerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Sonuç olarak, organik asitler doğru besleme stratejileri ve etkin biyogüvenlik uygulamaları ile birlikte kullanıldığında, kanatlı üretiminde antibiyotiklere sürdürülebilir bir alternatif oluşturma potansiyeline sahiptir. Artan antibiyotik direnci ve güvenilir gıda talebi göz önünde bulundurulduğunda, organik asitlerin gelecekte kanatlı sektörünün vazgeçilmez bileşenlerinden biri olmaya devam edeceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abd El-Hack ME, Ashour EA, Youssef IM, Elsherbeni AI, Tellez-Isaias G, Aldhalmi AK, Swelum AA, Farag SA. Formic acid as an antibiotic alternative in broiler diets: effects on growth, carcass characteristics, blood chemistry, and intestinal microbial load. *Poult Sci*. 2024 Sep;103(9):103973. doi: 10.1016/j.psj.2024.103973. Epub 2024 Jun 13. PMID: 38972280; PMCID: PMC11264167.
- Abdelrazek HMA, Abuzead SMM, Ali SA, El Genaidy HMA, Abdel-Hafez SA. Effect of citric and acetic acid water acidification on broiler's performance with respect to thyroid hormones levels. *Adv Anim Vet Sci* 2016;4(5):271-8.
- Akaichi A, Jebali A, Benlarbi M, Mahjoub T, Kaboudi K, Chaouacha-Chekir RB, Haouas Z, Boudhrioua N. Effects of humic acid and organic acids supplements on performance, meat quality, leukocyte count, and histopathological changes in spleen and liver of broiler chickens. *Res Vet Sci*. 2022 Dec 5;150:179-188. doi: 10.1016/j.rvsc.2022.07.001. Epub 2022 Jul 11. PMID: 35842949.
- Ayalew H, Zhang H, Wang J, Wu S, Qiu K, Qi G, Tekeste A, Wassie T, Chanie D. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production. *Front Vet Sci*. 2022 Jun 17;9:916473. doi: 10.3389/fvets.2022.916473. PMID: 35782570; PMCID: PMC9247512.
- Bialkowski S, Toschi A, Yu LE, Schlitzkus L, Mann P, Grilli E, Li Y. Effects of microencapsulated blend of organic acids and botanicals on growth performance, intestinal barrier function, inflammatory cytokines, and endocannabinoid system gene expression in broiler chickens. *Poult Sci*. 2023 Mar;102(3):102460. doi: 10.1016/j.psj.2022.102460. Epub 2022 Dec 28. PMID: 36680863; PMCID: PMC10014334.
- Carrique-Mas JJ, Bedford S, Davies RH. Organic acid and formaldehyde treatment of animal feeds to control *Salmonella*: Efficacy and masking during culture. *J Appl Microbiol* 2007;103(1):88-96.
- Choi J, Singh AK, Chen X, Lv J, Kim WK. Application of Organic Acids and Essential Oils as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2022 Aug 25;12(17):2178. doi: 10.3390/ani12172178. PMID: 36077897; PMCID: PMC9454433.

- Drider D, Demey V, Spano G, Coucheney F, Chaucheyras-Durand F, Castex M. Potential of Non-Saccharomyces Yeasts as Probiotics and Alternatives to Antibiotics in Animal Production. *Foodborne Pathog Dis.* 2024 Dec;21(12):731-737. doi: 10.1089/fpd.2023.0175. Epub 2024 Aug 26. PMID: 39180438.
- El-Saadony MT, Salem HM, El-Tahan AM, Abd El-Mageed TA, Soliman SM, Khafaga AF, Swelum AA, Ahmed AE, Alshammari FA, Abd El-Hack ME. The control of poultry salmonellosis using organic agents: an updated overview. *Poult Sci.* 2022 Apr;101(4):101716. doi: 10.1016/j.psj.2022.101716. Epub 2022 Jan 12. PMID: 35176704; PMCID: PMC8857471.
- Gao J, Yang Z, Zhao C, Tang X, Jiang Q, Yin Y. A comprehensive review on natural phenolic compounds as alternatives to in-feed antibiotics. *Sci China Life Sci.* 2023 Jul;66(7):1518-1534. doi: 10.1007/s11427-022-2246-4. Epub 2022 Dec 28. PMID: 36586071.
- Gerzilov V, Hristakieva P. Organic acids supplementation in poultry nutrition: A review. *Open Vet J.* 2025;15(8):3448-3458. doi: 10.5455/OVJ.2025.v15.i8.8. Epub 2025 Aug 31. PMID: 41036003; PMCID: PMC12483471.
- Guo Y, Zhao L, Ma Q, Ji C. Novel strategies for degradation of aflatoxins in food and feed: A review. *Food Res Int.* 2021 Feb;140:109878. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109878. Epub 2020 Nov 21. PMID: 33648196.
- Hassan RIM, Mosaad GMM, Abd-elah AM. Ef fect of feeding probiotic on performance of broiler ducks fed different protein levels. *J Adv Vet Res* 2015;5(3):136-42.
- Huyghebaert G, Ducatele R, Van Immerseel F. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *Vet J* 2011;187:182-8.
- Kalia VC, Shim WY, Patel SKS, Gong C, Lee JK. Recent developments in antimicrobial growth promoters in chicken health: Opportunities and challenges. *Sci Total Environ.* 2022 Aug 15;834:155300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155300. Epub 2022 Apr 18. PMID: 35447189.
- Kamal AM, Ragaa NM. Effect of dietary supple mentation of organic acids on performance and serum biochemistry of broiler chicken. *Nat Sci* 2014;12(2):38-45.

- Khan RU, Naz S. The applications of probiotics in poultry production. *Worlds Poult Sci J* 2013;69:621-32.
- Kim JW, Kim JH, Kil DY. Dietary organic acids for broiler chickens: a review. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2015;28:109-23.
- Lauková A, Strompfová V, Plachá I, Čobanová K, Faix S, Simonová MP. Beneficial effect of enterocin M-producing, probiotic strain *Enterococcus faecium* AL41 in model experiment with hens. *GJASR* 2015;3(1):206-13.
- Liu S, Hu J, Li L, Xing S, Yang Y, Liao X. Sodium butyrate reduces ammonia production in the cecum of laying hens by regulating ammonia-producing bacteria. *Poult Sci.* 2023 May;102(5):102241. doi: 10.1016/j.psj.2022.102241. Epub 2022 Oct 18. PMID: 36972670; PMCID: PMC10066553.
- Liu X, Ji Y, Lv H, Lv Z, Guo Y, Nie W. Microbiome and metabolome reveal beneficial effects of baicalin on broiler growth performance and intestinal health. *Poult Sci.* 2025 Feb;104(2):104678. doi: 10.1016/j.psj.2024.104678.
- Lone A, Mottawea W, Mehdi Y, Hammami R. Bacteriocinogenic probiotics as an integrated alternative to antibiotics in chicken production - why and how? *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022;62(31):8744-8760. doi: 10.1080/10408398.2021.1932722. Epub 2021 Jun 1. PMID: 34060404.
- Melaku M, Zhong R, Han H, Wan F, Yi B, Zhang H. Butyric and Citric Acids and Their Salts in Poultry Nutrition: Effects on Gut Health and Intestinal Microbiota. *Int J Mol Sci.* 2021 Sep 27;22(19):10392. doi: 10.3390/ijms221910392. PMID: 34638730; PMCID: PMC8508690.
- Milbradt EL, Okamoto AS, Rodrigues JCZ, Garcia EA, Sanfelice C, Centenaro LP, Andreatti RL. Use of organic acids and competitive exclusion product as an alternative to antibiotic as a growth promoter in the raising of commercial turkeys. *Poult Sci* 2014;93:1855-61.
- Phillips CJC, Hosseintabar-Ghasemabad B, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolov AA, Seidavi A. Immunomodulatory Effects of Natural Feed Additives for Meat Chickens. *Life (Basel).* 2023 May 30;13(6):1287. doi: 10.3390/life13061287. PMID: 37374069; PMCID: PMC10301336.
- Pitino R, De Marchi M, Manuelian CL, Johnson M, Simoni M, Righi F, Tsiplakou E. Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of

- Synthetic Antioxidant Vitamins on Yield, Quality, and Oxidative Status of Poultry Products: A Review of the Literature of the Last 20 Years. *Antioxidants* (Basel) 2021 May 11;10(5):757. doi: 10.3390/antiox10050757.
- Ricke SC. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poult Sci* 2003;82(4):632-9.
- Schwartz B, Vetvicka V. Review: β -glucans as Effective Antibiotic Alternatives in Poultry. *Molecules*. 2021 Jun 10;26(12):3560. doi: 10.3390/molecules26123560. PMID: 34200882; PMCID: PMC8230556.
- Seidavi A, Tavakoli M, Slozhenkina M, Gorlov I, Hashem NM, Asroosh F, Taha AE, Abd El-Hack ME, Swelum AA. The use of some plant-derived products as effective alternatives to antibiotic growth promoters in organic poultry production: a review. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Sep;28(35):47856-47868. doi: 10.1007/s11356-021-15460-7. Epub 2021 Jul 23. PMID: 34302240.
- Shan C, Liu Y, Liu S, Li C, Ma C, Yu H, Li J, Jiang G, Tian J. Exploring the Mechanism of *Clostridium autoethanogenum* Protein for Broiler Growth Based on Gut Microbiota and Serum Metabolomics. *Biology* (Basel). 2025 Jan 2;14(1):29. doi: 10.3390/biology14010029. PMID: 39857260; PMCID: PMC11762677.
- Sirsat SA, Muthaiyan A, Ricke SC. Antimicrobials for foodborne pathogen reduction in organic and natural poultry production. *J Appl Poult Res* 2009;18:379-88.
- Steven C Ricke. Strategies to Improve Poultry Food Safety, a Landscape Review. *Annu Rev Anim Biosci* 2021 Feb 16;9:379-400.
- Tang X, Zeng Y, Li M. *Clostridium butyricum*: a promising approach to enhancing intestinal health in poultry. *Front Vet Sci*. 2025 May 21;12:1544519. doi: 10.3389/fvets.2025.1544519.
- Theron MM, Lues JFR. Organic acids and food preservation, CRC Press, Boca Raton, FL; 2011. p.340.
- Ugwuene MC, Onunkwo DN. Performance of turkey poult as influenced by organic acids supplementation in the diets. *Int J Livest Res* 2015;5(5):80-4.

- Üstündağ AÖ, Özdoğan M. Kanatlı beslemede alterbiyotik kullanımı: probiyotikler, prebiyotikler, organik asitler ve bakteriyosinler. Türkiye Klinikleri Veteriner Bilimleri-Farmakoloji ve Toksikoloji, 2017.
- Yusuf MS, Ibrahim MT, Samy HM, Mahmoud MMA, Cu H. Yeast, lactose, and organic acids mixture improved zoological growth and immune status of Japanese quails. Biol Forum Int J 2016;8(1):255-67.
- Zhang Y, Chen H, Cong W, Zhang K, Jia Y, Wu L. Chronic Heat Stress Affects Bile Acid Profile and Gut Microbiota in Broilers. Int J Mol Sci 2023 Jun 16;24(12):10238. doi: 10.3390/ijms241210238.
- Zhou Y, Qiu C, Zhou Z, Zhang Y, Zhang D, Cai Y, Yuan J, Song S, Feng Z, Wang X. Baicalein and Citric Acid Modulate Intestinal Morphology and Health Status in Laying Hens. Vet Sci. 2025 Jul 28;12(8):706. doi: 10.3390/vetsci12080706. PMID: 40872657; PMCID: PMC12390434.

BÖLÜM 6

PROBİYOTİKLERİN KANATLI BESLENMESİNDEKİ ROLÜ: SAĞLIK VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet IRMAK¹

Dr. Öğr. Üyesi Veysi KAYRI²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139013>

¹ Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları, Siirt, Türkiye mehmet.irmak@siirt.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-2859>

² Batman Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu - Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü - Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, Batman, Türkiye. veysi.kayri@batman.edu.tr ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-8609>

GİRİŞ

Son yıllarda, hayvan besleme endüstrisinde kullanılan yem katkı maddeleri, kanatlı hayvanların büyüme performansı ve sağlığı üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle giderek daha önemli hale gelmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020; Krysiak ve ark., 2021). Beslenme ve genetikteki ilerlemeler sayesinde, Kanatlı Sektöründe çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Denli ve ark., 2003; Gado ve ark., 2019). Modern broiler yetiştiriciliğinde elde edilen başarıya probiyotiklerin katkısı göz ardı edilemez. Yem katkı maddeleri, hayvan verimliliğini artırmak ve bu amaçla yemin kullanım etkinliğini iyileştirmek için kullanılan maddeleri ifade eder (Denli ve ark., 2003; Abdelqader ve ark., 2020). Kanatlı hayvan diyetlerinde yem katkı maddesi olarak çok sayıda madde kullanılmaktadır. Bunlar antibiyotikler, probiyotikler, oligosakkaritler, enzimler ve organik asitler olarak sıralanabilir (Alagawany ve ark., 2018; Abdelqader ve ark., 2020; El Jeni ve ark., 2021). Bu yem katkı maddeleri, yem tüketimini artırdıkları ve sonuç olarak kanatlı türlerinde verim performansını iyileştirdikleri için kanatlı hayvan diyetlerine dahil edilmektedir (Abd El-Hack ve ark., 2019). Antibiyotikler, hayvan sağlığını korumak ve verim performansını artırmak amacıyla uzun yıllar boyunca kanatlı hayvan beslenmesinde kullanıldı (Al-Khalaifah, 2018). Antibiyotiklerin terapötik dozlarının altında kullanılması, hastalık önlenmesi ve canlı ağırlık artışında iyileşmeler sağlamıştır (Fong ve ark., 2016; Al-Khalaifah, 2018). Kanatlı hayvanlarda üretim performansını artırmak için antibiyotiklerin uzun süreli kullanımı belirli sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu yaygın kullanım, enfeksiyöz hastalıkların tedavisinde kullanılan antibiyotiklere dirençli bakterilerin gelişmesine neden olmuş ve bu bakterilerin insan sağlığı için tehdit oluşturduğu bildirilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, Dünya Sağlık Örgütü 1997'de ve Avrupa Birliği Ekonomik ve Sosyal Komitesi 1988'de, insan gıda tüketimi için yetiştirilen hayvanların diyetlerinde antibiyotik kullanımının bir halk sağlığı sorunu oluşturduğu sonucuna varmıştır (Al-Khalaifah, 2018). Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği Ekonomik ve Sosyal Komitesi'nin bu kararlarının arkasındaki gerekçe, belirli antibiyotik dirençli genlerin insanlara transfer olduğunu gösteren kanıtların tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır (Vieco-Saiz ve ark., 2019). Bu gelişmelerin ışığında, Avrupa Birliği 2006 yılında hayvanlarda büyüme destekleyici olarak antibiyotik kullanımını

yasaklamıştır (Castanon, 2007). Gıda amaçlı kullanılan hayvanlarda büyüme destekleyici olarak antibiyotik kullanımının yasaklanmasının ardından, kanatlı hayvanlarda probiyotik kullanımında bir artış gözlemlenmiştir. Çalışmalar, probiyotiklerin kanatlı hayvan diyetlerine eklenmesinin bağırsak sağlığında iyileşme sağladığını göstermiştir. Bağırsak sağlığındaki bu iyileşmeler, hayvanların hem sağlığına hem de üretim performansına olumlu katkılar sağladığını göstermiştir (Larsson ve ark., 2012). Probiyotik kullanımının genel amacı şu şekilde ifade edilebilir: Gıda kaynağı olarak yetiştirilen kanatlı ve hayvanlarda probiyotikler, yem alımını, canlı ağırlık artışını ve yem dönüşüm oranını artırmanın yanı sıra beslenme stresini azaltmak için kullanılmaktadır (Arsène ve ark., 2021). Ayrıca probiyotikler, hayvanların sağlığını ve refahını iyileştirmeyi, böylece üretimin belirli kritik aşamalarında morbidite ve mortalite oranlarını azaltmayı amaçlamaktadır (El Jeni ve ark., 2021).

Probiyotik Nedir?

Probiyotikler, insan ve hayvan sağlığı üzerinde faydalı etkiler gösteren mikroorganizmalardır. Probiyotikler, bakteri ve mayalardan oluşmaktadır (Kim ve ark., 2019). Çeşitli kaynaklarda probiyotikler, Yunanca kökeninden türetilerek "yaşam için" anlamında kullanılmıştır (Fuller and Fuller, 1992; Parvez ve ark., 2006). Probiyotik kavramı ilk olarak Lilly ve Stillwell tarafından ortaya atılmıştır. 1965 yılında Lilly ve Stillwell, probiyotikleri "mikroorganizmalar tarafından üretilen büyümeyi teşvik edici faktörler" olarak tanımlamışlardır (Orsi and Zambrini, 2017). FAO/WHO tarafından 2001 yılında formüle edilen mevcut probiyotik tanımı, probiyotikleri "uygun miktarlarda uygulandığında konakçı organizmaya sağlık faydası sağlayan canlı mikroorganizmalar" olarak belirtmektedir (Hotel and Cordoba, 2001; Orsi and Zambrini, 2017).

Kanatlı Beslenmesinde Probiyotiklerin Tarihçesi

Fermentasyon ve probiyotikler üzerine öncü araştırmalar, Paris'teki Pasteur Enstitüsü'nde çalışan Elie Metchnikoff tarafından yürütülmüştür. Metchnikoff, Bulgar köylülerinin daha uzun yaşam süresine sahip olduğunu gözlemlemiş ve bunun yerel halkın fermente süt tüketme alışkanlığından kaynaklandığını ileri

sürmüştür (Abd El-Hack ve ark., 2020). Metchnikoff, bu farkındalığın ardından, konuyla alakalı çalışmalara başlamış ve *Lactobacillus* cinsi mikroorganizmalar tarafından fermente edilen süt kültürlerinde çalışmaya başladı. Bu çalışmaların neticesinde *Lactobacillus bulgaricus* yoğurt mayalamak için popüler bir tür haline gelmiştir (Fuller and Fuller, 1992; Forkus ve ark., 2017; Ran ve ark., 2019; Abd El-Hack ve ark., 2020).

KANATLI BESLENMESİNDE PROBİYOTİK KULLANIMI

Probiyotik Türleri ve Özellikleri

Daha önce belirtildiği gibi, probiyotikler kanatlılarda hem verim performansı hem de sağlık faydaları sağlayabilen canlı mikrobiyal yem katkı maddeleri olarak tanımlanmaktadır. Bunların en yaygın kullanılanları laktik asit bakterileri, *Bacillus* ve *Bifidobacterium* türleridir (Parvez ve ark., 2006; Al-Khalaifah, 2018). Birçok araştırmacı, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* ve *Enterococcus* gibi diyetle verilen probiyotiklerin kanatlılarda genel sağlık durumu, yem değerlendirme ve farklı performans parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin çok sayıda rapor yayınlamıştır (Landoni and Albarellos, 2015; Al-Khalaifah, 2018). Avrupa Birliği'nde çoklu bakteri suşları içeren preparatların kullanımı onaylanmış olup, mevcut durumda 30 probiyotik preparat resmi olarak kayıtlıdır (Krysiak ve ark., 2021).

Probiyotik preparatların üretiminde kullanılan birçok tür olmasına rağmen, en yaygın mikroorganizma türleri *Bifidobacterium spp.*, *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Bacillus spp.*, *Streptococcus spp.* gibi bakteriler ve *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces boulardii* ve *Candida spp.* gibi mayalardır. (Parvez ve ark., 2006; Krysiak ve ark., 2021). Kanatlı yemleme programlarında yaygın şekilde kullanılan probiyotik mikroorganizmalar *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium rohitia*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus coagulans*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus lactis*, *Clostridium butyricum*, *Methanobacterium* ve *Streptococcus* türlerini içermektedir (Dong ve ark., 2024)

PROBİYOTİKLERİN KANATLI SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Probiyotiklerin çalışma prensibi sindirim prosesi ile ilintilidir. Bu süreç, besinlerin ağız boşluğuna alınmasıyla başlar. Gastrointestinal sisteme giren besin çeşidine göre değişiklikler meydana gelmektedir. Sindirim sisteminde yerleşik olan mikroorganizmalar bu duruma olumlu, olumsuz veya nötr bir yanıt verme kapasitesine sahiptir (Parvez ve ark., 2006). Probiyotikler, büyüme ve verim performansını artırıcı etkileri, bağışıklık sistemini destekleyici özellikleri ve genel sağlık durumunu koruyucu etkileri nedeniyle kanatlı beslenmesinde kullanım alanı bulmaktadır (Abd El-Hack ve ark., 2020). Probiyotiklerle tedavi edildiği bildirilen veya tedavi potansiyeli taşıyan klinik semptomlar; diyare, gastroenterit, irritabl bağırsak sendromu ve enflamatuvar bağırsak hastalığı, suprese olmuş bağışıklık fonksiyonu, malnütrisyon, hepatik hastalıklar ve *Helicobacter pylori* enfeksiyonlarını kapsamaktadır.

Sindirim Sistemi Sağlığı

Kanatlı rasyonlarına probiyotik ilavesinin bağırsak villuslarının yüksekliği ve kript derinliği üzerinde pozitif etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Abdelqader ve ark., 2020). Villus yüksekliğindeki artış, bağırsak yüzey alanının genişlemesine yol açmaktadır. Bu durum, besin emilimini artırarak performans verimliliğini iyileştirir. Laktik asit bakterileri, intestinal lümenle çeşitli enzimler ve vitaminler salgılamaktadır. Bu koşul, sindirim üzerinde sinerjistik etkiler sergileyerek bağırsakta kötü emilim belirtilerini hafifletmektedir. Bu durum aynı zamanda laktik asit üretimini desteklemekte ve bağırsak içeriğinin pH'ını düşürerek *Salmonella spp.* ve *E. coli* suşları gibi invaziv patojenlerin gelişiminin inhibe edilmesine yardımcı olmaktadır (Parvez ve ark., 2006). Bakteriyel enzimatik hidroliz, proteinler ve yağların biyoyararlanılabilirliğini artırmakta olup, laktik asit bakterileri serbest amino asitler, kısa zincirli yağ asitleri, laktik asit, propiyonik asit ve bütirik asit üretimini yükseltmektedir. Absorbe edildiklerinde, bu kısa zincirli yağ asitleri konakçının mevcut enerji rezervlerini desteklemekte ve kolon mukozasında oluşabilecek patolojik değişikliklere karşı koruyucu etki göstermektedir. Kısa zincirli yağ asitlerinin konsantrasyonu, kolon lümeninde uygun pH değerinin sürdürülmesine yardımcı olmakta; bu durum çeşitli bakteriyel enzimlerin ekspresyonu ve

intestinal yabancı bileşiklerin metabolizması ve kanser gelişimi açısından hayati önem taşımaktadır (Parvez ve ark., 2006). Probiyotikler en yaygın biçimde diyare hastalıklarının tedavisinde kullanım alanı bulmaktadır. Akut viral ve bakteriyel ishalin profilaksisinde olduğu gibi antibiyotikle ilişkili diyarenin kontrolünde de faydalı etkilere sahiptirler. *Lactobacillus GG*, *Lactobacillus reuteri*, *Saccharomyces boulardii*, *Bifidobacteria spp.* ve çeşitli spesifik suşların diyare tedavisinde önemli faydalar sağladığı bildirilmiştir (Benchimol and Mack, 2004; Parvez ve ark., 2006).

Bağışıklık Sisteminin Desteklenmesi

Probiyotikler, bağışıklık hücreleri ve bağırsak epitel hücreleri ile etkileşime girmekte ve böylece kanatlılarda immün sistemi güçlendirmektedir (El Jeni ve ark., 2021). Bu nedenle, kanatlı rasyonları için probiyotik seçiminde, spesifik hedefe uygun suşların tercih edilmesi esastır. Özellikle *Bacillus* cinsi bakteriler üzerine yürütülen çalışmalar, immünomodülatör etkileri tanımlamıştır. Probiyotik mikroorganizmalar, IL-10 ve TGF- β gibi antienflamatuvar sitokinlerin düzeylerini yükseltirken, proenflamatuvar sitokinleri dengeleyebilmektedir. Bu yem katkı maddelerinin rasyona ilave edilmesi, immünoglobulin M ve A seviyeleri üzerinde pozitif etkiler göstermiştir. Araştırmalar ayrıca serum toplam antioksidan kapasite yüzdesinde bir artış olduğunu da kanıtlamıştır (Kim and Lillehoj, 2019; El Jeni ve ark., 2021; Krysiak ve ark., 2021).

KANATLI HAYVAN BESLENMESİNDE PROBİYOTİKLERİN KULLANIMI

Tavuklar ve diğer kanatlıların beslenmesinde probiyotikler, antibiyotiklere alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu canlı mikroorganizmalar, sindirim sistemindeki yararlı bakteri dengesini koruyarak hayvan sağlığını iyileştirir. Bu durum da sağlıklarını muhafaza ederek performans verimliliklerini artırır (Dong ve ark., 2024). Probiyotikler, kanatlı beslenmesinde genellikle yeme ilave edilerek kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uygulama açısından daha az pratik olmakla beraber, gavaj, sprey, tablet, kaplı kapsül veya toz saşe gibi çeşitli diğer uygulama yöntemleri de

mevcuttur. Yeme katılmasına ek olarak, üreticiler bu probiyotik formülasyonları içme suyuna ilave ederek de kullanabilmektedir (Krysiak ve ark., 2021).

Büyüme Performansı

Probiyotikler, yararlı bağırsak mikrobiyotasını güçlendirmekte; patojenlerin rekabetçi dışlanması ve bağışıklık sisteminin uyarılması yoluyla intestinal ortamı düzenlemekte ve bağırsak bariyerinin fonksiyonunu iyileştirerek büyümeyi desteklemektedir (Jha ve ark., 2020). Probiyotikler kanatlı hayvan rasyonlarına eklendiğinde, probiyotik preparatlarda bulunan patojenik olmayan mikroorganizmalar bağırsak ortamında patojen mikroorganizmalarla rekabete girerek, patojenlerin normalde tutunacağı bağlanma bölgelerine bağlanırlar. Bu durum, besin maddelerinin sindirimine katkı sağlamakta ve emilimin artmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda β -galaktozidaz ve α -amilaz gibi bazı sindirim enzimlerinin salgılanmasını da artırmaktadır (Jadhav ve ark., 2015). Bu nedenle, besin maddelerinin sindirimi ve emiliminin iyileştirilmesi yoluyla büyüme performansının artmasına katkıda bulunurlar. Büyüme performansındaki bu artış, patojen mikroorganizmalarla etkili bir şekilde rekabet edilmesi sonucunda ortaya çıkmakta; yararlı probiyotiklerin bağlanma bölgelerini etkin biçimde işgal etmesini sağlayarak sindirim sürecinin optimize edilmesine ve genel sağlığın desteklenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca β -galaktozidaz ve α -amilaz gibi sindirim enzimlerinin salgılanmasının artması, besin maddelerinin etkin bir şekilde parçalanmasını ve asimilasyonunu daha da destekleyerek kanatlılarda gelişmiş büyüme sonuçlarına yol açmaktadır. Mountzouris ve ark. (2007) tarafından yürütülen bir çalışmada, etlik piliç rasyonlarına 1 g/kg düzeyinde probiyotik ilavesi yapılmış ve hayvanlar 42 gün süreyle beslenmiştir. Çalışma sonuçları, probiyotik verilen grupta büyüme performansının anlamlı düzeyde arttığını göstermiştir.

Yumurta ve Et Kalitesi

Kanatlı yetiştiricileri, tazeliğin korunması ve tüketici beklentilerinin karşılanması amacıyla uygun şekle sahip, optimal kabuk kalınlığına ve yeterli kabuk dayanıklılığına sahip yumurtalar üretmeyi hedeflemektedir. Probiyotik

uygulanan sürülerde gözlenen beslenmeye bağlı etkiler arasında yumurta verimi ve yumurta kalitesinde artış, günlük canlı ağırlık kazancının yükselmesi ve yemden yararlanma oranının iyileşmesi yer almaktadır (Krysiak ve ark., 2021; Khalid ve ark., 2022). Yapılan çalışmalarda, rasyona probiyotik ilavesinin yumurta ağırlığını artırdığı (Menconi ve ark., 2014), yumurta kabuğu kalınlığı ve dayanıklılığını iyileştirdiği (Peralta-Sánchez ve ark., 2019) yumurta fertilitesi ve kuluçka çıkış gücünü artırdığı (Mazanko ve ark., 2018) rapor edilmiştir.

Hayvanlara sunulan rasyonun besin içeriği et kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Probiyotikler, antibiyotik kullanımını büyük ölçüde azaltmakta (Arsène ve ark., 2021), tavuk etinin kalitesini artırmakta, yağ profilini iyileştirmekte, bozulmayı önlemekte, fermente kanatlı ürünlerinin raf ömrünü uzatmakta ve tavuk etine sağlık açısından faydalar sağlamaktadır (Al-Khalafah, 2018; Reuben ve ark., 2021). Etlik piliçlerde probiyotik uygulamasını takiben, göğüs ve but etlerinde kolesterol ve yağ içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, probiyotiklerin etlik piliç etinde yağ asitleri, E vitamini ve diğer besin maddelerinin düzeylerini artırdığı rapor edilmiştir (Trembecka ve ark., 2016; El Jeni ve ark., 2021). Tavuk, hindi ve ördek gibi kanatlı hayvanların etleri; yüksek sindirilebilirlikleri, yüksek protein içerikleri ve düşük kolesterol düzeyleri nedeniyle sağlıklı bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir (Dong ve ark., 2024). Kanatlı etinin kalitesi, kanatlıların yetiştirilme koşulları ve etin işlenme yöntemlerinden etkilenmektedir. Kanatlıların yetiştirilme koşulları; genetik yapı, çevresel faktörler ve beslenmeyi kapsamaktadır. Bu faktörler arasında beslenme, yönetilebilir olması ve et kalitesi üzerindeki belirleyici etkisi nedeniyle en önemli unsurlardan biridir. Hayvanlara sağlanan dengeli bir rasyon, et kalitesi üzerinde önemli düzeyde etki göstermektedir.

ÇEVRE ÜZERİNDEKİ OLUMSUZ ETKİLERİN AZALTILMASI

Kanatlıların sindirim sistemleri, yeterli düzeyde fitaz enzimi salgılayamadıkları için tahıllarda bulunan fosforu tam olarak değerlendirememektedir. Bu durum, kanatlıların çevreye aşırı miktarda fosfor atmasına neden olmaktadır. Endüstriyel kanatlı yetiştiriciliğinde, fosforun kullanım etkinliğini artırmak

amacıyla rasyonlara fitaz enzimi ilave edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, kanatlı rasyonlarına probiyotik eklenmesinin işletmelerden kaynaklanan atık sulardaki azot düzeylerini azalttığı gösterilmiştir. Bu durum, çiftliklerde ve çevresindeki alanlarda azot kirliliğinin azalmasına katkı sağlamıştır (Abd El-Ghany, 2020, 2020; El Jeni ve ark., 2021; Lamp and Moritz, 2022; Dong ve ark., 2024). Kanatlılardan kaynaklanan aşırı amonyak salınımı önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun azaltılmasında belirli yem katkı maddeleri ve bağırsak ortamının düzenlenmesi etkili olabilmektedir. Tavuklarda ürik asit, bağırsak mikroorganizmaları tarafından amonyağa dönüştürülmektedir. Spor oluşturan probiyotikler ise üreaz üreten bakterileri inhibe ederek veya bağırsak pH'sını düşürerek amonyak üretimini azaltabilmektedir (Khalid ve ark., 2022). Bazı çalışmalar, *Bacillus subtilis*'in patojen bakterileri inhibe ederek etlik piliçlerde amonyak salınımını azalttığını ve büyüme performansını iyileştirdiğini bildirmektedir (Khalid ve ark., 2022).

SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLER

Son yıllarda artan tüketici bilinci, gıda kalitesinde iyileşmelere yol açmıştır. Bu farkındalığın bir sonucu olarak, gıda amaçlı yetiştirilen hayvanlarda büyüme destekleyici olarak antibiyotik kullanımının yasaklanması gündeme gelmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Özellikle Avrupa Birliği, bu konuda önemli düzenlemeler ve değişiklikler hayata geçirmiştir (Krysiak ve ark., 2021). Gelecekte yapılacak araştırmalar, yem katkı maddesi olarak kullanılan bakteriyel suşların birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini ortaya koymalıdır. Bu mikroorganizmalar tarafından üretilen metabolitler arasındaki etkileşimler ve bunların ortaya çıkan etkileri henüz yeterince anlaşılmamıştır. Örneğin *Clostridium perfringens*, kendisiyle yakın akraba olan suşları dahi öldürebilmektedir. Buna karşılık, probiyotik olarak kullanılan mikroorganizmalar birbirleriyle simbiyotik olarak yaşayabilmekte ve karşılıklı olarak metabolitler üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle probiyotikler, patojen bakterilerin ve antibiyotik dirençli bakterilerin yayılımının kontrol altına alınmasında etkili bir müdahale aracı haline gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Abd El-Ghany, W., 2020. Paraprobiotics and postbiotics: contemporary and promising natural antibiotics alternatives and their applications in the poultry field *Open Veterinary Journal*, 10: 323-330.
- Abd El-Ghany, W. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: contemporary and promising natural antibiotics alternatives and their applications in the poultry field. *Open Vet J.* 10 (3): 323-330.
- Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Mahrose, K.M., Arif, M., Saeed, M., Arain, M.A., Soomro, R.N., Siyal, F.A., Fazlani, S.A., Fowler, J., 2019. Productive performance, egg quality, hematological parameters and serum chemistry of laying hens fed diets supplemented with certain fat-soluble vitamins, individually or combined, during summer season. *Anim Nutr*, 5 (1): 49-55.
- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Shafi, M.E., Qattan, S.Y.A., Batiha, G.E., Khafaga, A.F., Abdel-Moneim, A.E., Alagawany, M., 2020. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 104 (6): 1835-1850.
- Abdelqader, A., Abuajamieh, M., Hayajneh, F., Al-Fataftah, A.R., 2020. Probiotic bacteria maintain normal growth mechanisms of heat stressed broiler chickens. *J Therm Biol*, 92: 102654.
- Al-Khalaifah, H.S., 2018. Benefits of probiotics and/or prebiotics for antibiotic-reduced poultry. *Poult Sci*, 97 (11): 3807-3815.
- Alagawany, M., Abd El-Hack, M.E., Farag, M.R., Sachan, S., Karthik, K., Dhama, K., 2018. The use of probiotics as eco-friendly alternatives for antibiotics in poultry nutrition. *Environ Sci Pollut Res Int*, 25 (11): 10611-10618.
- Arsène, M.M., Davares, A.K., Andreevna, S.L., Vladimirovich, E.A., Carime, B.Z., Marouf, R., Khelifi, I., 2021. The use of probiotics in animal feeding for safe production and as potential alternatives to antibiotics. *Veterinary world*, 14 (2): 319.
- Benchimol, E.I., Mack, D.R., 2004. Probiotics in relapsing and chronic diarrhea. *Journal of pediatric hematology/oncology*, 26 (8): 515-517.
- Castanon, J., 2007. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry science*, 86 (11): 2466-2471.

- Denli, M., Okan, F., Celik, K., 2003. Effect of dietary probiotic, organic acid and antibiotic supplementation to diets on broiler performance and carcass yield.
- Denli, M., Okan, F., Celik, K., 2003. Effect of dietary probiotic, organic acid and antibiotic supplementation to diets on broiler performance and carcass yield. *Pakistan Journal of nutrition*, 2 (2): 89-91.
- Dong, S., Li, L., Hao, F., Fang, Z., Zhong, R., Wu, J., Fang, X., 2024. Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. *Poult Sci*, 103 (2): 103287.
- El Jeni, R., Dittoe, D.K., Olson, E.G., Lourenco, J., Corcionivoschi, N., Ricke, S.C., Callaway, T.R., 2021. Probiotics and potential applications for alternative poultry production systems. *Poultry science*, 100 (7): 101156.
- Fong, F.L.Y., Shah, N.P., Kirjavainen, P., El-Nezami, H., 2016. Mechanism of action of probiotic bacteria on intestinal and systemic immunities and antigen-presenting cells. *International Reviews of Immunology*, 35 (3): 179-188.
- Forkus, B., Ritter, S., Vlysidis, M., Geldart, K., Kaznessis, Y.N., 2017. Antimicrobial probiotics reduce *Salmonella enterica* in turkey gastrointestinal tracts. *Scientific reports*, 7 (1): 40695.
- Fuller, R., Fuller, R., 1992. History and development of probiotics. *Probiotics: The scientific basis*: 1-8.
- Gado, A.R., Ellakany, H.F., Elbestawy, A.R., Abd El-Hack, M.E., Khafaga, A.F., Taha, A.E., Arif, M., Mahgoub, S.A., 2019. Herbal medicine additives as powerful agents to control and prevent avian influenza virus in poultry—a review. *Annals of Animal Science*, 19 (4): 905-935.
- Hotel, A.C.P., Cordoba, A., 2001. Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. *Prevention*, 5 (1): 1-10.
- Jadhav, K., Sharma, K., Katoch, S., Sharma, V., Mane, B., 2015. Probiotics in broiler poultry feeds: A review. *J. Anim. Nutr. Physiol*, 1: 4-16.
- Jha, R., Das, R., Oak, S., Mishra, P., 2020. Probiotics (Direct-Fed Microbials) in Poultry Nutrition and Their Effects on Nutrient Utilization, Growth and Laying Performance, and Gut Health: A Systematic Review. *Animals (Basel)*, 10 (10).

- Khalid, A., Khalid, F., Mahreen, N., Hussain, S.M., Shahzad, M.M., Khan, S., Wang, Z., 2022. Effect of Spore-Forming Probiotics on the Poultry Production: A Review. *Food Sci Anim Resour*, 42 (6): 968-980.
- Kim, S.K., Guevarra, R.B., Kim, Y.T., Kwon, J., Kim, H., Cho, J.H., Kim, H.B., Lee, J.H., 2019. Role of Probiotics in Human Gut Microbiome-Associated Diseases. *J Microbiol Biotechnol*, 29 (9): 1335-1340.
- Kim, W.H., Lillehoj, H.S., 2019. Immunity, immunomodulation, and antibiotic alternatives to maximize the genetic potential of poultry for growth and disease response. *Animal Feed Science and Technology*, 250: 41-50.
- Krysiak, K., Konkol, D., Korczyński, M., 2021. Overview of the Use of Probiotics in Poultry Production. *Animals (Basel)*, 11 (6).
- Lamp, A., Moritz, J., 2022. Energy releasing efficacy of graded levels of a commercial microbial phytase. *Journal of Applied Poultry Research*, 31 (1): 100219.
- Landoni, M.F., Albarellos, G., 2015. The use of antimicrobial agents in broiler chickens. *The Veterinary Journal*, 205 (1): 21-27.
- Larsson, E., Tremaroli, V., Lee, Y.S., Koren, O., Nookaew, I., Fricker, A., Nielsen, J., Ley, R.E., Bäckhed, F., 2012. Analysis of gut microbial regulation of host gene expression along the length of the gut and regulation of gut microbial ecology through MyD88. *gut*, 61 (8): 1124-1131.
- Mazanko, M.S., Gorlov, I.F., Prazdnova, E.V., Makarenko, M.S., Usatov, A.V., Bren, A.B., Chistyakov, V.A., Tutelyan, A.V., Komarova, Z.B., Mosolova, N.I., 2018. *Bacillus* probiotic supplementations improve laying performance, egg quality, hatching of laying hens, and sperm quality of roosters. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10: 367-373.
- Menconi, A., Kallapura, G., Latorre, J.D., Morgan, M.J., Pumford, N.R., Hargis, B.M., Tellez, G., 2014. Identification and characterization of lactic acid bacteria in a commercial probiotic culture. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*, 33 (1): 25-30.
- Mountzouris, K., Tsirtsikos, P., Kalamara, E., Nitsch, S., Schatzmayr, G., Fegeros, K., 2007. Evaluation of the efficacy of a probiotic containing *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, and *Pediococcus* strains in promoting broiler performance and modulating cecal microflora composition and metabolic activities. *Poultry science*, 86 (2): 309-317.

- Orsi, C., Zambrini, A.V., 2017. Probiotics and prebiotics. *Advances in Dairy products*: 37-57.
- Parvez, S., Malik, K.A., Ah Kang, S., Kim, H.Y., 2006. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. *Journal of applied microbiology*, 100 (6): 1171-1185.
- Peralta-Sánchez, J.M., Martín-Platero, A.M., Ariza-Romero, J.J., Rabelo-Ruiz, M., Zurita-González, M.J., Baños, A., Rodríguez-Ruano, S.M., Maqueda, M., Valdivia, E., Martínez-Bueno, M., 2019. Egg production in poultry farming is improved by probiotic bacteria. *Frontiers in microbiology*, 10: 1042.
- Ran, T., Gomaa, W., Shen, Y., Saleem, A., Yang, W., McAllister, T., 2019. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 254: 114190.
- Reuben, R.C., Sarkar, S.L., Roy, P.C., Anwar, A., Hossain, M.A., Jahid, I.K., 2021. Prebiotics, probiotics and postbiotics for sustainable poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 77 (4): 825-882.
- Trembecka, L., Haščík, P., Čuboň, J., Bobko, M., Pavelkova, A., 2016. Fatty acids profile of breast and thigh muscles of broiler chickens fed diets with propolis and probiotics. *Journal of Central European Agriculture*.
- Vieco-Saiz, N., Belguesmia, Y., Raspoet, R., Auclair, E., Gancel, F., Kempf, I., Drider, D., 2019. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. *Frontiers in microbiology*, 10: 57.

BÖLÜM 7

POSTBİYOTİKLERİN HAYVAN BESLEMEDE KULLANIMI

Arş. Gö. İbrahim Halil KESKİN¹

Prof. Dr. Tuncay TUFAN²

Prof. Dr. Kıvanç İRAK³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139034>

¹Siirt Üniversitesi Veteriner Fakültesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı. ihalil.keskin@siirt.edu.tr; ORCID: 0009-0005-0574-1785

²Siirt Üniversitesi Veteriner Fakültesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı. tuncaytufan@siirt.edu.tr; ORCID: 0000-0001-8420-4235

³Siirt Üniversitesi Veteriner Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı. kivancirak@siirt.edu.tr; ORCID: 0000-0001-9765-0330

GİRİŞ

Hayvansal üretimde antibiyotik büyütme faktörlerinin yasaklanması sonrasında, alternatif yem katkı maddeleri üzerine yoğun araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (Tuncer, H. İ. 2007). Probiyotikler, prebiyotikler, organik asitler ve fitobiyotikler bu alanda önemli yer tuttuğu gibi, son yıllarda hem güvenlik hem de teknolojik avantajları nedeniyle **postbiyotikler** bilim dünyasında yoğun ilgi görmeye başlamıştır (Yue, T ve ark, 2025).

Postbiyotikler, canlı mikroorganizma içermeyen; mikroorganizmaların metabolik ürünleri, hücresel komponentleri veya inaktive edilmiş formlarından oluşan biyolojik bileşikler olarak tanımlanmaktadır (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022). Bu bileşiklerin, konakçı üzerinde bağışıklık sisteminin modülasyonu, bağırsak sağlığının iyileştirilmesi, intestinal mikrobiyota dengesinin korunması ve büyüme performansının desteklenmesi gibi birçok açıdan yararlı etkilere sahip olduğu bildirilmektedir (Vinderola ve ark., 2022). Canlı mikroorganizma içermemeleri nedeniyle depolama stabilitesi, güvenlik ve teknolojik uygulama kolaylığı gibi avantajlar sunan postbiyotikler, hayvansal üretimde alternatif yem katkı maddeleri arasında giderek artan bir ilgi odağı hâline gelmiştir (Salminen ve ark., 2021).

Postbiyotik Kavramı ve Tanımı

Postbiyotik; konakçıya sağlık yararı sağlayan inaktif mikroorganizmalar ve bunların bileşenleridir. Bu tanım probiyotiklerden farklı olarak üç önemli özelliği gösterir :

- ✓ Canlı değildirler.
- ✓ Mikrobiyal metabolitler ve hücre yapı komponentleri içerirler.
- ✓ Etkilerini konakçı fizyolojisi üzerinden gösterirler.

Postbiyotikler; fermentasyon ürünleri, hücre duvarı parçaları, organik asitler, bakteri proteinleri, kısa zincirli yağ asitleri ve ekzopolisakkaritlerden oluşabilir (Salminen ve ark., 2021).

Postbiyotiklerin Yapısı, Kimyası ve Sınıflandırılması

Postbiyotikler iki kategoriye ayrılır:

Mikrobiyal Metabolitler

- ✓ Vitaminler
- ✓ Lipitler
- ✓ Enzimler
- ✓ Proteinler
- ✓ Ekstraselüler polisakkaritler
- ✓ Organik asitler
- ✓ Kısa zincirli yağ asitleri (SCFA)

Bu bileşenler bağırsak pH'sını düşürür, antimikrobiyal etki gösterir ve konakçı metabolizmasını düzenlerler (Taverniti ve Guglielmetti, 2011).

Mikrobiyal Bileşenler

- ✓ Peptidoglikan
- ✓ Fosfolipit
- ✓ Yağ asitleri
- ✓ Hücre duvarı polisakkaritleri
- ✓ Hücre yüzeyi proteinleri
- ✓ Protein filamentleri

Bu özellikler **bağışıklık sistemini modüle edici** etkilere sahiptir (Taverniti ve Guglielmetti, 2011).

Postbiyotiklerin Bileşenleri ve Sınıflandırması

Son yıllarda yapılan güncel derleme çalışmalarında postbiyotik bileşenleri temel olarak birkaç ana grupta sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma, postbiyotiklerin kaynakları, yapısal özellikleri ve biyolojik etkileri dikkate alınarak yapılmaktadır (Aguilar-Toalá ve ark., 2018; Salminen ve ark., 2021).

İnaktif Mikrobiyal Hücreler

Postbiyotikler; ısı, yüksek hidrostatik basınç, UV ışınları, ultrason veya kimyasal ajanlar kullanılarak inaktive edilmiş *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus* ve *Saccharomyces* gibi mikroorganizmaları içerebilmektedir. Bu inaktive hücrelerin, canlılık gerektirmeksizin konakçı üzerinde biyolojik etki gösterebildiği bildirilmektedir (Taverniti & Guglielmetti, 2011; Salminen ve ark., 2021).

Hücre Duvarı ve Yapısal Komponentler

Postbiyotiklerin arasında peptidoglikan, lipoteikoik asit, teikoik asit, liposakkarit ve hücre yüzeyi proteinleri önemli yer tutmaktadır. Bu yapısal bileşenlerin, doğuştan gelen bağışıklık sistemi reseptörleri ile etkileşime girerek immün yanıtı modüle ettiği bildirilmektedir (Lebeer ve ark., 2010; Żółkiewicz ve ark., 2020).

Mikrobiyal Metabolit Karışımları

Birçok postbiyotik ürün, mikrobiyal hücrelerle birlikte kısa zincirli yağ asitleri (asetat, propiyonat, bütirat), organik asitler (laktik, formik, propiyonik asit gibi), bakteriyosinler, hidrojen peroksit (H_2O_2), enzimler ve biyoaktif peptitler gibi metabolitleri içeren kompleks karışımlardan oluşmaktadır. Bu metabolitlerin bağırsak pH'sını düşürdüğü, patojen mikroorganizmaların gelişimini baskıladığı ve konakçı metabolizmasını düzenlediği bildirilmektedir (Taverniti ve Guglielmetti, 2011; Koh ve ark., 2016).

Ekzopolisakkaritler (EPS) ve Polisakkarit Kompleksleri

Ekzopolisakkaritler ve polisakkarit kompleksleri, bağırsak mukus tabakasını güçlendiren, epitel bütünlüğünü destekleyen ve intestinal viskoziteyi etkileyen önemli postbiyotik bileşenler arasında yer almaktadır (Aguilar-Toalá ve ark., 2018).

Hücresel Yüzeyden Salınan Veziküller ve Nano Yapılar

Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler tarafından salgılanan membran vezikülleri bağışıklık sistemini güçlü biçimde uyaran, sinyal iletiminde rol

oyunayan ve konakçı–mikrop etkileşimlerinde önemli fonksiyonlar üstlenen nano yapılar olarak tanımlanmaktadır.

Hayvan beslemede kullanılan ticari postbiyotik katkı maddelerinin önemli bir bölümü, maya veya bakterilerin kontrollü fermentasyonu sonrasında hücrelerin inaktive edilip kurutulmasıyla elde edilen kompleks ürünlerden oluşmaktadır. Özellikle *Saccharomyces cerevisiae* fermentasyon ürünlerine dayalı ticari postbiyotiklerin performans, stres yanıtı ve bağışıklık parametreleri üzerine olumlu etkileri olduğu rapor edilmiştir (Roque ve ark., 2025).

Postbiyotiklerin Etki Mekanizmaları

Son yıllarda yayımlanan kapsamlı derleme çalışmaları, postbiyotiklerin etki mekanizmalarını temelde **doğrudan (direct) biyolojik etkiler** ve **dolaylı (indirect) mikrobiyota aracılı etkiler** olmak üzere iki ana başlık altında ele almaktadır (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022).

Doğrudan Etkiler

Antimikrobiyal aktivite

Laktik asit bakterisi kökenli postbiyotiklerin, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* ve *Clostridium* türleri gibi önemli patojen mikroorganizmalara karşı belirgin inhibitör etki gösterdiği bildirilmektedir (Aguilar-Toalá ve ark., 2018; Żółkiewicz ve ark., 2020). Bu etkinin başlıca mekanizmaları arasında, bakteriyosinlerin (örneğin plantaricin ve nisin benzeri peptitler) patojenlerin hücre duvarı sentezini bozarak hücresel bütünlüğü ortadan kaldırması yer almaktadır (Vinderola ve ark., 2022).

Antioksidan ve antiinflamatuvar etki

Çeşitli postbiyotiklerin , hem *in vitro* hem de *in vivo* çalışmalarda reaktif oksijen türleri (ROS) düzeylerini azalttığı; süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca bu bileşiklerin NF-κB sinyal yollarını baskılayarak proinflamatuvar yanıtı azalttığı gösterilmiştir (Taverniti & Guglielmetti, 2011; Aggarwal ve ark., 2023).

İmmünomodülasyon

Postbiyotiklerin hücre duvarı bileşenleri, Toll-like reseptörler (TLR2 ve TLR4 gibi) başta olmak üzere pattern recognition reseptörleri aracılığıyla bağışıklık sistemini modüle edebilmektedir. Bu etkileşim sonucunda antiinflamatuvar sitokinlerden IL-10 düzeylerinde artış gözlenirken, TNF- α ve IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin baskılandığı bildirilmektedir (Lebeer ve ark., 2010; Salminen ve ark., 2021). Bu dengeli sitokin profili sayesinde aşılara karşı antikor yanıtının güçlendiği ve aşırı inflamatuvar yanıtın sınırlandığı ifade edilmektedir (Żółkiewicz ve ark., 2020).

Bağırsak bariyer fonksiyonu

Postbiyotik uygulamalarının, bağırsak epitel bütünlüğü üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu gösterilmiştir. Postbiyotik verilen hayvanlarda villus yüksekliği ve villus/kript oranının arttığı, sıkı bağlantı proteinlerinin (örneğin occludin ve claudin) ekspresyonunun yükseldiği ve buna bağlı olarak bağırsak geçirgenliği ile “leaky gut” riskinin azaldığı rapor edilmiştir (Koh ve ark., 2016; Aggarwal ve ark., 2023).

Dolaylı etkiler:

Mikrobiyota kompozisyonunun düzenlenmesi

Postbiyotikler canlı mikroorganizma içermemelerine rağmen, bağırsak ortamının pH’sını, mukus yapısını ve antimikrobiyal peptit dengesini etkileyerek intestinal mikrobiyota kompozisyonunun düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu durumun, *Lactobacillus*, *Ruminococcus* gibi yararlı kommensal bakterilerin artmasına ve potansiyel patojenlerin baskılanmasına yol açtığı bildirilmektedir (Aguilar-Toalá ve ark., 2018; Vinderola ve ark., 2022).

Metabolik düzenleme

Postbiyotik kaynaklı kısa zincirli yağ asitleri ve diğer mikrobiyal metabolitler, kolonositler için önemli bir enerji kaynağı sağlayarak epitel yenilenmesini desteklemekte; glukoz ve lipid metabolizmasını düzenleyerek yemden yararlanma oranını artırabilmektedir (Koh ve ark., 2016; Aggarwal ve ark., 2023).

Nöroendokrin sinyalleme

Son dönemde yapılan çalışmalar, bazı mikrobiyal metabolitlerin bağırsak–beyin eksenini üzerinden stres yanıtı, iştah ve davranış üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Bu mekanizma, hayvan besleme ve refahı açısından yeni ve gelişmekte olan bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022).

Kanatlılarda Postbiyotik Kullanımı

Kanatlı yetiştiriciliği, postbiyotik katkı maddelerinin performans, bağırsak sağlığı ve bağışıklık üzerine etkilerinin en yoğun şekilde araştırıldığı üretim alanlarından biridir. Özellikle antibiyotik büyüme faktörlerinin yasaklanmasının ardından, postbiyotiklerin kanatlı beslemede güvenli ve etkili alternatifler sunduğu bildirilmektedir (Salminen ve ark., 2021; Roque, F., ve ark., 2025).

Etlik Piliçlerde Performans ve Bağırsak Sağlığı

***Lactobacillus plantarum* kökenli postbiyotikler:**

Etlik piliç rasyonlarına *Lactobacillus plantarum* kökenli postbiyotiklerin ilavesinin; canlı ağırlık artışı, yemden yararlanma oranı (FCR), bağırsak villus morfolojisi ve patojen baskılanması üzerine olumlu etkiler sağladığı çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Postbiyotik verilen gruplarda canlı ağırlıkta anlamlı artış, FCR’de iyileşme, *Salmonella*, *Escherichia coli* ve *Clostridium* türlerinin sayısında azalma ile birlikte villus yüksekliği ve goblet hücre sayısında artış rapor edilmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020; Aguilar-Toalá ve ark., 2018).

Maya kökenli hücre duvarı fraksiyonları (mannan ve β -glukan içeren postbiyotikler):

Maya fermantasyonuna dayalı postbiyotik ürünlerin (örneğin mannan-oligosakkarit ve β -glukan içeren ticari preparatlar) broiler rasyonlarına ilave edilmesinin karkas randımanı, göğüs eti oranı ve bağışıklık yanıtı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Ayrıca Newcastle disease virus (NDV) ve infectious bronchitis virus (IBV) aşılara karşı antikor titrelerinin arttığı gösterilmiştir (Alizadeh ve ark., 2016).

Yumurtacı Tavuklar ve Hindiler

Yumurtacı tavuklarda postbiyotik kullanımının yumurta verimi, yumurta ağırlığı ve kabuk kalınlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu; aynı zamanda yumurta iç kalitesi göstergelerinden Haugh biriminin arttığı bildirilmektedir (Abd El-Hack ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022).

Hindiler ve diğer kanatlı türlerinde yürütülen sınırlı sayıdaki çalışmada ise postbiyotik uygulamalarının bağırsak sağlığı, bağışıklık yanıtı ve performans parametrelerini iyileştirdiği rapor edilmiş olup, bu alanda daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır (Roque ve ark., 2025).

Ruminant Beslemede Postbiyotikler

Buzağı besleme

Ruminantlarda postbiyotik kullanımını ele alan güncel derlemelerde, özellikle buzağı beslemesinde postbiyotik katkıların sağlık ve performans üzerine önemli olumlu etkiler sağladığı bildirilmektedir. Şanlı (2024) tarafından yayımlanan derlemede, buzağı rasyonlarına ilave edilen postbiyotiklerin ishal insidansını %20–40 oranında azaltabildiği, günlük canlı ağırlık artışını yükselttiği ve serum immünoglobulin düzeylerinde artış sağladığı rapor edilmiştir (Şanlı, 2024).

Bu olumlu etkilerin altında yatan mekanizmalar arasında, erken yaşam döneminde bağırsak nişlerinin (epitel) yararlı mikroorganizmalar tarafından işgal edilmesinin patojen kolonizasyonunu sınırlaması, intestinal villus yapısının korunması ve inflamatuvar yanıtın baskılanması yer almaktadır (Şanlı, 2024; Chae, J ve ark., 2024).

Süt ineklerinde rumen fermentasyonu ve süt verimi

Fermentasyon kökenli maya postbiyotiklerinin süt ineklerinde rumen fonksiyonu ve süt verimi üzerine etkileri çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda, maya postbiyotiklerinin kuru madde tüketimini artırdığı, rumen pH'sını stabilize ettiği ve asetat/propiyonat oranı ile mikrobiyal protein sentezinde iyileşme sağladığı bildirilmiştir. Bu fizyolojik iyileşmelerin sonucunda süt veriminde günlük yaklaşık 1–2 kg artış sağlanabildiği rapor edilmiştir (Poppy ve ark., 2012)

Ayrıca bazı çalışmalarda, postbiyotik uygulamalarının somatik hücre sayısını (SCC) azalttığı ve subklinik mastitis riskini düşürdüğü belirtilmiştir. Bu etkilerin, postbiyotiklerin bağışıklık sistemini modüle edici ve antiinflamatuvar özellikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Otto, 2025; Şanlı, 2024).

Besi sığırları ve küçük ruminantlar

Besi sığırlarında postbiyotik ilavesiyle yemden yararlanma oranında artış, karkas veriminde iyileşme ve stres göstergelerinde (kortizol ve akut faz proteinleri gibi) azalma bildiren çalışmalar mevcuttur. Bununla birlikte, bu alandaki araştırmaların sayısı henüz sınırlı olup daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Chae, J ve ark., 2024).

Koyun ve keçilerde postbiyotik kullanımına ilişkin veriler daha kısıtlı olmakla birlikte, mevcut çalışmalar rumen fermentasyonu, yem tüketimi ve genel sindirim etkinliği üzerine olumlu etkiler olduğunu göstermektedir (Şanlı, 2024).

Postbiyotiklerin Probiyotik ve Diğer “Biotic”lerle Karşılaştırılması

Son yıllarda yayımlanan güncel derlemeler, probiyotikler, prebiyotikler, simbiyotikler ve postbiyotiklerden oluşan **PPSP (Probiyotik–Prebiyotik–Synbiyotik–Postbiyotik)** grubunu birlikte ele alınmakta ve bu biyotik sınıflar arasındaki temel biyolojik ve teknolojik farklılıkları ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır (Tablo 1), (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022).

Tablo 1. Postbiyotiklerin Probiyotik ve Diğer “Biotic”lerle Karşılaştırılması (Salminen ve ark., 2021; Vinderola ve ark., 2022)

Özellik	Probiyotik	Prebiyotik	Sembiyotik	Postbiyotik
Canlı mikroorganizma	✓	✗	Kısmen	✗
Ana hedef	Mikrobiyota modülasyonu	Yararlı bakteriyi besleme	Kombine etki	Doğrudan + dolaylı etki
Isı stabilitesi	Düşük	Yüksek	Orta	Çok yüksek
Depolama / raf ömrü	Sınırlı	İyi	Orta	Çok iyi
Antibiyotiklerle birlikte kullanım	Sorunlu olabilir	Genelde güvenli	Değişken	Genelde güvenli

Bu karşılaştırma, postbiyotiklerin canlı mikroorganizma içermemeleri nedeniyle özellikle **ısıya dayanıklılık, uzun raf ömrü ve endüstriyel proseslere uygunluk** açısından diğer biyotik gruplara kıyasla belirgin

avantajlar sunduğunu göstermektedir (Żółkiewicz ve ark., 2020; Vinderola ve ark., 2022).

Avantajları:

- Üretim ve depolamada stabilite
- Antibiyotik direnci genlerini taşıma riski yok
- Peletleme ve ekstrüzyon gibi yüksek ısılı proseslere dayanıklı
- Doz standardizasyonu ve kalite kontrolü daha kolay. (Salminen ve ark., 2021)

KAYNAKÇA

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Qattan, S. Y., Batiha, G. E., Khafaga, A. F., ... & Alagawany, M. (2020). Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 104(6), 1835-1850.
- Aguilar-Toalá, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105–114.
- Aguilar-Toalá, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in food science & technology*, 75, 105-114.
- Alizadeh, M., Rogiewicz, A., McMillan, E., Rodriguez-Lecompte, J. C., Patterson, R., & Slominski, B. A. (2016). Effect of yeast-derived products and distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance and local innate immune response of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. *Avian Pathology*, 45(3), 334-345.
- Brown, L., Wolf, J. M., Prados-Rosales, R., & Casadevall, A. (2015). Through the wall: extracellular vesicles in Gram-positive bacteria, mycobacteria and fungi. *Nature Reviews Microbiology*, 13(10), 620-630.
- Chae, J. B., Schoofs, A. D., & McGill, J. L. (2024). Beneficial effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation postbiotic products on calf and cow health and plausible mechanisms of action. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1491970.
- Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell*, 165(6), 1332-1345.
- Lebeer, S., Vanderleyden, J., & De Keersmaecker, S. C. (2010). Host interactions of probiotic bacterial surface molecules: comparison with commensals and pathogens. *Nature Reviews Microbiology*, 8(3), 171-184.

- Otto, J., Mwangi, F., Pewan, S. B., Holman, B. W., & Malau-Aduli, A. (2025). Emerging applications of postbiotics to sustainable livestock production systems.
- Poppy, G. D., Rabiee, A. R., Lean, I. J., Sanchez, W. K., Dorton, K. L., & Morley, P. S. (2012). A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 95(10), 6027-6041.
- Probiyotiklerin aksine canlılık gerektirmemeleri, ısı ve basınca dayanıklı olmaları, depolama sürelerinin uzun ve stabil olması postbiyotiklerin yem sektöründe kullanımını kolaylaştırmaktadır(Roque, F., ve ark 2025)
- Roque, F., Lopes, M. H. S., Raffi, P., Oliveira, R., Caparroz, M., Longhini, G., ... & Araujo, C. (2025). Postbiotics: An Alternative for Improving Health and Performance of Poultry Production. *Microorganisms*, 13(7), 1472.
- Roque, F., Lopes, M. H. S., Raffi, P., Oliveira, R., Caparroz, M., Longhini, G., ... & Araujo, C. (2025). Postbiotics: An Alternative for Improving Health and Performance of Poultry Production. *Microorganisms*, 13(7), 1472.
- Roque, F., Lopes, M. H. S., Raffi, P., Oliveira, R., Caparroz, M., Longhini, G., ... & Araujo, C. (2025). Postbiotics: An Alternative for Improving Health and Performance of Poultry Production. *Microorganisms*, 13(7), 1472.
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The ISAPP consensus statement on postbiotics: Definition and scope. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649–667.
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., ... & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 18(9), 649-667.
- Şanlı, E. R. (2024). Usability of Postbiotics in ruminant nutrition and health. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(6), 1104-1109.
- Taverniti, V., & Guglielmetti, S. (2011). Probiyotik mikroorganizmaların canlılıklarının ötesindeki immünomodülatör özellikleri (hayalet

- probiyotikler: paraprobiyotik kavramının önerisi). *Genler ve beslenme*, 6 (3), 261-274.
- Taverniti, V., & Guglielmetti, S. (2011). The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: proposal of paraprobiotic concept). *Genes & nutrition*, 6(3), 261-274.
- Tuncer, H. İ. (2007). Karma yemlerde kullanımı yasaklanan hormon, antibiyotik, antikoksidiyal ve ilaçlar. *Journal of Lalahan Livestock Research Institute (Turkey)*, 47(1).
- Vinderola, G., Sanders, M. E., Salminen, S., & Ouwehand, A. C. (2022). Postbiotics: The concept and their use in healthy populations. *Nutrients*, 14(4), 1–20.
- Vinderola, G., Sanders, M. E., Salminen, S., & Szajewska, H. (2022). Postbiotics: The concept and their use in healthy populations. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1002213.
- Yue, T., Lu, Y., Ding, W., Xu, B., Zhang, C., Li, L., ... & Huang, S. (2025). The role of probiotics, prebiotics, synbiotics, and postbiotics in livestock and poultry gut health: a review. *Metabolites*, 15(7), 478.
- Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—a step beyond pre-and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189.

BÖLÜM 8

KEÇİLERDE SÜT VERİMİ VE KALİTESİNİ ETKİLEYEN GENLERDEKİ POLİMORFİZM

Prof. Dr. Faruk BOZKAYA¹, Prof. Dr. Mehmet Osman ATLI²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139078>

¹ Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Genetik Anabilim Dalı, Şanlıurfa (ORCID:0000-0001-6423-8067)

² Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dölerme ve Suni Tohumlama Anabilim Dalı Şanlıurfa (ORCID:0000-0001-9853-5334)

GİRİŞ

Yaşadıkları bölgenin çevre şartlarına uyumu, hastalıklara dirençli olmaları, tüketici tercihlerinin zaman içerisinde değişmesi ya da çeşitli hayvansal ürünlerin yeni teknolojiler için ham madde sağlaması nedeniyle yerel ırklar gen kaynağı olma özelliğine sahiptir. Bu nedenle yerel ırkların korunması ve geliştirilmesi için bu ırkların genetik yapılarının tanımlanması ve genetik potansiyellerinin ortaya konması gerekmektedir.

Hayvancılık açısından et ve süt verimi önemli bir yere sahiptir. Ekonomik özelliğe sahip bu özellikler birçok gen tarafından kontrol edilmekte ve çevre koşullarından etkilenmektedirler. Hayvancılık açısından bu verim özelliklerinin ve bu özellikleri taşıyan hayvan varlığının genetik yapısının bilinmesi için moleküler genetik yöntemler kullanılır.

Moleküler genetik yöntemlerin hayvanların seleksiyonunda kullanılması markör destekli seleksiyon (Marker assisted selection MAS) olarak adlandırılır. Bu genetik çalışmalar sonucunda genetik yapısı bilinen verim özellikleri yönünden üstün verimliler seçilerek damızlık olarak kullanılır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile bilgisayar programları istatistik uygulamalar ile birlikte moleküler genetik araştırmalar birçok genin ekonomik önemi olan verimler ilişkisinin tanımlanmasına yarar sağlamıştır.

Moleküler genetik alanında geliştirilen restriksiyon parça uzunluk polimorfizmi (RFLP) ve dizi analizi gibi yöntemlerin kullanımı artmıştır. Bu yöntemler eldeki hayvan fenotipten bağımsız olarak, verimlerle ilişkili kantitatif özellik lokuslarında (quantitative trait loci, QTL) bulunan varyasyonların belirlenmesinde yarar sağlamaktadır. Belirlenen bu varyasyonlar ise istenen özellikler arasındaki ilişkilerin araştırılması çalışmalarında kullanılmaktadır.

Son yıllarda çiftlik hayvanlarında farklı verim özellikleriyle ilişkili olduğu ve genetik markör olarak kullanılabileceği bildirilen bazı genler belirlenmiştir. Sığır ve manda gibi büyük ruminatlarda süt, et ve döl verimi, koyun ve keçi gibi küçük ruminantlarda süt, et gibi önemli verim özelliklerinin ortaya çıkmasında etkili olan bu özelliklerinin iyileştirilmesi için bazı genetik markörler bildirilmiştir.

Keçi sütünün yağ ve protein özelliği nedeniyle sindirilmesi daha kolay olması, inek sütü alerjisi olan bebeklerin beslenmesinde olduğu kadar ketosis ve karaciğer hastalıklarında önem taşır ve kimi sindirim hastalıklarının (peptik ülser ve pilorik stenosis gibi) sağaltımında da yarar sağlar, diğer sütlerden daha az mikroorganizma ve pestisit içerir. Et ve balık tüketmeyen toplumsal katmanların beslenmesinde, süt gereksinimlerini karşılamada en uygun hayvan olması keçi sütünün yurdumuzda özel bir yere sahip olmasını sağlar (Kaymakçı ve Aşkın 1997).

SÜT VERİMİN ETKİLEYEN GENLERDEKİ POLİMORFİZM VE ETKİSİ

Büyüme Hormonu Geni (GH1)

Büyüme hormonu (Growth hormone) hipofiz bezinin ön lobundan salınan peptit yapısında bir hormondur. Büyüme hormonu başlıca kemik ve kıkırdak dokularının gelişimi olmak üzere bütün doku ve organlarda büyümeyi uyarmaktadır. Eksikliğinde cücelik (dwarfizm), fazlalığında ise aşırı büyüme ile sonuçlanan gigantizm durumu ortaya çıkmaktadır (Brinkman ve Sharma 2019).

Büyüme hormonunun salınımı hipotalamustan salgılanan büyüme hormonu salgılatıcı hormon (Growth Hormone Releasing Hormone) tarafından uyarılırken yine hipotalamustan salgılanan somatostatin (Growth Hormone Inhibiting Hormone) hormonu tarafından baskılanmaktadır. Büyüme hormonu sistemik dolaşıma salındıktan sonra hedef dokularda insülin benzeri büyüme faktörleri (Insulin Like Growth Factor 1 ve 2, IGF-1 ve IGF2) adı verilen bir hormonun salınımını uyarmaktadır (Renaville ve ark. 2002, Polkowska ve ark. 2011). Büyüme hormonu etkisini hedef dokularda IGF-1 ve IGF-2 salınımını uyarak gerçekleştirmektedir (Renaville ve ark. 2002).

Büyüme hormonunu kodlayan gen (GH1) keçilerde 19. Kromozom üzerinde haritalanmıştır (Schibler ve ark. 1998). Bu gen 1.8 kb uzuluğundadır ve büyüklükleri 13 ile 201 bp arasında değişen 5 ekson ve bu eksonları birbirinden ayıran 4 introndan oluşur (Kioka ve ark. 1989). Büyüme hormonu geni 217 aminoasit uzunluğunda bir proteini kodlamaktadır. Bu proteinin amino asit

dizilimi ile büyüme hormonu geninin ekson yapısı şematik Şekil 4'te gösterilmiştir.

Büyüme hormonu bütün doku ve organların büyümesinde merkezi bir role sahip olduğundan keçilerde büyüme hormonu genindeki polimorfizm çoğunlukla büyüme ve et verimi ile ilgili parametrelerle ilişkili olarak araştırılmıştır (Hua ve ark. 2009; An ve ark. 2010; Korkmaz Ağaoğlu ve ark.2019)

Büyüme hormonu genindeki polimorfizmin süt verimi ile ilişkili olarak ele alındığı ilk çalışma Malveiro ve ark. (2001) tarafından yayınlanmıştır. BH'nun 5. eksonunun SSCP metoduyla incelendiği çalışmada 1., 2., 3., 4. ve 5. Eksonlarda sırasıyla 2, 2, 4, 6 ve 5 farklı bant deseni tespit etmişlerdir. Tespit edilen bant desenlerine göre belirlenen genotiplerin frekansları Tablo 1'te gösterilmiştir.

Tablo 1: GH geninin beş eksonunda SSCP metodu ile tespit edilen bant desenleri (Malveiro ve ark. 2001)

Ekson	Desen Sayısı	Desenin Frekansı (%)
1	2	M (97.2)- N (2.8)
2	2	A/B (75.9)- B/B (24.1)
3	4	A/A (8.3)- B/B(33.3)A/B (18.5)- B/C (39.8)
4	6	A/A (13.9) - B/B (27.8)- C/C (35.2)- D/D (5.6)- E/E (14.8)- F/F(2.8)
5	5	A/A(2.8)- B/B (27.8)- A/B (14.8)- B/C(44.4)- A/C (10.2)

Malveiro ve ark. (2001) Algarvia keçi ırkında büyüme veya et verimi parametrelerini dikkate almadıkları çalışmada 4. ve 5. Eksonlarda tespit edilen genotipler ile süt verimi arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki olduğunu bildirmişler (Tablo 2).

Tablo 2: Algarvia ırkında ekson 4 ve ekson 5'te tespit edilen genotipler ile süt verimi arasındaki ilişki.

Ekson4		Ekson5	
Genotip	Süt Verimi	Genotip	Süt Verimi

A/A	140.3ab±15.41	A/A	213.0b±22.67
B/B	134.3ab±13.42	A/B	121.5a±13.64
C/C	136.8ab±12.45	B/B	124.5a±12.88
D/D	78.8a±27.81	B/C	134.7a±12.65
E/E	85.6a±28.30	A/C	133.5a±13.95
F/F	165.8b±32.82		

Marques ve ark. (2003) Serrana keçilerinde büyüme hormonu genindeki polimorfizmi SSCP yöntemi ile araştırmışlar ve ekson 1 ve 2’de ikişer varyant, ekson 3’te altı varyant, ekson 4’te 10 varyant ve ekson 5’te beş varyant tespit etmişlerdir. Marques ve ark. (2003) Serrana keçilerinin Jamelista ve Ribatejano ekotiplerinde ekson 2 ve ekson 4’teki bazı varyantlar ile süt verimi arasında ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Örneğin ekson 2 B/B genotipine sahip keçilerin birikimli süt verimi ortalamaları 177.8 ± 14.1 iken A/B genotipine sahip keçilerde bu değer 221.1 ± 5.4 olarak bulunmuştur (Tablo 6). Diğer taraftan ekson 1 ve ekson 2’deki varyantlar ile süt protein içeriği arasında da istatistiksel olarak önemli ilişki tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Serrana keçilerinde ekson 2 ve ekson 4’teki bazı varyantlar ile süt verimi arasındaki ilişki Marques ve ark. (2003)

Ekotipler	Lokus	Genotip	Süt Verimi	Kümülatif Süt Verimi
Jarmelista	Ekson 2	A/B	$173.9b \pm 13.5$	$221.1b \pm 5.4$
		B/B	$118.9a \pm 28.8$	$177.8a \pm 14.1$
Ribatejano	Ekson 4	A/B	$252.3b \pm 16.9$	$299.9b \pm 6.9$
		A/C	$228.7ab \pm 51.6$	$308.3b \pm 19.8$
		A/B/C	$190.4a \pm 25.1$	$259.7a \pm 14.4$
		A/B/D/E	$220.5ab \pm 59.6$	$321.2ab \pm 48.1$
		A/B/C/F	$210.4ab \pm 25.8$	$265.8ab \pm 24.7$

Serrana keçilerinde ekson 1 ve ekson 2’deki bazı varyantlar ile süt protein yüzdesi arasında bir ilişki tespit edilmiştir (Marques ve ark. 2003). Ekson 1 A/A genotipine sahip keçilerin süt protein yüzdesi 3.18 ± 0.225 iken A/B genotipine sahip keçilerde bu değer 3.58 ± 0.193 olarak bulunmuştur. Ekson 1 ve ekson 2’deki varyantlar ile süt protein içeriği arasında da istatistiksel olarak önemli ilişki olduğu görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4: Serrana keçilerinde ekson 1 ve ekson 2'deki bazı varyantlar ile süt protein yüzdesi arasındaki ilişki

Lokus	Genotip	Proteinyüzdesi
Ekson 1	A/B	3.58b±0.193
	A/A	3.18a±0.225
Ekson 2	A/B	3.47a±0.191
	B/B	3.83b±0.236

Gupta ve ark. (2009) Hindistan'ın Jakhrana ırkı keçileri üzerinde yaptıkları araştırmada ekson 4'te 10, ekson 5'te ise 13 farklı SNP tespit etmişlerdir. Bunlardan Ekson 4'te sekizi, Ekson 5'te ise dokuzu aminoasit değişikliğine neden olan olmaktadır. Gupta ve ark. (2009) tarafından tespit edilen polimorfizmlere ilişkin bazı bilgiler Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Jakhrana ırkı keçilerinde büyüme hormonu geninde tespit edilen bazı polimorfizmler (Gupta ve ark. 2009)

Lokus	Polimorfizm	Amino asit değişimi	Polimorfizm	Amino asit değişimi
Ekson 4	G/A (1442)	R→H	A/G (1532)	D→G
	G/N (1442)	R→H	G/N (1534)	R→P
	G/C (1442)	R→P	G/A (1551)	-
	G/N (1489)	S→T	G/C (1578)	-
	C/G (1524)	D→D	C/T (1585)	R→W
Ekson 5	A/G (1871)	E→G	G/C (1953)	-
	A/G (1903)	K→E	T/A (1994)	L→Q
	A/N (1903)	K→E	G/C (2041)	G→R
	A/C (1930)	N→H	G/A (2041)	G→R
	G/T (1937)	R→L	G/C (2049)	-
	G/C (1938)	-	C/G (2055)	C→W
	G/T (1938)	-		

Paired-like homeodomain transcription factor 2 (PITX2)

PITX2 Paired-benzeri homeodomain transkripsiyon faktörü ailesinin bir üyesidir ve RIEG olarak da bilinir. İlk kez insanda tanımlanan bu gen hücre çoğalması ve farklılaşmasında ve kan ve organ gelişiminde önemli rol oynamaktadır PITX2 geni memelilerde süt verimi, büyüme ve gelişmede

önemli rol oynayan POU1F1 yolağında (PITX2/PITX1→ HESX1→ LHX3/LHX4→ PROP1→ POU1F1) yer almaktadır (Zhao ve ark. 2013). PITX2 geni Wnt sinyal yolağını da aktive ederek hücre çoğalmasında rol oynamaktadır (Basu and Roy,2013). Bu genin farklı dokularda alternatif şekilde eksprese olan farklı mRNA varyantlarının olduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark. 2016).

Keçide 6. kromozom üzerinde bulunan PITX2 geni yaklaşık 21 kb büyüklüğündedir ve uzunlukları 46 ile 564 arasında değişen 4 eksondan oluşmaktadır.

Zhao ve ark. (2013) Çin’de yetiştirilmekte olan Guanzhong ve Xinong Saanen keçi ırklarında PITX2 genindeki polimorfizmi incelemişler ve T18117C, C18161G, C18322A ve T18353C (Gen bankası kayıt no: AC_000163) şeklinde dört ayrı tek nükleotid polimorfizmi (SNP) tespit etmişlerdir. Bu SNP’ler sırasıyla MvaI, SmaI, MspI ve RsaI restriksiyon enzimleri ve PCR – RFLP yöntemiyle tespit edilebilmektedir.

Zhao ve ark.’nın (2013) bulguları keçi PITX2 geninde Rsa I ve Sma I enzimleriyle tespit edilen polimorfizmin süt özellikleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. RsaI lokusunda, Guanzhong ırkında farklı genotipler arasında sabah ve akşam sağılan süt örneklerindeki yağ içerikleri ve laktoz içerikleri bakımından önemli fark olduğu bildirilmiştir. Bu lokusta TT ve TC genotipli bireyler CC bireylerine göre daha yüksek değerler göstermektedir. Xinong Saanen ırkı keçilerde de ikinci laktasyon süt verimi, ortalama yağ içeriği, laktoz içeriği, süt yoğunluğu, ortalama kuru madde içeriği ve toplam kuru madde içeriği bakımından genotipler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). SmaI lokusunda, Guanzhong ırkında GG genotipli bireylere ait süt örneklerinin GC genotipli bireylere göre önemli ölçüde daha düşük yoğunluğa sahip olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5: Guanzhong Irkı Keçilerde RsaI Polimorfizmi ile Süt Özellikleri Arasındaki ilişkiler (Zhao ve ark. 2013)

Parametre	TT (n = 601)	TC (n = 52)	CC (n = 5)	P değeri
Yağ içeriği (A) (%)	4.20±0.06a	3.77±0.09a	1.170±0.06b	P=0.047
Yağ içeriği (S) (%)	4.22±0.06A	3.77±0.09A	1.255±0.06B	P<0.001
Laktoz içeriği (A) (%)	3.96±0.01b	3.90±0.02b	4.95±0.02a	P=0.011
Laktoz içeriği (S) (%)	3.95±0.01b	3.90±0.02b	4.95±0.02a	P=0.018
Süt yoğunluğu (A)	1028.42±0.09B	1028.21±0.08B	1038.00±0.08A	P<0.001
Süt yoğunluğu (S)	1028.39±0.09B	1028.13±0.09B	1038.00±0.08A	P<0.001

Zhang ve ark. (2020) Çinde yetiştirilen çeşitli keçi ırklarında MvaI, SmaI, ve RsaI ile tespit edilen aynı (Zhao ve ark. 2013) SNP'ler ile çeşitli vücut ölçüleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Keçilerde cidago yüksekliği göğüs derinliği gibi vücut ölçüleri ile süt verimi arasında önemli korelasyon bulunmaktadır (Zujovic ve ark.2011). Hainan ırkı keçilerde MvaI ile tespit edilen T18117C polimorfizminin cidago yüksekliği, vücut uzunluğu, göğüs derinliği, göğüs genişliği, sağrı genişliği gibi parametreleri önemli düzeyde etkilediğini gözlemişlerdir. Benzer şekilde SmaI ile tespit edilen C18161G polimorfizmi ile göğüs genişliği, sağrı indeksi ve göğüs genişliği indeksi arasında ilişki tespit edilmiştir. Bununla birlikte tespit edilen bu ilişkinin ırka bağlı olduğu görülmektedir. Örneğin, Hainan ırkında MvaI CC genotipli bireylerin cidago yüksekliği ortalaması (54.25±3.39) TC genotiplilerden (52.86±4.10) yüksek iken Guanzhong ırkında CC genotipli bireylerin ortalama değerleri (68.41±3.10) TC genotipli bireylerin ortalamasından (72.23±3.97) daha düşük bulunmuştur (Zhang ve ark. 2020).

İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-1(Insulin Like Growth Factor-1, IGF-1)

İnsülin benzeri büyüme faktörleri (Insulin Like Growth Factor, IGF) insülin ile ilişkili protein yapısındaki faktör ailesinin üyesidirler. Keçi IGF-1 17.08 kDa Dalton molekül ağırlığına sahip 154 aminoasit uzunluğunda bir peptiddir.

İnsülin gibi IGF-1'de birbirine disülfid bağlarıyla bağlı halde A ve B zincirlerinden oluşur. İnsülinle yapısal olarak benzerliğinden dolayı insülin reseptörüne bağlanabilmektedir (Laron ve ark. 2001). Ailenin diğer üyeleri gibi IGF-1 hormonu vücut sıvılarında birbiriyle ilişkili altı farklı bağlayıcı proteine bağlı olarak bulunur. IGF-1'in amino asit dizilimi türler arasında oldukça korunmuş durumdadır (Renaville ve ark. 2002).

IGF-1 bir çok dokudan salıverilmekle birlikte en yüksek düzeyde karaciğerden salgınır ve endokrin hormon işlevini hedef dokularda gerçekleştirir. Karaciğer dışında IGF-1 kıkırdak, ovudukt ve kas hücreleri tarafından da eksprese edilmektedir (Laron ve ark. 2001). Yakan ve ark (2018) IGF-1 geninin süt somatik hücrelerindeki mRNA düzeyindeki ekspresyonunun laktasyonun dönemine bağlı olarak değiştiğini ve laktasyonun erken dönemlerinde düşük iken laktasyonun ileri dönemlerinde yükseldiğini bildirmişlerdir

Keçide 5. kromozom üzerinde haritalanmış olan IGF-1 geni (Schibler ve ark. 1998) olgun mRNAsı alternatif splicing ile farklı şekilde kombine olabilen altı eksondan oluşmaktadır.

Keçilerde IGF-1 genindeki polimorfizmle ilgili oldukça çok sayıda yayın bulunmakla birlikte (Alakilli ve ark. 2012; Sharma ve ark. 2013; Supakorn ve ark. 2013; Shareef ve ark. 2018; Sankhyan ve ark. 2020) bu çalışmalar genellikle IGF-1 genindeki polimorfizmle büyüme et verimi gibi parametreler arasındaki ilişkileri araştırmıştır.

Sharma ve ark. (2013) Hindistanda yetiştirilen Jammunapari ve Sirohi keçi ırklarında IGF-1 geninin sekans analizini yapmışlar ve 18 nükleotidde polimorfizm tespit etmişlerdir. Bunlardan intron 1'de yer alan T4700C ve intron 2'de yer alan C5524T polimorfizmleri ile Sirohi ırkında doğum ağırlığı ve farklı büyüme dönemlerindeki canlı ağırlıkları arasında istatistiksel olarak önemli ilişki bulunduğunu göstermişlerdir.

Deng ve ark. (2010) Çin'de yetiştirilen Guanzhong ve Xinong Saanen keçilerinde IGF-1 genindeki polimorfizmi SSCP yöntemi ile araştırmışlar ve 5'UTR ve 4. intronunda sırasıyla g.1617 G > A ve g.5752 G > C (Gen bankası kayıt no: D26119.2) tek nükleotid polimorfizmlerini tespit etmişlerdir. Xinong Saanen keçilerinde 5'UTR bölgesinde tespit edilen g.1617 G > A polimorfizmi

ile süt verimi arasında istatistiksel olarak önemli ilişki bulunamazken, $g.5752$ $G > C$ polimorfizmi Xinong Saanen keçilerinde birinci ve ikinci laktasyon süt verimini etkilemiştir. Bu keçilerde CC ve GG genotipine sahip bireylerin birinci laktasyon süt verimleri sırasıyla 679.307 ± 23.718 ve 616.236 ± 7.525 , ikinci laktasyon süt verimleri ise sırasıyla 940.317 ± 42.748 ve 833 ± 14.808 olarak bulunmuştur.

DGAT1 (Diacylglycerol acyltransferase)

Diacylglycerol acyltransferase (DGAT) enzimleri Triacylglycerol (TAG) biyosentezinin son basamağını katalize etmektedir (Banilas ve ark. 2011). Baz dizileri benzer olmayan iki DGAT (DGAT1 ve DGAT2) geni tespit edilmiştir. Genin yağ metabolizmasındaki rolü nedeniyle süt verimi ve sütteki yağ düzeyinin oluşumunda aday gen olarak görülmektedir. İlk olarak tanımlanan DGAT1 geni (Cases ve ark. 2001) sığır 14. kromozomunda süt verimini etkileyen bir nicel karakter lokusu (Quantitative trait loci, QTL) olarak tespit edilmiştir (Grisart ve ark. 2002; Winter ve ark. 2002).

Keçide yaklaşık 8.5 kb büyüklüğündeki DGAT1 geni büyüklükleri 28 ile 191 bp arasında değişen 18 eksondan oluşmaktadır ve 490 aminoasit uzunluğunda bir proteini kodlamaktadır (Şekil 7). DGAT1 proteini ruminantlar arasında oldukça korunmuştur ve ruminat türleri arasında en az %88'lik bir homoloji bulunmaktadır (Martin ve ark. 2017)

An ve ark. (2013) keçi DGAT geninin 14-16. eksonlarını içeren bölgesini SSCP ve sekans analizi ile incelemişler ve 407. nükleotidde bir C nükleotid insersiyonu (Gen bankası kayıt no: DQ380250) tespit etmişlerdir. An ve ark.'nın (2013) Çin'de yetiştirilen Xinong Saanen Guanzhong keçi ırklarında süt verimi ve süt yağ içeriği ile bu polimorfizm arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmada Xinong Saanen ve Guanzhong keçi ırklarında C insersiyonunu heterozigot olarak taşıyan keçilerin (C-C+) süt yağ oranı (sırasıyla 3.52 ± 0.04 ve 3.55 ± 0.04) taşımayanlara (C-C-) (sırasıyla 3.37 ± 0.02 ve 3.39 ± 0.03) göre daha yüksek bulunmuştur.

Martin ve ark. (2017) Alpin ve Saanen kırkı keçiler üzerinde sekans analizi ve DNA çip teknolojisini (Illumina GoatSNP50 BeadChip 53347 SNPs) kullanarak yaptıkları çalışmada DGAT1 geninde 27 tanesi SNP, bir tanesi 1 bp bir tanesi

ise 8 bç insersiyon olmak üzere 29 polimorfik bölge tespit etmişlerdir. Bunlardan 27 tanesi intron bölgelerinde ikisi ise ekson 8 ve 15 üzerinde bulunmuştur. Ekson 8 üzerindeki polimorfizm R251L, ekson 15 üzerindeki polimorfizm ise R396W şeklinde aminoasit değişikliğine neden olan değişiklikler olarak bildirilmiştir. Bu polimorfizmler keçiyeye türüne özgüdür ve diğer ruminant türlerinde bulunmamaktadır.

Martin ve ark. (2017) 20 üvey kardeş popülasyonuna ait 2209 keçi üzerinde yaptıkları bağlantı analizi sonucunda süt verimi, süt yağ içeriği, yağ verimi, protein içeriği ve protein verimi gibi parametrelerle ilgili 24 nicel karakter lokusu (Quantitative Trait Loci: QTL) tespit etmişlerdir. Bunlar arasında oldukça önemli düzeyde ilişkilendirilmiş olan iki QTL bulunmuştur. Keçi 6. kromozom (CHI 6) üzerinde tespit edilen QTL protein içeriği ile ilişkilendirilmiştir ve kazein genlerinin bulunduğu bölgede bulunmuştur. Diğeri ise CHI 14 üzerinde DGAT1 geninin bulunduğu bölgededir. Bu bölgede tespit edilen haplotiplerin süt yağ içeriğindeki varyasyonun %6.8'ni açıkladığı bildirilmiştir (Martin ve ark. 2017).

Özmen ve Kul (2014) Türkiye’de yetiştirilmekte olan Saanen, Damascus, Halep, Malta, Alpine ve Kilis keçilerinde DGAT1 geninin 5-8, 15-17 ve 17. ekson ve 3’UTR bölgelerini sekans analizi ile incelemişler ve 16. intronda bir T-C polimorfizmi tespit etmişlerdir. Özmen ve Kul (2014) TT ve TC şeklinde iki genotip gözlemişler ve bu polimorfizmi NlaIII restriksiyon enzimi ve PCR-RFLP yöntemi ile söz konusu ırklarda taramışlardır. Süt verimi, süt yağ. protein ve laktoz içeriği ile ilişkilendirdikleri çalışmada bu parametreler bakımından TT ve TC genotipleri arasında istatistiksel bir fark bulamamışlardır. Benzer şekilde Mısırdaki yetiştirilen Zarabi keçi ırkında aynı polimorfizmi araştıran Eid ve ark. (2020) Süt verimi, süt yağ. protein ve laktoz içeriği ile genotipler arasında istatistiksel bir fark bulamamışlar ancak CC genotipine sahip hayvanlarda süt toplam kuru madde içeriğinin (11.12 ± 0.23) TC genotipli hayvanlara göre (9.69 ± 0.55) daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Toll-Like Receptor 2 (TLR2)

Doğal bağışıklıkta organizmanın patojenlerin hücresel yapısını oluşturan moleküllerinin tanınmasını sağlayan reseptörler rol oynar. Biçim tanıma reseptörleri (Pattern recognition receptors, PRR) olarak da bilinen doğal

bağışıklık reseptörleri serumda, hücre yüzeyinde, endozomlarda ve sitoplazmada tespit edilmiştir. Toll benzeri reseptörler (Toll-Like Rreceptors, TLR) PRR'ler arasında önemli bir grubu temsil eder (Gay and Gangloff, 2007).

Omurgalı canlılarda TLR'lerin başlıca fonksiyonu virüs, bakteri ve mantar gibi patojen mikroorganizmalardan köken alan moleküler yapıların (pathogen-associated molecular patterns-PAMPs) tanınmasıdır. TLR1, TLR5, TLR6 ve TLR10 bakteri kökenli yapıları tanırken TLR3, TLR7, TLR8 ve TLR9 virüslere özel yapıları tanır. TLR2 ve TLR4 ise hem bakteri hem de virüslerden köken alan yapıları tanır. TLR proteinleri, bağladıkları moleküler yapılara yani ligand yapılarına göre de sınıflandırılabilir. Bu yapılar lipitler, proteinler ve nükleik asitler şeklindedir (Kaisho, Akira 2006). TLR1ve TLR2 heterodimer şeklinde mikobakterilerdeki lipopeptitlere karşı oluşan yanıtta rol oynamaktadır (Krutzik ve ark.2003).

Keçi yaklaşık 26.21 kb büyüklüğündeki TLR2 geni iki eksondan oluşmakta ve 91,4 kD ağırlığında 794 amino asitten oluşan bir proteini kodlamaktadır (Şekil 8). Keçilerde TLR2 geni 17. kromozom üzerinde yer almaktadır

Meme dokusunun yangısı olan mastitis ekonomik kayıplara neden olması, hayvan refahını olumsuz yönde etkilemesi ve süt verimi ve kalitesini azaltması nedeniyle süt endüstrisinde önemli bir sorundur (Ogorevc ve ark. 2019). Mastitisin oluşumunda ahır ve kullanılan eşyaların hijyenine dikkat edilmemesi, sağım öncesi ve sonrası meme bakımının iyi yapılmaması, gibi uygulama kaynaklı faktörler yanında süt verimini arttırmak amacıyla uygulanan seleksiyon işlemlerinin mastitise yatkınlığı arttırması da rol oynamaktadır. Sütte somatik hücre sayısı (SHS) süt kalitesinin ve genel meme sağlığının belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılan bir göstergedir. Meme enfeksiyonları ile SHS arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Haenlein 2002; Bergonier ve ark. 2003; Rupp ve ark. 2011). Somatik hücre sayısının kalıtım derecesi Saanen ve Alpin keçilerinde sırasıyla 0.24 ± 0.01 ve 0.20 ± 0.01 olarak bildirilmiştir (Rupp ve ark. 2011). Keçi sütünde bulunması gereken en yüksek SHS konusunda kesin bir sınır olmamakla birlikte bazı yazarlar 3,500,000 SHS/ml'den yüksek sütlerin satış için uygun olmadığını (Leitner, Silanikove & Merin, 2008) ve A sınıfı keçi sütünde için bu sayının 840,000 SHS/ml'den

yüksek olmaması gerektiğini bildirmektedir (Silanikove, Merin & Leitner, 2014).

TLR genlerinin patojenlerle ilişkili moleküler yapıların tanınmasındaki rolleri nedeniyle çeşitli hastalıklara karşı duyarlılık yada direnç konusunda aday gen konumundadır. Bu nedenle TLR genlerindeki polimorfizm ile mastitis arasındaki ilişki konusunda koyun ve sığırlarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Swiederek ve ark. (2006); Zhang ve ark (2009) Russel ve ark. (2012). Alim ve ark. (2016) keçilerde TLR2 genindeki 9977G>A polimorfizminin dışkıdaki *Haemonchus contortus* yumurta sayısını etkilediğini bildirmiştir.

Keçilerde mastitis ile TLR2 genindeki polimorfizm arasındaki ilişki ilk olarak Ruiz-Rodriguez ve ark (2017) tarafından araştırılmıştır. Ruiz-Rodriguez ve ark (2017) TLR2 geninde

739G>A, 840G>A, ve 1083A>G (GenBank kayıt no: JQ911706) şeklinde üç polimorfik nükleotid tespit etmişlerdir. Bunlardan 739G>A polimorfizmi Valin yerine İzolösin aminoasitinin geçmesine neden olmaktadır. Diğer iki polimorfizm amino asit değişimine neden olmamaktadır. Toplam 39 hayvanın incelendiği çalışmada 739G>A polimorfizmi yönünden 8 hayvan heterozigot (Val/Ile) diğerleri ise homozigot (Val/Val) olarak bulunmuştur. Homozigot bireylerin sütlerindeki ortalama SHS 537,367 iken heterozigotlarda bu değer 146,222 olarak bulunmuştur ($P<0.004$).

Ogorevc ve ark. (2019) 739G>A polimorfizmini PCR-RFLP yöntemi ile (VspI) tespit etmek için bir yöntem geliştirmişler ve 61 adet keçide bu polimorfizm ile SHS arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Toplam 863 kaydın kullanıldığı çalışmada GG genotipine (Val/Val) sahip keçilerin mililitredeki SHS ortalamasını 1,475,660 GA, genotiplilerin 1,055,380, AA genotipli bireylerin ise (2 birey) 577,110 olarak bulmuşlardır. Fark istatistiksel olarak oldukça önemli bulunmuştur ($P<0.0007$)

SONUÇ

Keçilerde süt verimi ve kalitesi üzerindeki etkili genlerin belirlenmesi için moleküler genetik yöntemler yarar sağlamaktadır. Hayvancılık açısından et ve süt verimi önemli bir yere sahiptir. Verim ile ilişkili bu özellikler birçok gen tarafından kontrol edilmekte ve çevre koşullarından etkilenmektedirler. Son

yıllarda çiftlik hayvanlarında farklı verim özellikleriyle ilişkili olduğu ve genetik markör olarak kullanılabileceği bildirilen bazı genler belirlenmiştir.

Keçi sütü, birçok ülkede insanlar için önemli bir gıda ve besin kaynağıdır. Keçi sütü proteinlerinin besin değerinin anne ve inek sütündekinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Süt proteinleri içerisinde en yüksek düzeyde kazein inek sütünde (% 85) ve en az keçi sütünde (% 75) bulunur.

Gen markörleri ve moleküler genetik yöntemler keçilerde süt verimi ve kalitesi gibi ekonomik açıdan önemli karakterler yönünden yapılan seleksiyon işlemlerinde önem kazanmaktadır.

Tespit edilen polimorfizmlerin etkisi üzerinde çalışılan karaktere göre ve ırka göre değişebilmektedir. Diğer taraftan aynı gen üzerindeki farklı polimorfik bölgelerin etkisi de değişebilmektedir.

Algarvia keçi ırkında GH1 geninin 4. ve 5. eksonlarında tespit edilen genotipler ile süt verimi arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki olduğunu görülmüştür.

Serrana keçilerinde IGF1 geninde ekson 2 ve ekson 4'teki bazı varyantlar ile süt protein içeriği arasında da istatistiksel olarak önemli ilişki bulunmuştur.

IGF-1 geninin süt somatik hücrelerindeki mRNA düzeyindeki ekspresyonunun laktasyonun dönemine bağlı olarak değiştiği ve laktasyonun erken dönemlerinde düşük iken laktasyonun ileri dönemlerinde yükseldiğini bildirmişlerdir.

Sirohi ırkı keçilerde IGF1 geninin intron 1'de yer alan T4700C ve ve intron 2'de yer alan C5524T polimorfizmleri ile Sirohi ırkında doğum ağırlığı ve farklı büyüme dönemlerindeki canlı ağırlıkları arasında istatistiksel olarak önemli ilişki bulunduğunu göstermişlerdir.

DGAT geninin yağ metabolizmasındaki rolü nedeniyle süt verimi ve sütteki yağ düzeyinin oluşumunda aday gen olarak görülmektedir.

TLR2 geninde tespit edilen 739G>A (PCR-RFLP -VspI) polimorfizminin keçilerde SHS'yi etkilediği ve A allelini taşıyan hayvanlardaki SHS'nin G allelini taşıyanlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu polimorfizm

bölgemizde yetiştirilen keçilerde mastitis direncinin artırılması amacıyla moleküler markör olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Alakilli, S. Y., Mahrous, K. F., Salem, L. M., & Ahmed, E. S. (2012). Genetic polymorphism of five genes associated with growth traits in goat. *African Journal of Biotechnology*, 11(82), 14738-14748.
- Alim, M. A., Fu, Y., Wu, Z., Zhao, S. H., & Cao, J. (2016). Single nucleotide polymorphisms of toll-like receptors and association with *Haemonchus contortus* infection in goats. *Pak Vet J*, 36, 286-91.
- Anonim (2021 a). Türkiye İstatistik Kurumu. Tarım istatistikleri, Sağılan hayvan Sayıları ve Süt Üretim Miktarı. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (Erişim Tarihi: 21.05.2021)
- An, X. P., Hou, J. X., Wang, L. X., Li, G., Wang, J. G., Song, Y. X., ... & Cao, B. Y. (2010). Novel polymorphisms of the growth hormone gene and their effect on growth traits in Chinese goats. *Meat science*, 86(3), 758-763.
- An, X. P., Hou, J. X., Zhao, H. B., Bai, L., Peng, J. Y., Zhu, C. M., ... & Cao, B. Y. (2013). Polymorphism identification in goat DGAT1 and STAT5A genes and association with milk production traits. *Czech J. Anim. Sci*, 58(7), 321-327.
- Anonim (2021b). https://www.ensembl.org/Capra_hircus/Transcript/Summary?db=core;g=ENSCHIG00000011515;r=19:4773460147736972;t=ENSCHIT000001016039 (Erişim Tarihi: 10.05.2021)
- Anonim (2021c). https://www.ensembl.org/Capra_hircus/Transcript/Summary?db=core;g=ENSCHIG00000010484;r=6:1514119315162168;t=ENSCHIT000001014470 (Erişim Tarihi: 20.05.2021)
- Anonim (2021d). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/HQ731040.1> (Erişim Tarihi: 07.12.2020)
- Anonim (2021e). https://www.ensembl.org/Capra_hircus/Transcript/Summary?db=core;g=ENSCHIG00000010484;r=6:1514119315162168;t=ENSCHIT00000114470 (Erişim Tarihi: 24.05.2021)

- Anonim(2021f).https://www.ensembl.org/Capra_hircus/Transcript/ProteinSummary?db=core;g=ENSCHIG000000025899;r=17:66841512-66867720;t=ENSCHIT000000039493 (Erişim Tarihi:25.05.2021)
- Banilas, G., Karampelias, M., Makariti, I., Kourti, A., & Hatzopoulos, P. (2011). The olive DGAT2 gene is developmentally regulated and shares overlapping but distinct expression patterns with DGAT1. *Journal of experimental botany*, 62(2), 521-532.
- Basu, M., & Roy, S. S. (2013). Wnt/ β -catenin pathway is regulated by PITX2 homeodomain protein and thus contributes to the proliferation of human ovarian adenocarcinoma cell, SKOV-3. *Journal of Biological Chemistry*, 288(6), 4355-4367.
- Bergonier, D., De Crémoux, R., Rupp, R., Lagriffoul, G., & Berthelot, X. (2003). Mastitis of dairy small ruminants. *Veterinary research*, 34(5), 689-716.
- Brinkman, J. E., & Sharma, S. (2019). Physiology, Growth Hormone. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
- Cases S, Stone SJ, Zhou P, Yen E, Tow B, Lardizabal KD, Voelker T, Farese RV (2001). Cloning of DGAT2, a second mammalian diacylglycerol acyltransferase and related family members. *Journal of Biological Chemistry* 276:38870–38876.
- Deng, C., Ma, R., Yue, X., Lan, X., Chen, H., & Lei, C. (2010). Association of IGF-I gene polymorphisms with milk yield and body size in Chinese dairy goats. *Genetics and molecular biology*, 33(2), 266-270.
- Eid, J. I., Teleb, D. F., Mohamed, S. A., & El-Ghor, A. A. (2020). DGAT1 polymorphism in Egyptian Zaraibi goat breed and their association with milk yield and composition. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 81(1), 1-7.
- Gay N.J., Gangloff, M., Structure and function of Toll receptors and their ligands. *Annu. Rev. Biochem.* 2007; 76, 141–165.
- Grisart, B., Coppieters, W., Farnir, F., Karim, L., Ford, C., Berzi, P., ... & Snell, R. (2002). Positional candidate cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutation in the bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition. *Genome research*, 12(2), 222-231.

- Gupta, N., Pandey, A., Malik, G., & Gupta, S. C. (2009). Single nucleotide polymorphism (SNP) in growth hormone gene of Jakhrana, a prominent milk goat breed in India. *Small Ruminant Research*, 81(1), 35-41.
- Hanoğlu, H. (2013). Organik Tarım Mevzuatına Göre Türkiye'de Büyükbaş Ve Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliği. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 19(1).
- Haenlein, G. F. (2002). Relationship of somatic cell counts in goat milk to mastitis and productivity. *Small ruminant research*, 45(2), 163-178.
- Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small ruminant research*, 51(2), 155-163.
- Hua, G. H., Chen, S. L., Yu, J. N., Cai, K. L., Wu, C. J., Li, Q. L., ... & Shen, Z. (2009). Polymorphism of the growth hormone gene and its association with growth traits in Boer goat bucks. *Meat science*, 81(2), 391-395.
- Kaisho T., Akira S. Toll-like receptor function and signalling. *J.Allergy Clin. Immunol.* 2006; 117, 979,987.
- Kaymakçı, M., & Aşkın, Y. (1997). Türkiye’de keçi yetiştiriciliği Kitabı Baran Ofset Bornova
- Kaymakçı, M., & Engindeniz, S. (2010). Türkiye’de keçi yetiştiriciliği: sorunlar ve çözümler. *Ulusal Keçicilik Kongresi 24–26 Haziran 2010*, 1-25.
- Kioka N, Manabe E, Abe M, Hashi H, Yato M, Okuno M, Yamano Y, Sakai H, Komano T, Utsumi K, Iritani A (1989). Cloning and sequencing of goat growth hormone gene. *Agric. Biol. Chem.* 53:1583-1587
- Korkmaz-Ağaoğlu, Ö., Elmaz, Ö., Akyüz, B., Zeytünlü, E., & Saatci, M. (2019). Identifying polymorphism in some genes and their effects on growth performance in Honamli and hair goat breeds. *Genetika*, 51(3), 995-1008.
- Krutzik S.R., Ochoa M.T., Siebling P.A., Uematsu S., Ng Y.W., Legaspi A., Liu P.T., Cole S.T., Godowski P.J., Maeda Y., Sarno E.N., Norgard M.V., Brennan P.J., Akira S., Rea T.H., Modlin R.L. Activation and regulation of Toll-like receptors 2 and 1 in human leprosy. *Nat. Med.* 2003; 9, 525–532.
- Laron, Z. (2001). Insulin-like growth factor 1 (IGF-1): a growth hormone. *Molecular Pathology*, 54(5), 311.

- Leitner G, Silanikove N, Merin U. 2008. Estimate of milk and curd yield loss of sheep and goats with intramammary infection and its relation to somatic cell count. *Small Ruminant Research*, 74(1-3), 221-225.
- Malveiro, E., Pereira, M., Marques, P. X., Santos, I. C., Belo, C., Renaville, R., & Cravador, A. (2001). Polymorphisms at the five exons of the growth hormone gene in the algarvia goat: possible association with milk traits. *Small Ruminant Research*, 41(2), 163-170.
- Marques, P. X., Pereira, M., Marques, M. R., Santos, I. C., Belo, C. C., Renaville, R., & Cravador, A. (2003). Association of milk traits with SSCP polymorphisms at the growth hormone gene in the Serrana goat. *Small Ruminant Research*, 50(1-2), 177-185
- Martin, P., Palhière, I., Maroteau, C., Bardou, P., Canale-Tabet, K., Sarry, J., ... & Tosser-Klopp, G. (2017). A genome scan for milk production traits in dairy goats reveals two new mutations in *Dgat1* reducing milk fat content. *Scientific reports*, 7(1), 1-13
- Miller, B. A., & Lu, C. D. (2019). Current status of global dairy goat production: an overview. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(8), 1219
- Ogorevc, J., Simčič, M., Zorc, M., Škrjanc, M., & Dovč, P. (2019). TLR2 polymorphism (rs650082970) is associated with somatic cell count in goat milk. *PeerJ*, 7, e7340.
- Ozmen, O., & Kul, S. (2014). Polymorphism of goat DGAT1 gene and their association with milk production traits. *Indian Journal of Animal Sciences*, 84(8), 867-871.
- Özder M. (1997). *Keçi Irkları: Keçi Yetiştiriciliği Kitabı*. Kaymakçı M., Aşkın Y. Baran Ofset, Ankara.
- Polkowska, J., Wańkowska, M., Romanowicz, K., Gajewska, A., Misztal, T., & Wójcik Gładysz, A. (2011). The effect of intracerebroventricular infusions of ghrelin and/or short fasting on the gene expression and immunoreactivity of somatostatin in the hypothalamic neurons and on pituitary growth hormone in prepubertal female lambs. Morphological arguments. *Brain Research*, 1414, 41-49.
- Renaville, R., Hammadi, M., & Portetelle, D. (2002). Role of the somatotrophic axis in the mammalian metabolism. *Domestic animal endocrinology*, 23(1-2), 351-360.

- Ruiz-Rodriguez, C. T., Brandt, J. R., Oliverio, R., Ishida, Y., Guedj, N., Garrett, E. F., ... & Roca, A. L. (2017). Polymorphisms of the toll-like receptor 2 of goats (*Capra hircus*) may be associated with somatic cell count in milk. *Animal biotechnology*, 28(2), 112-119.
- Rupp, R., Clément, V., Piacere, A., Robert-Granié, C., & Manfredi, E. (2011). Genetic parameters for milk somatic cell score and relationship with production and udder type traits in dairy Alpine and Saanen primiparous goats. *Journal of dairy science*, 94(7), 3629-3634.
- Sankhyan, V., Thakur, Y. P., & Dogra, P. K. (2020). IGF-1 Gene Polymorphism in Migratory Gaddi Goats of Western Himalayan Region, India. *Journal of Animal Research*, 10(1), 133-136.
- Schibler, L., Vaiman, D., Oustry, A., Giraud-Delville, C., & Cribiu, E. P. (1998). Comparative gene mapping: a fine-scale survey of chromosome rearrangements between ruminants and humans. *Genome Research*, 8(9), 901-915.
- Shareef, M., Basheer, A., Zahoor, I., & Anjum, A. A. (2018). Polymorphisms in growth hormone (GH) and insulin-like growth factor-1 (IGF-1) gene and their association with growth traits in Beetal goat. *Pak. J. Agri. Sci*, 55(3), 713-720.
- Sharma, A., Dutt, G., Sivalingam, J., Singh, M. K., Pathodiya, O. P., Khadda, B. S., & Dixit, S. P. (2013). Novel SNPs in IGF1, GHR and IGFBP-3 genes reveal significant association with growth traits in Indian goat breeds. *Small Ruminant Research*, 115(1-3), 7-14.
- Silanikove N, Merin U, Leitner G. 2014. On effects of subclinical mastitis and stage StatPearls Publishing.
- Supakorn, C., & Pralomkarn, W. (2013). Genetic polymorphisms of growth hormone (GH), insulin-like growth factor 1 (IGF-1) and diacylglycerol acyltransferase 2 (DGAT-2) genes and their effect on birth weight and weaning weight in goats. *Philippine Agricultural Scientist*, 96(1), 18-25.
- Winter A, Kramer W, Werner FAO, Kollers S, Kata S, Durstewitz G, Buitkamp J, Womack JE, Thaller G, Fries R (2002). Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA:diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:9300–9305.

- Yakan, A., Özkan, H., ŞAKAR, A. E., Ünal, N., & Özbeyaz, C. (2018). Gene expression levels in some candidate genes for mastitis resistance, milk yield, and milk quality of goats reared under different feeding systems. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 42(1), 18-28.
- Yurdakul, Ö. K., Yalçın H. (2014). Keçi Etinin Özellikleri ve Faydaları. *Ayrıntı Dergisi*, 2(19).
- Zhang, S., Zhao, H., Lei, C., Pan, C., Chen, H., Lin, Q., & Lan, X. (2020). Effects of genetic variations within goat PITX2 gene on growth traits and mRNA expression. *Animal biotechnology*, 31(2), 107-114.
- Zhang, X., Zhang, S., Yang, Q., Lei, C., Chen, H., & Lan, X. (2016). Exploration of dairy goat PITX2 alternative splice events and differential isoform expression. *Small Ruminant Research*, 144, 140-144.
- Zhao, H., Wu, X., Cai, H., Pan, C., Lei, C., Chen, H., & Lan, X. (2013). Genetic variants and effects on milk traits of the caprine paired-like homeodomain transcription factor 2 (PITX2) gene in dairy goats. *Gene*, 532(2), 203-210.
- Žujović, M., Memiši, N., Bogdanović, V., & Tomić, Z. (2011). Correlation between body measurements and milk production of goats in different lactations. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(2), 217-225.

BÖLÜM 9

HAYVANCILIĞIN GELECEĞİ HAYVANCILIK 5.0: HAYVAN SAĞLIĞI VE REFAHI ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Gökçe ÖZDEMİR¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139118>

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Veteriner Fakültesi, 58140, Sivas, Türkiye.
gokceozdemir@cumhuriyet.edu.tr; ORCID: 0000-0003-1977-130X

GİRİŞ

Çiftlik hayvanları yetiştiriciliğinde temel amaç; hayvanın genetik potansiyelini ortaya koyabileceği barınma koşullarında, dengeli ve yeterli beslenmesi ile yemden yararlanma kabiliyetini sağlamak ve daha az gübre/atık yönetimi ile hayvanın verimliliği, üretkenliği, sağlığı ve refahını sürdürülebilirlik veya artırmaktır. Hayvancılıkta, hayvansal ürünlerin üretiminde kilit noktalar olan; sürdürülebilirlik ve hayvan verimliliğinin artırılması yanında gıda ürünlerinin güvenliği ve kalitesinin her an garanti edilmesi de gerekmektedir (Berckmans, 2017; Van Hertem et al., 2017; Fraser and Campbell, 2019; García et al., 2020; Zhang et al., 2021). Dünya genelinde; 2050 yılına kadar hayvansal kaynaklı ürünlere olan talebin %70 artacağı bildirilmektedir. Hayvancılık sektöründe de, bu talebi karşılayabilmek amacıyla artan hayvan sayılarıyla daha az sayıda çiftliklerde hayvancılığın gerçekleştirilmesi zorunluluğuna karşın çözümler geliştirilmektedir (Caja et al., 2016; Berckmans, 2017; Fournel et al., 2017; Fraser and Campbell, 2019; Astill et al., 2020; García et al., 2020). Günümüzde, hayvancılık endüstrisi içerisinde hayvan yoğunluğu fazla, büyük ölçekli işletmeler yerlerini almaya başlamakla birlikte; gelecekte, hayvancılık operasyonlarının daha devasa yapılara dönüşmesi beklenmektedir (Caja et al., 2016; Berckmans, 2017; Astill et al., 2020). Büyük hayvan topluluklarından oluşan çiftliklerde yürütülen bu devasa hayvancılık operasyonlarında tüm hayvanların güvenilir bir şekilde bireysel bakımını takip etmek, hayvan sağlığını, refahını ve verimliliğini temin etmek ve korumak, çevresel riskler ve kaynak kullanımı gibi sorunlarla baş edebilmek çiftçiler için imkansız hale gelebilmektedir (Berckmans, 2017; Van Hertem et al., 2017; Fraser and Campbell, 2019; García et al., 2020; Zhang et al., 2021). Bu sorunların yanı sıra, hayvansal ürünlere karşı artan talep ile birlikte tüketicilerin hayvanların daha insancıl koşullarda yetiştirilmesine yönelik beklentileri ve mevzuatlarla belirlenen yüksek hayvan refah standartları; hayvan yetiştiriciliği ve yönetimi uygulamaları üzerinde hayvan refahı ve sağlığına daha özen gösterilmesi hususunda ek baskı yaratmaktadır (Fournel et al., 2017; Van Hertem et al., 2017; Fraser and Campbell, 2019; Bahlo et al., 2019; García et al., 2020).

Ekonomik olarak sürdürülebilir işletmelerde hayvanlara yeterli özen ve dikkat gösterildiğinden emin olmak için, yalnızca çevresel koşulları değil aynı zamanda hayvan refahını, davranışlarını ve sağlığını da izleyen modern ve

teknolojik hayvancılık sistemlerine ihtiyaç oluşmaktadır (Caja et al., 2016; Fournel et al., 2017; Fraser and Campbell, 2019; García et al., 2020; Morrone et al., 2022). Bu kapsamda; çiftliklerde hayvanların sağlığını, refahını, verimliliğini ve çevresel etkilerini sürekli ve gerçek zamanlı izleyerek bilgi aktarımı sağlayıp, sürü yönetiminde karar alıcı olarak çiftçileri desteklemek üzere tasarlanan teknolojilere yönelim artmaktadır. Bunun sonucunda; bilim insanları son yıllarda hayvancılıkta, sürdürülebilirlik, çevre, teknoloji ve hayvan refahı odaklı üretim araçlarıyla ilgilenmektedirler. Hayvan yetiştiriciliğindeki tüm zorluk ve zorunluluklara karşın, hayvanın etrafındaki veya üzerindeki sensörler, kameralar, mikrofonlar gibi teknolojilerden faydalanılarak, yüksek yoğunluktaki çiftlikte hayvanların bireysel olarak gerçek zamanlı izleme, veri toplama, analiz ve veri aktarımı, otomasyon sistemleri aracılığıyla hayvan sağlığı, verimliliği veya refahı ile ilgili oluşabilecek sorunun mümkün olan en erken zamanda belirlenmesine yönelik çözümler sunmak amacıyla hayvancılıkta Hassas Hayvancılık (PLF, Precision Livestock Farming) uygulamaları geliştirilmektedir (Berckmans, 2017; Schillings et al., 2021; Zhang et al., 2021; Morrone et al., 2022). Hassas hayvancılık uygulamalarının; son yıllarda farklı hayvancılık alanlarına entegrasyonu ile geliştirilen akıllı, dijital, yapay zeka ve robotik teknolojilerin hayvancılığa aktarılması ile de; ileri hayvancılık olarak tanımlanan ve Hayvancılık 5.0 kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Gelecekte hayvancılık sektörünün gelişiminde son evre olabilecek Hayvancılık 5.0 ile ilgili birçok alanda bilim insanları çok sayıda çalışma yürütmektedir (Fraser and Campbell, 2019; Tuvay ve Ermetin, 2023; Küçükoflaz et al., 2025).

Bu bölümde; Hayvancılık 5.0 kavramı kapsamında gelişen dijital teknolojilerinin hayvancılıktaki uygulama alanlarının ve potansiyelinin incelemesi, Hayvancılık 5.0 teknolojilerin kullanmanın hayvan sağlığı ve refahı üzerine etkilerinin değerlendirilmesi ve bu uygulamaların güçlü, zayıf yönleri ile fırsat ve riskleri gibi farklı boyutlarda karşılaştırılmalı olarak ele alınması amaçlandı.

HAYVANCILIĞIN GELECEĞİ: HAYVANCILIK 5.0

Tarım sektöründe, tarımsal verilere odaklanan yeni dönem Tarım 4.0, Dijital Tarım, Akıllı Tarım veya Hassas Tarım gibi çeşitli adlarla tanımlanmaktadır.

Tarımdaki sorunları çözmek amacıyla yaygın bir şekilde üreticilerin Hassas Tarım prensiplerini uygulamasıyla birlikte; 2014 yılından itibaren insansız operasyonlar ve otonom karar destek sistemleri içeren ekipmanların, robotik ve makine öğrenimi kullanan girişimlerin, bazı yapay zeka biçimlerinin kullanımının artmasıyla Tarım 5.0 uygulamaları geliştirilmiştir (Fraser and Campbell, 2019; Saiz-Rubio and Rovira-Más, 2020). Tematik, veri yönetiminin ve operasyonların doğruluğunu artıran bu yeni uygulamaların; tarımdan hayvancılığa uyarlanması da, hayvancılıkta Hassas Hayvancılık veya Hayvancılık 4.0 (PLF, Precision Livestock Farming) olarak bilinen yeni bir dönemi başlatmıştır (Fraser and Campbell, 2019; Saiz-Rubio and Rovira-Más, 2020; Schillings et al., 2021; Vázquez-López et al., 2021; Morrone et al., 2022). Hayvancılık sektöründe, hassas hayvancılık uygulamalarının yaygınlaşması ve çiftliklerde günlük rutinin planlanması, yürütülmesi, iyileştirilmesi ve kolaylaştırılması ile gelişen sorunlara alternatif çözümler geliştirilmesi amacıyla son yıllarda dijital teknolojilerin farklı hayvancılık alanlarına entegrasyonu da hayvancılığın Hayvancılık 5.0 versiyonuna geçilmesine olanak yaratmaktadır (Schillings et al., 2021; Zhang et al., 2021; Morrone et al. 2022; Kraft et al., 2022; Tuvay ve Ermetin, 2023).

Hayvancılık 5.0; nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, elektrikli araçlar (EV), 3D baskı, bulut bilişim, yapay zeka (AI) ve siber-fiziksel sistemler gibi dijital veya akıllı teknolojik yenilikleri içeren bir girişimdir (Qazi et al., 2022; Morrone et al. 2022). Hayvancılık işletmelerinde gelişen yüksek yoğunlukta hayvan varlığı göz önüne alındığında, dijital veya akıllı teknolojilerin benimsenmesinin hayvan yetiştiriciliğinde bireysel hayvan bakımına, performansına odaklanma ve hastalık salgınlarının engellenebilmesi gibi yaratacağı sonuçları; hayvan refahını, karlılığı ve sürdürülebilirliği artırmak için potansiyel ek itici güçleri olarak kabul görmektedir (Fraser and Campbell, 2019; Norton et al. 2019; Bahlo et al., 2019; Zin et al., 2020).

Süreç mühendisliği prensibine dayalı bir üretim sistemi ve yönetim mekanizması olan Hassas hayvancılık (PLF), akıllı çiftlik sistemleri (Hayvancılık 5.0) gelişiminde önemli bir adım sağlamış olup, hassasiyet, sürdürülebilirlik, görüntü işleme, 5G iletişimi, yapay zeka ve nesnelerin interneti teknolojileri aracılığıyla hayvancılığın gelecekteki gelişme trendi olarak görülmektedir (Norton et al. 2019; Zin et al., 2020; Zhang et al., 2021;

Qazi et al., 2022). Örneğin; yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) makineden makine (M₂M) iletişim gibi akıllı teknolojilerin uygulanması, hayvanları kimliklendirme, sınıflandırma, hassas besleme, hastalık, salgın önleme ve kontrolü, uzaktan teşhis, otomatik atık geri kazanımı ve arıtımı, üreme sürecinde hayvanın takibi, hayvan davranış ve duygu durumu tespiti gibi hayvan verimi, sağlığı, refahına katkı sağlamak ve aynı zamanda hayvancılıkta iş yükünü ve maliyeti de azaltmak amacıyla kullanımları yaygınlaşmaktadır (Caja et al., 2016; Bahlo et al., 2019; Astill et al., 2020; Saiz-Rubio and Rovira-Más, 2020; Zhang et al., 2021; Tuvay ve Ermetin, 2023).

HAYVANCILIK 5.0 UYGULAMALARI

Hayvancılıkta, çevresel faktörler hayvanların üretim ve verimliliğinin sınırlayan en önemli etkenlerdir. Örneğin, sıcaklık stresi, performansta düşüş, hastalık ve ölüm oranlarında artışa, ekonomik kayıplara ve hayvan refahında zayıflamaya neden olabilmektedir. Kapalı hayvan barınak sistemlerinde geleneksel çevre kontrol yöntemleri; sıcaklık, nem, hava akımı, radyasyon, fizyolojik durum ve sosyal etkileşimler gibi hayvanların gerçek çevre ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Modern hayvancılıkta ise kurulan barınaklarda; hayvan genetiği, beslenmesi ve yönetim uygulamalarındaki gelişmeler, binanın hissedilir ve gizli ısı yüklerinde önemli değişikliklere sebep olan, çevresel, fizyolojik ve davranışsal değişkenler bütünsel bir yaklaşımla otomatik olarak izlenmesini sağlayan teknolojiler (sensörler, dedektörler, kameralar, mikrofonlar), hayvanların performansı, davranışları ve refahını çevreleriyle ilişkili olarak sürekli olarak değerlendirmek için kullanılabilir (Fournel et al., 2017; Lovarelli et al., 2020).

Uzaktan elektronik ölçümlerin, bilgisayar teknolojisinin ve analitik araçların kullanımı, verimliliği korumak için çevresel koşulların doğru bir şekilde yönetilmesinin üretim döngüsünün sonunda performans beklentilerinin karşılanabilmesinde etkili olduğu bildirilmektedir (Fournel et al., 2017). Hayvanların genetik yapı, beslenme ve çevre gibi farklılıkların hayvanların büyüme, gelişme, karkas özellikleri ve kompozisyonu gibi çeşitli verimleri üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik birçok dinamik veri tabanlı matematiksel modeller, makine öğrenme ve bilgisayarlı görme algoritmaları

geliştirilmiştir (Fournel et al., 2017; García et al., 2020). Barınaklarının fiziksel ve biyolojik çevresel bileşenleri arasındaki karmaşık etkileşimleri değerlendirmek için hayvanın fizyolojisi, davranışları, hayvan sağlığı ve verimleri ile ilgili tepkilerle bağlantılı olan hayvan refahı ve hayvan konfor endeksleri kullanılarak, temel biyolojik ve fiziksel süreçlerin veri tabanlı modelleri aracılığıyla elde edilen işlenmiş bilgiler çiftçilere düzenli olarak basit ve uygulanabilir yönetim eylemlerine dönüştürülmesi ve karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır (Fournel et al., 2017; Lovarelli et al., 2020; García et al., 2020).

Hayvan sağlığını veya yönetim rutinlerini optimize etme amacıyla; modern hayvancılık üretimi için geliştirilen sensör tabanlı tespit modellerinden kaynaklanan uyarıların gelecekte azaltılması için Bulanık Mantık, Saf Bayes Ağı (NBN) ve Gizli faz tipi Markov modeli, teknolojilerinin en büyük potansiyele sahip olduğu, bu modeller için farklı koşulları tespit etmek amacıyla karar ağaçları, doğrusal regresyon, lojistik regresyon, Destek Vektör Makinesi (SVM), yapay sinir ağı (YSA) veya farklı algoritmaların çeşitli varyasyonları gibi yöntemler kullanıldığı bildirilmektedir (Dominiak and Kristensen, 2017; Işık ve ark., 2021; Wang et al., 2023; Yıldız, 2024). Otomatik izleme ve modelleme alanı nispeten genç olan hassas hayvancılık teknolojisini gelecek perspektifleri tek değişkenli modellere göre çok değişkenli hibrit modellerin daha iyi performans gösterdiği bildirilmektedir (Neethirajan et al., 2017; Norton et al. 2019; Işık ve ark., 2021; Bao and Xie, 2022; Yıldız, 2024). Örneğin inekler için geliştirilmiş otomatik sağım sistemlerine entegre edilmiş sensörler, hayvandaki ve çevredeki diğer sensör, kameralar (video, kızılötesi veya 3B kameralardan alınan veriler) veya mikrofonlardan gelen tüm bilgilerin birleştirilmesinden en iyi performansı elde edildiği; bu sistemlerin acil müdahale gerektiren östrus veya klinik mastitis gibi durumları tespit etmek için yüksek bir performans gösterebildiği, yine başka bir çalışmada; klinik mastitisin erken teşhisi ve başlangıcının sürekli tahmini için geliştirilmiş bir modelin mastitis vakasının bildirilmesinden 5 sağım önce hayvanın sağım verileri kullanılarak başarılı bir şekilde mastitis teşhisinin belirlenebildiği bildirilmektedir (Dominiak and Kristensen, 2017; Neethirajan et al., 2017; Cabrera et al., 2020; Işık ve ark., 2021; Yıldız, 2024).

Hayvan sağlığı için makine öğreniminde, önceki çalışmaların hayvan türleri içerisinde ağırlıklı olarak domuz (%31) ve kümes hayvanlarına (%38) daha sonra sığır (%23) ve koyun (%8) gibi çiftlik hayvanlarına odaklandığı, özellikle hayvan izleme (%75) ve davranışsal sınıflandırma (%25) konuları üzerinde durulduğu ve sensör teknolojilerinin ise hayvan sağlığı ile sıcaklık, nem ve CO₂ gibi çevresel ölçüm sensörleri üzerinde daha çok çalışıldığı bildirilmektedir (García et al., 2020).

Hayvan refahı ve sağlığı ile ilgili sorunları çözmek için yapay zeka tabanlı çalışmaların incelendiği sistemik bir diğer incelemede ise; çalışmaların domuz (%37,95), sığır (%37,44) ve kümes hayvanları (%16,92) gibi çiftlik hayvanı türlerine yoğunlaştığı ve hayvan davranışının tespiti, hastalık izleme, büyüme tahmini ile çevre izleme alanlarında veri toplama, işleme, değerlendirme ve analize odaklandığı bildirilmektedir (Bao and Xie, 2022). Hayvancılıkta modelleme, tahmin ve yönetim için derin öğrenme tabanlı yaklaşımların karar destek aracı olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı; bu amaçla 20 derin öğrenme modelinden faydalandığı, Evrişimli Sinir Ağları (CNN'ler), sıklıkla kullanılan yapay zeka modelleri arasında Yapay Sinir Ağı (YSA), Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Makine Öğrenmesi (ML), Derin Öğrenme (DL), Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), Maske Bölge Tabanlı Evrişimli Sinir Ağları (Mask-RCNN) ve Desen Tanıma (PR) ve daha Hızlı-RCNN en çok benimsenen modeller olduğu ve ayrıca farklı problemleri çözmek için kullanılan 19 eğitim ağı arasında en fazla ResNet kullanıldığı bildirilmektedir (Işık ve ark., 2021; Mahmud et al., 2021; Bao and Xie, 2022; Yıldız, 2024). Evrişimli Sinir Ağlarının (CNN) yapay zeka modelleri, kamera veya mikrofonla toplanan görsel veya işitsel verilere dayalı hayvan davranışlarının sınıflandırılması ve tanınması için en çok kullanılan model olduğu, RFID etiketleri ve ivmeölçer gibi sensör tabanlı cihazlar, hayvancılıkta bireysel tanımlama ve aktivite tespiti için en çok kullanılan cihazlar olduğu bildirilmektedir (Işık ve ark., 2021; Mahmud et al., 2021; Bao and Xie, 2022; Yıldız, 2024).

Biyosensör teknolojisi sayesinde, çiftlikte hayvanlarının fizyolojisi, hareketi, davranışı ve çevre koşulları gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte ve bilgiler kaydedilerek, hayvanın beslemesi, östrus izlemesi, salgın hastalık uyarısı, sağım gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Hayvanlarda fizyolojik

göstergelerin gerçek zamanlı ve sürekli izlenmesi, hayvan biyolojik süreçlerindeki değişimin her zaman takip edilememesi, hayvanların hareketli olma durumu, biyouyumlu malzeme olmaması veya ekipmanların çalışma koşullarında karşılaşılan bazı güçlükler hayvanların izlenmesini zorlaştırabilmektedir. Yeni geliştirilen teknolojilerin uygulanmaya girmesi ile örneğin giyilebilir nesnelerin interneti (W-IoT) teknolojisi ile izlenen nesnelerin durumunu her zaman, her yerde ve her türlü çevre koşulunda büyük miktarda veri toplayabilmesi, analiz edip değerlendirmesinin kolay olması gibi avantajları hayvancılıkta hayvan refahı, sağlık yönetimi ve gıda kalitesi izlenebilirliğinde kullanılabilmesine imkan sunmaktadır (Neethirajan et al., 2017; Mahmud et al., 2021; Zhang et al., 2021; Pinna et al., 2023). Giyilebilir cihazlarda kullanılan sensörlerin çalışma prensibine göre biyosensörler, kimyasal sensörler ve fiziksel sensörler olarak ayrılabilceğini ve entegre duruma göre mikrosensörler ve akıllı sensörler olarak ayrılabilir. Giyilir sensörler, çiftlik hayvanlarının fizyolojik (nabız hızı, kan oksijen saturasyonu, vücut sıcaklığı, solunum), biyolojik (glukoz, laktik asit, pH), hareket (yürüyüş özelliği) ve davranış (östrus, saldırganlık) parametrelerini tespit etmek ve izlemek için kullanılmaktadır (Neethirajan et al., 2017; Norton et al. 2019; Zhang et al., 2021). Giyilebilir teknoloji çalışmaları sadece hayvan için değil yetiştiricilerin kullanımı içinde geliştirilmektedir. Bir çalışmada, geliştirilmiş giyilebilir akıllı bir RFID okuyucunun (SmartGlove) işlevlerini artırılmış gerçeklik için akıllı gözlüklerle birleştirilerek; çiftlik hayvanlarının elektronik kimliklendirilmesi ile bireysel bilgilere gerçek zamanlı erişim için yetiştiricilerin kullanımına sunulmuştur (Pinna et al., 2023).

Günümüzde, kümes hayvanları yetiştiriciliğinde, maliyetleri ve kaynak kullanımını en aza indirirken üretim, sağlık ve refah durumunu artırmak için özellikle akıllı kümes hayvanı yönetim sistemlerinin kullanılması zorunluluk haline gelmiştir (Astill et al., 2020). Kümes ortamı, izlenebilen ve optimize edilebilen sıcaklık, hava hızı, havalandırma oranı, altlık kalitesi, nem ve karbondioksit ve amonyak dahil gaz konsantrasyonlar gibi çevresel değişkenleri izlemek için çoklu sensör sistemleri gibi çeşitli teknoloji kullanılmaktadır. Bu çevresel unsurlar birbiriyle ilişkili olup, hayvan sağlığını etkilemektedir. Örneğin; bağıl nem seviyesi kanatlı sağlığını etkilemekte ve bağıl nem seviyesi kümesteki amonyak ve karbondioksit gazı konsantrasyonlu

ilişkili olup, bu gazların seviyeleri arttığında, kümeste verim düşmekte, hastalık oranı artmaktadır (Van Hertem, et al., 2017; Astill et al., 2020). Yeni geliştirilen akıllı kümes ve robotik sistemler, kümes ortamını gerçek zamanlı olarak değerlendirilmesine ve çevresel değişkenlerle birlikte hayvanların uzaktan izlenmesine imkan sunmakta ve kanatlıların tartımı, yem ve su tüketimlerinin takibi ve davranış analizi ile hastalıkların erken teşhisi güvenle yapılabilmektedir (Neethirajan et al., 2017; Astill et al., 2020). Ayrıca, gelecekte daha yeni teknolojilerin örneğin; nanoteknolojiyi, hayvan sağlığı ve refahını izleme amaçlı gözetim sistemleriyle metabolik biyomoleküller için spesifik analitik tekniklerini birleştiren nanobiyosensör teknolojilerinin, hayvancılık çiftliklerinin yönetimi ve hastalık salgınlarının önlenmesi için yaygın olarak kullanılacağı da bildirilmektedir (Neethirajan et al., 2017).

Bir başka yeni teknoloji olarak, ses analizi; hayvan değişkenlerinin otomatik ve sürekli kaydı için hayvana zarar vermeyen, hayvan barınağına monte edilerek hayvana ek stres yaratmayan sesi ölçen mikrofonlar aracılığıyla hayvan seslerinin ölçülüp analiz edildiği bir yöntemdir (Van Hertem, et al., 2017; Mcloughlin et al., 2019; Norton et al. 2019). Hayvan seslerinin üretimi, iletimi ve alımının inceleyen Biyoakustik alanındaki çalışmalar sonucunda geliştirilen ses teknolojileri kullanılarak, hayvan seslerini analiz etmek için üretilmiş model, algoritma veya yöntemlerinin hayvanlar hakkında bireysellik, davranış ve morfoloji bilgisi çıkarmak için akustik ses izleme sistemlerinin geliştirmede yeni bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Mcloughlin et al., 2019). Örneğin; tavukçulukta ses analizi teknolojileri; hayvan refahı, sosyal ayırım, termal konfor, tüy yolma, hastalık teşhisi, büyüme ve gagalama sesi kullanılarak piliçlerin yem alımını ölçmek için de kullanıldığı bildirilmektedir (Norton et al. 2019). Ses verilerinin analizinde, ön plan gürültüleri (vurma sesleri, hayvan sesleri), arka plan gürültüleri (vantilatör gürültüsü, ısıtıcılar) ve bozucu ses kaynakları (havalandırma) gibi belirli karışan gürültüleri ayırmak için özel ses analiz prosedürlerinin geliştirilmesi ve yeni teknoloji ile ses analizi yöntemlerinin desteklenmesine ihtiyaç duyulduğu bildirilmektedir (Norton et al. 2019).

HAYVANCILIK 5.0 TEKNOLOJILERİN KULLANMANIN POTANSİYEL ETKİLERİ: GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ

Güçlü Yönler

Hayvancılık, insanoğlunun yerleşik hayata geçmesi ile birlikte ilk çağlardan bu yana hayvanları yetiştirmeye başlamasıyla gelişen tarımsal bir faaliyettir. Son birkaç on yılda hayvancılık üretimi geleneksel ekstansif üretimden modern yoğun üretime doğru evrilmiş olup, geleneksel hayvancılıkta kararlar, genellikle yalnızca yetiştiricilerin bilgi ve deneyimlerine dayanmaktadır. Modern hayvancılıkta ise bu kararlar, gerçek zamanlı olarak da elde edilen, verilerin kontrol sistemleri, bilgisayar teknolojileri, yapay zeka, makine öğrenme (ML), kızılötesi termografi gibi gelişmiş teknolojilerin kullanımı ile elde edilen analiz ve çıktılara dayanmaktadır (Dominiak and Kristensen, 2017; García et al., 2020; Wang et al., 2023; Yıldız, 2024). Geleneksel çiftlik yönetim bilgi sistemlerinde tutulan hayvan sayısı, hayvan tedavi, üreme, alım ve satımlar, kimyasal envanterler, mera uygulamaları gibi geleneksel çiftlik kayıtlarına ilave olarak hassas hayvancılık sistemleri ile elde edilen veriler, özellikle arazideki belirli bir yer için yerel hava koşulları, toprak nemi, su seviyeleri, hayvanların konumları gibi toplanabilen uydu görüntüleri veya diğer sensör verileriyle birleştirildiğinde oluşacak meta verilerin kullanımı çiftlik kârlılığını ve hayvan refahını iyileştirebilecek zengin bir veri tablosu ve değerli bilgiler ile önemli kazanımlar sağlanabilmektedir (Bahlo et al., 2019; Lovarelli et al., 2020; Qazi et al., 2022). Mevcut bilgileri toplayan otomatik ses, görüntü izleme ve yönetim bilgi sistemleri ile mevcut bilgileri analiz eden karar destek sistemleri sayesinde hayvanların sağlık ve refah durumunu herhangi bir anda tespit edip kontrol edebilmek, olası sorunlar konusunda erken uyarıların sağlanmasında kullanılabilmektedir (Dominiak and Kristensen, 2017). Bu bilgiyi işleyebilecek akıllı dijital teknolojilerin, çiftliklerde etkin bir şekilde kullanımı; yetiştiricilerin hayvanları hakkında tutarlı bilgi ulaştırılması ile sürü yönetiminde yetkin karar almalarına yol açtığı birçok çalışma ile doğrulanmaktadır (Bahlo et al., 2019; Lovarelli et al., 2020; Astill et al., 2020).

Son yıllarda, özellikle hayvancılıkta verimliliğini artırırken hayvanların bireysel, grup ve tür bazlı farklılıkları da hesaba katan, hayvan sağlığını, refahını ve davranışına odaklanan, hassas hayvancılık otomatik hayvan ses,

görüntü ve izleme teknolojilerinin de ve yöntemlerinin ötesine geçen bir dizi kazanım ve faydalar ile büyük sıçrama yaşanmaktadır (Yukun et al., 2019; Buller et al., 2020; Bao and Xie, 2022). Teknolojik gelişmeler sayesinde hayvan üzerinde fiziksel temas, ölçüm yapılırken hayvanın tepkisini etkileme riski veya hastalık bulaşma riski olmadan, hayvanlardan kurtarmaya gerek kalmadan sensör, kamera veya mikrofon kullanılarak, büyük bir hayvan grubunu izleyebilmesi mümkün olabilmektedir (Berckmans, 2017; Morrone et al. 2022; Bao and Xie, 2022).

Zayıf Yönler

Hayvancılık 5.0 uygulamalarının, robotik ve yapay zeka ile güçlerini birleştirerek yetiştiricilere dijital çözümler sunulabilmesi için, yetiştiricilerin modern teknolojileri öğrenmeye ve uygulamaya gönüllü olması ve yeni nesil genç çiftçilerinde dahil sektördeki birçok uygulayıcıları kapsayan eğitimlerin düzenlenmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Hayvancılık 5.0'a doğru evrim süreci, sektördeki birçok meslek uzmanlarının ve eğitim kurumlarının da bu evrimleşmeye uyum gösterip, müfredatlarını güncelleyerek; multidisipliner ortaklıklar ile alanın uzman personel ihtiyaçlarını karşılamaları gerekmektedir (Norton et al. 2019; Saiz-Rubio and Rovira-Más, 2020; Qazi et al., 2022).

Hassas hayvancılık teknolojilerinin, hayvan sağlığı ve davranışları hakkında yeni ve karmaşık veriler sağlayabilse de, hayvancılık sistemlerindeki bir dizi karmaşık yapısal, çevresel ve teknolojik koşullar ile hayvanların bireysel veri kümelerini anlamlı göstergelere dönüştürecek hayvan refahına odaklanan algoritmaların geliştirilmesi ve etkili uyarı sistemlerini kullanımını için; hayvanların bireysel düzeyde her hayvanı diğerlerinden ayrı ayrı tanıyabilen bir teknik veya kullanıcı odaklı personel eğitimi gibi hayvanla veya çiftçiyle ilgili bazı zorlukların aşılması gerekmektedir (Van Hertem et al., 2017; McLoughlin et al., 2019; Norton et al. 2019; Buller et al., 2020).

Riskler

Hassas Hayvancılık, Akıllı Hayvancılık veya Hayvancılık 5.0 gibi teknolojilerin getirdiği faydalar, kazanımlar gibi güçlü yönleri ile büyük fırsatlar sağlanmasına rağmen, zayıf yönleri, riskler ile bazı sorunlar ele alırken; etik, hayvan hakları, veri mülkiyeti, niteliği, dağıtımı, veri paylaşımı, gizlilik

ve güvenlik açısından çiftçiler için potansiyel tehditlerin de bulunduğu unutulmamalı ve sürdürülebilir bir çevrede üretimi artıracak sürdürülebilir hayvancılık teknolojileri için önemli stratejiler geliştirilmelidir (Bahlo et al., 2019; Fraser and Campbell, 2019; Buller et al., 2020; Qazi et al., 2022).

Fırsatlar

Coğrafi bilgi sistemleri, sensör ağları ve standartlaştırılmış protokolleri içeren hayvan bilimcileri, fizyologlar, veteriner hekimler, etologlar, mühendisler, bilgi ve iletişim teknolojisi uzmanları gibi birçok bilim insanı ve uygulayıcıları arasında işbirliğini gerektiren disiplinler arası bir yaklaşımın kullanılması, hassas hayvancılık uygulamaları kapsamında karar vermede faydalı bilgiler üretmek için önerilmektedir (Caja et al., 2016; Berckmans, 2017; Bahlo et al., 2019; Norton et al. 2019; Buller et al., 2020; Qazi et al., 2022).

İyi bir hayvan yetiştiricisinin hayvanlara karşı yakınlık, empati, sabır, keskin gözlem becerileri ve düzenli aralıklarla hayvanları denetleme sorumluluğu gibi nitelikleri sahip olmasının yanında; hayvancılıkta, yüksek hayvan refahı standartlarını sağlamada önemli bir role de sahiptir (Buller et al., 2020). Hayvanların biyolojik süreçlerinin karmaşıklığı teknoloji karşısında yetiştiricilerin yerini daha da önemli bir noktaya taşımaktadır (Berckmans, 2017; Norton et al. 2019; Yukun et al., 2019; Kraft et al., 2022). Bu kapsamda, hassas hayvancılık teknolojileri, yetiştiricinin konumunu sorgulayan veya alan değil, onların yönetici ve karar alıcı olarak destekleyen bir araç olduğu bildirilmektedir (Caja et al., 2016; Berckmans, 2017; Norton et al. 2019; García et al., 2020; Kraft et al., 2022).

HAYVANCILIK 5.0 TEKNOLOJİLERİN KULLANMANIN HAYVAN SAĞLIĞI VE REFAHI ÜZERİNE ETKİLERİ

Hayvancılık 5.0: Hayvanlar İçin Ne Anlam İfade Ediyor?

Hayvanlar, sürekli değişim içinde olan çevreleri ile etkileşim halindeki canlı organizmalardır. Canlı bir organizma; doğal olarak karmaşık, bireysel olarak farklı, zamanla değişen ve dinamik sistemlere sahiptir. Bir hayvanın çevresel bir uyarana veya stres faktörüne tepkisi her seferinde farklı olabilmektedir (Berckmans, 2017). Bu yönleri ile hayvancılıkta merkezi ve en karmaşık bileşen hayvandır. Hayvanın bulunduğu üretim sistemin tamamı; insanların,

diğer hayvanların, teknik tesislerin, makinelerin, mikro ve makro klima gibi çevre koşullarının karmaşık etkileşiminin bir bütünüdür. Bir canlı organizma olarak her bir hayvanın içinde bulunduğu fiziksel ve biyolojik süreçler (hayvan büyümesi, süt verimi, hastalıklar gibi), aktiviteleri ile hayvan davranışlarının çeşitli yönleri ve dönemleri değerlendirildiğinde; hayvanların kendi beslenme, su, iklim, hareket, cinsel davranış vb. ihtiyaçları bireysel farklılıklara bağlı olarak değişmektedir (Berckmans, 2017; Norton et al. 2019; Yukun et al., 2019; Kraft et al., 2022).

Hayvan refahı; hayvanın fiziksel ve mental olarak iyi olma hali olup, biyolojik, fizyolojik ve psikolojik çok boyutlu, karmaşık bir durumdur. Hayvan refahın çok sayıda tanımı bulunmaktadır. Çiftlikte hayvan refahı, iyi refahı desteklemekten, kötü refahtan kaçınmaya kadar geniş bir perspektif ile değerlendirilmektedir (Caja et al., 2016; Mellor, 2016; Yukun et al., 2019; Buller et al., 2020). Hayvan refahı, hayvan sağlığının çok önemli bir parçası olup, hayvan sağlığı da, insan sağlığıyla doğrudan ilişkilidir (Berckmans, 2017). Hayvanlarının refahının değerlendirilmesi, bir dizi nesnel ve öznel ölçütün hesaba katması gerekmektedir. Hayvancılıkta hayvan refahının varlığından söz edilebilmesi için hayvanlara barındırıldıkları ortamlarda temel ihtiyaçlarını karşılayabilecek 5 özgürlük ilkesinin sağlanması gerekmektedir (Hayvanın aç ve susuz bırakılmaması, Barınak ve çevre koşullarının uygun olması, Hastalık, yaralanma, ağrı ve acıdan korunması, Normal davranış sergileyebilmesi, Stres ve korku yaratan durumlardan korunması) (Caja et al., 2016; Mellor, 2016).

Çiftlikte, hayvan refahının iyileştirilmesi, hayvanların büyüme, gelişme, verim ve üretimi doğrudan etkilemektedir (Tuvay ve Ermetin, 2023). Hayvancılık üretimi, davranışları ve refahını değerlendirmek için; hayvan hareket modelleri ile hayvan sağlığı durumunun izlemesi, sığıntıdaki hayvanlar tarafından çıkarılan seslerin veya sergilenen normalden sapan davranışların tespit edilmesi gibi farklı refah göstergelerinin belirlenmesinde teknoloji giderek daha fazla kullanılmaktadır (Bahlo et al., 2019; McLoughlin et al., 2019; Norton et al. 2019). Hayvansal üretim ve refah ölçümleri sağlayan akıllı çiftçilik teknolojilerine; meraların uzaktan değerlendirilmesi, otomatik vücut puanlaması, kuzuları anneleriyle eşleştirme, otlama davranışının kaydedilmesi, doğum tahmini ve izlenmesi gibi teknolojiler örnek gösterilmektedir

(Neethirajan, 2017; Bahlo et al., 2019; McLoughlin et al., 2019; Norton et al. 2019)

Akıllı sensörler, dedektörler, kameralar ve mikrofonlar gibi teknolojik gelişmelerin mevcut olması; üretim, hayvan refahı ve sağlığı ile çevresel koşulların sürekli ve gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolüne dayalı entegre hayvancılık yönetim sistemlerini kolaylaştırmaktadır. Bu yönetim sistemleri; çiftçilerin barınaklarda termal stresi, enfeksiyonu veya hava kalitesi gibi sorunları erken dönemde tespit etmelerini ve derhal harekete geçmelerini sağlamaktadır. Bu hayvancılık üretim sistemleri birbirine bağlı süreçler kümesinden oluşmaktadır. Bu yolla, hayvan büyümesi ve davranışı, ürün verimi, hastalıklar, mikro klima çevreleri ve gaz kirleticilerin emisyonunu içeren hayvan barınaklarının fiziksel koşullarını hayvanın lehine bir bütün olarak ele almaktadır (Neethirajan, 2017; Fournel et al., 2017; Berckmans, 2017; Lovarelli et al., 2020).

Hassas hayvancılık teknolojileri; hayvan sağlığı ve refahı çoğunlukla ölçülebilir fiziksel bileşenlerine (büyüme, vücut kondisyon skoru, beslenme, sağlık, stres ve metabolik hastalıklar) aktiviteye dayalı (kızgınlık ve topallık tespiti), (sıcaklık ve pH sensörleri aracılığıyla buzağılama uyarısı ve rumen fonksiyonu), refah biyobelirteçlerine odaklanmaktadır. Son teknolojik sistemler, hayvanın fizyolojik ve biyolojik, kan basıncı, kalp atış hızı, canlı ağırlık, hormon seviyeleri gibi hayati göstergelerin izlenmesini; beslenme (yem ve su tüketimi) ve hayvan aktivitesinin takibini (yürüme, ayakta durma, uyarılara tepki verme, yatma); ses analiziyle enfekte öksürüklerin tespiti; mastitisin teşhisi (somatik hücre sayımı, elektriksel iletkenlik, pH, CMT) veya 24 saatlik yem tüketimindeki değişikliklerin takibi gibi yetiştirme ortamındaki birçok değişiklikleri kaydedilip daha ayrıntılı bir şekilde ses ve görüntü izlenmesini ve analiz edilmesini kapsamaktadır (Neethirajan et al., 2017; Van Hertem, et al., 2017; Yukun et al., 2019; Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2021). Bu kapsamda, gerçek zamanlı görüntü veya ses analizi teknolojilerinin hayvan yetiştiriciliğinde kullanımının bazı avantajları; hayvana fiziksel temas olmaması, enfeksiyon veya hastalık bulaşma riski taşımaması, ölçüm yaparken hayvan tepkisini etkileme ihtimalinin olmaması, canlı hayvanlardan sensörleri geri almaya gerek kalmaması, tek bir kamera veya mikrofonun çok sayıda hayvanı izleyebilmesi nedeniyle düşük maliyetli olması şeklinde

sıralanabilmektedir (Berckmans, 2017; Morrone et al. 2022; Bao and Xie, 2022).

Her hayvan türünün kendilerine özgü eşsiz özellikleri ve bu özelliklerden kaynaklanan bazı benzersiz ihtiyaçları bulunmaktadır. Hayvanların sağlık, verim, refahı ve davranış durumları, canlıya ait olan ve olmayan genetik ve çevresel birçok nedenden değişiklikler gösterebilmektedir. Hayvanların, türlerine göre hatta bir tür içinde hayvanlar arasında bireysel olarak normal veya normalden sapan davranışlarında da farklılıklar gözlenebilmektedir. Yüksek verimli süt sığırlarında, özellikle laktasyon döngüsünün belirli dönemlerinde (peripartum, erken laktasyon) yoğunlaşan ısı stresine, metabolik sorunlara (ketozis, asidoz, hipokalsemi), enfeksiyöz hastalıklara (mastitis, metritis), vücut kondisyon skorunda değişim (vücut yağ ve kaslarındaki enerji rezervlerinin değerlendirilmesi) ve çok faktörlü hastalıklara (topallık) karşı duyarlılık gözlenmektedir. Hayvan refahı açısından tüm bu akıllı teknolojilerin, potansiyel olarak çok farklı türlerden ve çeşitli kaynaklardan gelen verilerle birlikte, hayvanların mental, duygu durumu, doğal davranışları, psikolojisi ve dayanıklılığı gibi diğer refahın unsurlarını da içeren anlamlı göstergelerin entegre edildiği akıllı sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Caja et al., 2016; Yukun et al., 2019; Buller et al., 2020; Zin et al., 202; Astill et al., 2020; Zhang et al., 2024).

Yapay zeka destekli çözümler ise, bireysel hayvanları tanımlama ve davranışlarını izleme konusunda doğruluğu ve verimliliği artırmak yoluyla, hayvan refahını koruma ve çiftlik yönetimini iyileştirme önemli fayda sağlamaktadır (Zhang et al., 2024). Örneğin; modern teknolojilerin kullanımına dayalı çiftlik robotları (otomatik sağım sistemleri, yemleme istasyonları, mobil vagon besleyiciler), hava kalitesini, sağlık ve refahı ve ekipman operasyonunu izleyen otonom, akıllı piliç robotları, süt sığırcılığında biyobelirteç, faaliyet ve sistem tabanlı izleme refah teknolojileri kullanan sistemler; hayvan refahının değerli göstergelerine dayanmaktadır (Caja et al., 2016; Van Hertem et al., 2017; Yukun et al., 2019; Astill et al., 2020; Buller et al., 2020).

Hayvan refahı ve sağlığı için önemli kazanımların sağladığı bu teknolojilerin bir üst versiyonların da, etkili refah göstergelerinin geliştirilmesinde hayvanların normal veya normalden sapan durumlarının kaydedildiğinde

müdahale mekanizmalarının belirlenmesini sağlayacak, farklı sensörlerden gelen verilerin diğer veri kaynaklarıyla birleştirilerek birlikte yorumlanmasını destekleyecek veri derlemeleri ve uygun algoritmalarla güncellenmektedir (Caja et al., 2016; Astill et al., 2020; Buller et al., 2020). Örneğin doğal bir davranış olan östrus ve östrus süresi; bireyler, ırklar, üretim seviyesine göre, beslenme ve çevresel faktörlere farklılıklar olmakta ve bu durumda östrus yönetimi zorlaştırmaktadır (Caja et al., 2016). Örneğin; ineğin kulağına yerleştirilen bir sensör aracılığıyla östrus davranışı gösteren ineklerin öğleden sonra ve akşam tespit edilenlerin ertesi sabah tohumlanması için yetiştiriciye bilgi aktarması gibi. Örneğin; süt ineği refahının etkili bir göstergesinin, kalp ve solunum hızları (laktasyon dönemi), süt verimi, ısı yükünü değerlendiren ortam parametreleri, çevresel ve davranışsal veriler gibi bireyselleştirilmiş verileri bir araya getirildiği modeller gibi (Caja et al., 2016; Norton et al. 2019; Lovarelli et al., 2020; Buller et al., 2020).

Hayvan refahı çalışmalarında ağırlıklı olarak, barınma koşulları, aydınlatma, havalandırma, yerleşim sıklığı, saldırganlık gibi davranışlar, yaralanma ve hastalık önleme gibi çevresel faktörlerin iyileştirilerek hayvanlar için olumsuz deneyimleri azaltmaya odaklanılmaktadır (Mcloughlin et al., 2019; Norton et al. 2019; Bao and Xie, 2022; Zhang et al., 2024). Hayvan refahını değerlendirmek zor olup, iyi refahının hayvanı yalnızca olumsuz deneyimlerden korunmayı değil, aynı zamanda olumlu deneyimleri artırmayı da gerektiği kabul edilmektedir (Mcloughlin et al., 2019). Akıllı hayvancılık teknolojileri, çiftlik hayvanı refahının izlenmesini ve nihayetinde iyileştirilmesini yeni, dinamik ve yenilikçi yollarla ileriye taşıma potansiyeli de sunmaktadır (Norton et al. 2019; Buller et al., 2020; Zhang et al., 2024). Örneğin; Sensörler ve kameralarla donatılmış yapay zekâ destekli robotik teknoloji kullanan otomatik temizlik ve dezenfeksiyon sistemleri, hayvancılık ve kümes hayvanı tesislerinde hijyen standartlarının yükseltilmesi, hastalıkların önlenmesine katkıda bulunması, hayvan sağlığını iyileştirilmesi için vazgeçilmez hale gelmektedir (Zhang et al., 2024).

SONUÇ

Mevcut hassas hayvancılık uygulamaları, çiftlik hayvanlarının temelde hayvan sağlığı ve verimliliği üzerine odaklanmanın yanı sıra; hayvan refahının izlenmesi ve değerlendirilmesi için daha bütünsel, kanıta dayalı bir yaklaşım için önemli kazanımlar sağlamaktadır. Gelecekte, akıllı veya robotik hayvancılık teknolojilerinin bu doğrultuda daha da geliştikçe Hayvancılık 5.0 uygulamaları, hayvan yetiştiriciliği sistemlerinin hayvan refahı sorunlarını belirleme ve ölçme kapasitesinin geleceği, veri oluşturma ve bu verilerin hayvan sağlığı ve refahı lehine erken uyarı ve müdahale için etkili mekanizmalara dönüşeceği, karmaşık sorunlara çözüm üretme, iş birliği ve etkili refah izlemesini kalite güvence mekanizmalarına ve değer zincirine entegre etmede öncü bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Astill, J., Dara, R. A., Fraser, E. D. G., Roberts, B., & Sharif, S. (2020). Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105291. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105291>
- Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H., & Trotter, M. (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.007>
- Bao, J., & Xie, Q. (2022). Artificial intelligence in animal farming: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129956. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129956>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Buller, H., Blokhuis, H., Lokhorst, K., Silberberg, M., & Veissier, I. (2020). Animal welfare management in a digital world. *Animals*, 10(10), 1779. <https://doi.org/10.3390/ani10101779>
- Cabrera, V. E., Barrientos-Blanco, J. A., Delgado, H., & Fadul-Pacheco, L. (2020). Symposium review: Real-time continuous decision making using big data on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3856–3866. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17145>
- Caja, G., Castro-Costa, A., & Knight, C. H. (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83, 136–147. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
- Dominiak, K. N., & Kristensen, A. R. (2017). Prioritizing alarms from sensor-based detection models in livestock production: A review on model performance and alarm reducing methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 133, 46–67. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.12.008>
- Fournel, S., Rousseau, A. N., & Laberge, B. (2017). Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosystems Engineering*, 155, 96–123. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>

- Fraser, E. D. G., & Campbell, M. (2019). Agriculture 5.0: Reconciling production with planetary health. *One Earth*, 1(3), 278–280. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.022>
- García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105826. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>
- Işık, A. H., Alakuş, F., & Eskicioğlu, Ö. C. (2021). Hayvancılıkta robotik sistemler ve yapay zekâ uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 370–382. <https://doi.org/10.29130/dubited.1015406>
- Kraft, M., Bernhardt, H., Brunsch, R., Büscher, W., Colangelo, E., Graf, H., Marquering, J., Tapken, H., Toppel, K., Westerkamp, C., et al. (2022). Can livestock farming benefit from Industry 4.0 technology? Evidence from recent study. *Applied Sciences*, 12(24), 12844. <https://doi.org/10.3390/app122412844>
- Küçükoflaz, M., Aydin, E., Zaman, C. İ., & Aydin, A. K. (2025). Current status of farm livestock in the world. In V. G. García-Rubio, M. A. Alvi, Z. Saeed, & M. Ahmad (Eds.), *Foundations of Holistic Healing: Complementary and Alternative Medicine* (pp. 238–246). Unique Scientific Publishers. <https://doi.org/10.47278/book.HH/2025.199>
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Guarino, M. (2020). A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? *Journal of Cleaner Production*, 262, 121409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>
- Mahmud, M. S., Zahid, A., Das, A. K., Muzammil, M., & Khan, M. U. (2021). A systematic literature review on deep learning applications for precision cattle farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106313>
- McLoughlin, M. P., Stewart, R., & McElligott, A. G. (2019). Automated bioacoustics: Methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. *Journal of the Royal Society Interface*, 16, 20190225. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0225>

- Mellor, D. J. (2016). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living”. *Animals*, 6(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ani6030021>
- Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F. & Cappai, M.G. (2022). Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. *Sensors*, 22(12), 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>
- Neethirajan, S., Tuteja, S. K., Huang, S. T., & Kelton, D. (2017). Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. *Biosensors and Bioelectronics*, 98, 398-407.
- Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V., & Berckmans D. (2019). Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer. *Animal*, 13(12), 3009–3017. doi:10.1017/S175173111900199X
- Pinna, D., Sara, G., Todde, G., Atzori, A.S., Artizzu, V., Lucio Davide Spano, L.D., & Maria Caria, M. (2023). Advancements in combining electronic animal identification and augmented reality technologies in digital livestock farming. *Scientific Reports*, 13, 18282. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45772-2>
- Qazi, S., Khawaja B.A., & Farooq, Q.U. (2022). IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends, in *IEEE Access*, 10, 21219-21235. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152544.
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, 10, 207; doi:10.3390/agronomy10020207
- Schillings, J., Bennett, R. & Rose, D.C. (2021). Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm Animal Welfare. *Frontiers Animal Science*, 2, 639678. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678>
- Tuvay, N.H., & Ermetin, O. (2023). Yapay zekâ teknolojilerinin hayvancılıkta kullanımı. *Hayvansal Üretim*, 64(1), 48-58. <https://doi.org/10.29185/hayuretim.1034328>
- Van Hertem, T., Rooijackers, L., Berckmans, D., Peña Fernández, A., Norton, T., Berckmans, D., & Vranken, E. (2017). Appropriate data visualisation

- is key to Precision Livestock Farming acceptance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.003>.
- Vázquez-López, A., Barrasa-Rioja, M. & Marey-Perez, M. (2021). ICT in Rural Areas from the Perspective of Dairy Farming: A Systematic Review. *Future Internet*, 13, 99. <https://doi.org/10.3390/fi13040099>
- Yıldız, B.İ. (2024). Intelligent Approaches in Livestock Farming: Using Deep Learning Models. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(11), 1959-1967, <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i11.1959-1967.6861>
- Yukun, S., Pengju, H., Yujie, W., Ziqi, C., Yang, L., Baisheng, D., Runze, L., a Yonggen, Z. (2019). Automatic monitoring system for individual dairy cows based on a deep learning framework that provides identification via body parts and estimation of body condition score. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10140 – 10151. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16164>
- Zhang, L., Guo, W., Lv, C., Guo, M., Yang, M., Fu, Q., & Liu, X. (2024). Advancements in artificial intelligence technology for improving animal welfare: Current applications and research progress. *Animal Research and One Health*, 2(1), 93–109. <https://doi.org/10.1002/aro2.44>
- Zhang, M., Wang, X., Feng, H., Huang, Q., Xiao, X., & Zhang, X. (2021). Wearable Internet of Things enabled precision livestock farming in smart farms: A review of technical solutions for precise perception, biocompatibility, and sustainability monitoring. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127712>
- Zhang, X., Kang, X., Feng, N., & Gang, L. (2020). Automatic recognition of dairy cow mastitis from thermal images by a deep learning detector. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105754, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105754>
- Zin, T. T., Pwint, M. Z., Seint, P. T., Thant, S., Misawa, S., Sumi, K., & Yoshida, K. (2020). Automatic cow location tracking system using ear tag visual analysis. *Sensors*, 20(12), 3564. <https://doi.org/10.3390/s20123564>

Wang, Y., Li, Q., Chu, M., Kang, X., & Liu, G. (2023). Application of infrared thermography and machine learning techniques in cattle health assessments: A review. *Biosystems Engineering*, 230, 361–387. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.002>

BÖLÜM 10

SÜT SIĞIRCILIĞINDA MASTİTİSİN MİKROBİYOLOJİK TANISI VE ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ

Prof. Dr. Osman Yaşar TEL¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139176>

¹ Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Mikrobiyoloji A.B.D. Şanlıurfa, Türkiye. oyasar@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7848-3899

GİRİŞ

Mastitis, süt sığırcılığının en yaygın ve maliyetli hastalığı olarak kabul edilmekte olup, süt endüstrisinde ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Tommasoni ve ark., 2023; Dahesa ve ark., 2023; Rowe ve ark., 2024). Hastalık, memenin iltihaplanması ile karakterize olup, klinik ve subklinik formda karşımıza çıkmaktadır. Subklinik mastitis, klinik formundan 15 ila 40 kat daha yaygındır, sıklıkla gözden kaçır; ancak süt veriminde düşüşe, süt kalitesinde bozulmaya ve klinik mastitis gelişme riskinin artmasına neden olur (Tommasoni et al., 2023; Algharib et al., 2024).

Güncel çalışmalar, 2050 yılına kadar küresel gıda talebinin mevcut seviyelere kıyasla önemli oranında artış göstereceğine işaret etmektedir Süt sektörü de bu artıştan önemli ölçüde etkilenecek; dolayısıyla, sektörün sürdürülebilir bir şekilde bu talebi karşılayabilmesi, verimlilik kayıplarına yol açan mastitis gibi hastalıkların kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır (FAO, 2017). Mastitisin oluşturduğu ekonomik kayıplar yalnızca tedavi maliyetleriyle sınırlı değildir. Hastalığın doğrudan maliyetleri (ilaç, veteriner hizmeti) ile birlikte, dolaylı maliyetleri, özellikle süt verimindeki azalma, antibiyotik kalıntıları nedeniyle sütün atılması, süt kalitesinin düşmesi, çiftlik gelirini ciddi şekilde etkilemektedir (Tommasoni et al., 2023; Dahesa et al., 2023; Ramuada et al., 2024). Klinik mastitisin çiftliğe verdiği tahmini maliyet inek başına dünya genelinde, 61 EUR ile 97 EUR arasında değişmektedir; bu konuda ülkeler arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, Hollanda’da klinik ve subklinik mastitis nedeniyle oluşan kayıplar, inek başına yıllık 17 EUR ile 198 EUR arasında değişmektedir (Hogeveen ve ark., 2011). Bu maliyetlerin yanı sıra, mastitis, antibiyotik kullanımının başlıca nedenidir ve bu da artan antimikrobiyal direnç (AMR) sorununu da beraberinde getirmektedir (Tommasoni ve ark., 2023; Dahesa ve ark., 2023; Rowe ve ark., 2024).

Mastitisin etkenleri, bulaşıcı (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*) ve çevresel (*Escherichia coli*, *Streptococcus uberis*, *Klebsiella spp.*) patojenler olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Tommasoni ve ark., 2023; Dahesa ve ark., 2023; Algharib ve ark., 2024). Hastalığın etiolojisinde farklı etkenlerin olması, hastalığın kontrolü ve tedavisini karmaşık hale getirmektedir. Bu bağlamda, mastitisin etiyojisi ile tedavisi arasındaki en

kritik adım, doğru ve zamanında tanıdır (Daheza ve ark., 2023; Ashraf ve Imran, 2018). Günümüzde, gereksiz antibiyotik kullanımını azaltmak ve AMR'yi kontrol altına almak için, tedavinin yalnızca gerçekten enfekte olan ineklere veya memeye uygulandığı tedavi protokolleri giderek daha fazla benimsenmektedir (Tommasoni ve ark., 2023; Rowe ve ark., 2024). Bu tür stratejilerin başarısı, enfeksiyonun varlığını ve etkenini hızlı, güvenilir ve uygun maliyetli bir şekilde tespit edebilmeye doğrudan bağlıdır.

Geleneksel tanı yöntemleri, klinik muayene, California Mastitis Testi (CMT), elektriksel iletkenlik (EC) ve somatik hücre sayımı (SCC) gibi tarama testlerini içerir. Ancak bu yöntemler genellikle patojene özgü değildir ve sadece enfeksiyonun varlığını işaret eder (Daheza ve ark., 2023; Tommasoni ve ark., 2023; Ramuada ve ark., 2024). Mikrobiyolojik kültür, uzun yıllardır altın standart olarak kabul edilse de, sonuçların alınması zaman alıcıdır ve bazı patojenlerin (özellikle subklinik vakalarda) düşük sayıda olması veya sütteki antibiyotik kalıntıları nedeniyle yanlış negatif sonuçlar verebilmektedir (Granja ve ark., 2021; Daheza ve ark., 2023; Ashraf ve Imran, 2018). Bu sınırlamalar, daha gelişmiş tanı araçlarının geliştirilmesine ve kullanılmasına olanak tanımıştır. Günümüzde, hızlı kültür yöntemleri (örneğin, kromojenik kültür besiyerleri), moleküler yöntemler (PCR, LAMP) ve gelişmekte olan teknolojiler (kızılötesi termografi, biyosensörler) gibi yöntemler, mastitisin hızlı, hassas ve patojen bazında tanısını mümkün kılmaktadır (Granja ve ark., 2021; Tommasoni ve ark., 2023; Algharib ve ark., 2024; Ramuada ve ark., 2024). Bu yeni nesil tanı araçları, sadece tedavi kararlarını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir süt üretimi ve halk sağlığını korumak için kritik bir rol oynamaktadır.

Bu derlemenin amacı, süt sığırcılığında verimliliği ciddi şekilde tehdit eden mastitis hastalığına yönelik mikrobiyolojik kültür özellikle çiftlikte kullanılan hızlı kültür yöntemleri, moleküler tanı yaklaşımları ve mastitis etkenlerinde antimikrobiyal direnç hakkında güncel bilgiler sunmaktır.

Mastitis Etkenleri ve Patojenite Mekanizmaları

Sığır mastitisinin etyolojisinde 150'den fazla mikroorganizma rol oynasa da, küresel olarak bildirilen vakaların %95'inden fazlası yalnızca birkaç ana patojen grubundan kaynaklanmaktadır (Kuang ve ark., 2009). Bu patojenler;

bulaşıcı mikroorganizmalar (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Mycoplasma* spp.) ile çevresel kaynaklı mikroorganizmalar—özellikle *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Streptococcus dysgalactiae*, diğer streptokoklar, koagülaz-negatif stafilokoklar (CoNS) ve *Serratia*, *Pseudomonas*, *Proteus* ile *Pasteurella* gibi Gram-negatif fırsatçı bakteriler, şeklinde iki ana kategoriye ayrılır (Belay ve ark., 2022).

Staphylococcus aureus, süt sığırcılığında mastitisin en önemli etkenlerinden biridir ve klinik ve subklinik mastitisin oluşumunda rol oynar. Özellikle subklinik mastitis (SCM) formunda sıklıkla görülür; bu durum, sürülerde yüksek prevalans, düşük iyileşme oranı, uzun süreli meme enfeksiyonu ve bulaşıcılık ile karakterizedir (Campos ve ark., 2022; Touaitia ve ark., 2025). Ayrıca, bu patojen kronikleşen intramammar enfeksiyonlara yol açar ve antibiyotik tedavisine zayıf yanıt verir, çünkü meme dokusunda intraselüler olarak persiste olur ve biofilm oluşturur (Molineri ve ark., 2021; Campos ve ark., 2022). *Staphylococcus aureus*, meme dokusunda intraselüler olarak yerleşebilme ve yoğun ekstraselüler biyofilm üretme yeteneği sayesinde konak bağışıklık yanıtından ve birçok antibiyotikten kaçabilen, özellikle süt sığırcılığında kontrolü zor bir patojendir. Biyofilm, özellikle *icaA*, *icaD* ve *fnbA* gibi virülans genlerinin ekspresyonuyla düzenlenmekte ve bu yapı, bakterinin meme epitellerine adezyonunu kolaylaştırırken aynı zamanda fagositik hücrelerin etkisini azaltmakta ve antibiyotik etkisini engellemektedir (Molineri ve ark., 2021; Campos ve ark., 2022). Bu mekanizmalar, *S. aureus*'un uzun süreli subklinik enfeksiyonlar oluşturmaya ve tedaviye rağmen meme dokusunda latent enfeksiyonlar oluşturmaya olanak tanır. Ayrıca, bu türün salgıladığı *leukosidin* ve *hemolizin* gibi toksinleri, nötrofil ve makrofaj fonksiyonlarını baskılayarak kronikleşmeye katkıda bulunur (Touaitia ve ark., 2025).

Koagülaz-negatif stafilokoklar (CoNS), mastitisin önemli fırsatçı etkenleri arasında yer almaktadır. İnsan tıbbında genellikle yabancı cisimle ilişkili enfeksiyonlarda ön plana çıkan CoNS, veteriner hekimlikte de giderek artan bir klinik önem kazanmaktadır. Özellikle *Staphylococcus chromogenes*, *S. haemolyticus*, *S. simulans* ve *S. epidermidis* gibi türler, sığır memesinin doğal mikrobiyotasının bir parçası olmalarına rağmen, meme başı kanalından meme dokusuna geçerek subklinik veya klinik mastitis gelişimine neden olabilirler

(Heilmann ve ark., 2019). CoNS'un mastitis açısından önemi, uzun yıllar *Staphylococcus aureus* gibi patojenlerin gölgesinde kalmıştır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, CoNS'un sığır sürülerinde en sık izole edilen mastitis etkeni olduğunu ortaya koymuştur (Heilmann et al., 2019). CoNS'un mastitiste patojenitesi biyofilm oluşturma kapasiteleri sayesinde meme dokusunda kalıcı enfeksiyonlar oluşturabilmesine dayanmaktadır. Biyofilm oluşturma yeteneği, CoNS'un meme dokusunda uzun süreli kolonizasyon yapmasına, tekrarlayan enfeksiyonlara ve tedaviye dirençli hale gelmesine olanak tanır (Becker et al., 2014). Tanı ve tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde, bu bakterilerin biyofilm aracılığıyla kazandığı direnç mekanizmalarının ve tür dağılımının dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilecek kromojenik besiyerleri, mastitis kontrol programlarında etkili bir tanı aracı olarak kullanılabilir.

Çevresel mastitis etkenleri, çevreden (dışkı, toprak, su, yem) bulaşır. Bu hastalığın başlıca etkenleri koliform bakterilerdir. Bunlar arasında *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter spp.*, *Serratia spp.* ve *Citrobacter spp.* yer alır (Abegewi ve ark., 2022; Hogan & Smith, 2012; Tong ve ark., 2025). Bu mikroorganizmalar genellikle sığır gastrointestinal florasının doğal üyesidir ve dışkı yoluyla çevre bulaşır (Leimbach ve ark., 2021; Abegewi ve ark., 2022). Koliform bakteriler, özellikle akut ve şiddetli klinik mastit vakalarının başlıca nedenidir. *E. coli*, koliform mastitis vakalarının %70–80'inden sorumlu olup, en sık izole edilen türdür (Abegewi ve ark., 2022; Hogan ve Smith, 2012).

Koliform mastitis, laktasyonun erken dönemlerinde (özellikle doğum sonrası ilk 2 hafta) ve yüksek süt verimli ineklerde daha yaygındır (Hogan ve Smith, 2012; Tong ve ark., 2025). Ayrıca, nemli, çamurlu ve dışkıyla kirlenmiş ahır, koliform bulaşma riskini 5,9 kat artırır (Abegewi ve ark., 2022). Koliform mastitis genellikle ani başlayıp tüm vücudu etkileyen yüksek ateş, iştahsızlık, memede belirgin şişlik ve kızarıklık, sütün kanlı ya da su gibi olması gibi belirtilerle kendini gösterir. Koliform mastitlerin en sık görülen etkeni *E. coli*'nin hücre duvarındaki "lipopolisakkarit" (LPS) adlı toksin, şiddetli toksik şok tablosuna yol açarak hayvanın birkaç saat içinde ölümüne neden olabilir. Bu yüzden koliform mastitis, klinik mastitlerin en tehlikeli formu olarak kabul edilir (Tong et al. ve ark., 2025; Hogan & Smith, 2012).

Streptococcus türleri, mastitis vakalarının yaklaşık %20–27’sinden sorumlu önemli patojenlerdendir (Zeryehun ve ark., 2013; Mulugeta ve ark., 2013). Bu grupta en dikkat çeken türler, yalnızca meme dokusunda üreyebilen *Streptococcus agalactiae* ve çevresel patojenlerden biri olan *Streptococcus uberis*’dir. *Streptococcus agalactiae*, süt yolunun epitel hücrelerine yapışarak içeri girmesi ve kapsül polisakkaritleri sayesinde bağışıklık sisteminden saklanması nedeniyle kronik, kalıcı enfeksiyonlara yol açar (Kabelitz ve ark., 2021). Kısa süreli olarak meme derisinde, sağımçıların elinde ve sağım makinesi yüzeylerinde canlı kalabilir; bu özelliğiyle sağım sırasında inekten ineğe kolayca bulaşır (AJose ve ark., 2022). *Streptococcus uberis*, genellikle sistemik belirti göstermeyen orta şiddette mastitisle ilişkilidir. Bu türün patojenitesinde laktoferrin-bağlayıcı protein (LBP) önemli rol oynar; bu protein, bakteri yüzeyinde konak hücre kaynaklı laktoferrine bağlanarak demir kazanımı sağlar ve epitel hücre invazyonunu kolaylaştırır (Iqomah ve ark., 2022). Ayrıca *S. uberis*’in oluşturduğu biofilm yapıları, bakterinin antibiyotiklere ve konağın bağışıklık yanıtına karşı direnç geliştirmesinde etkilidir (Kabelitz ve ark., 2021).

MASTITİSİN TANISI

Bakteriyolojik Yöntemler

Kültür, süt örneklerinden mastit patojenlerini izole etmek ve tanımlamak amacıyla kullanılan geleneksel altın standart yöntem olarak kabul edilmektedir (Tommasoni ve ark., 2023; Dahesa ve ark., 2023; Ashraf ve Imran, 2018; Rowe ve ark., 2024). Bu yöntem, memeden aseptik olarak alınan süt örneğinin uygun agar besiyerlerine ekilmesi ve 24–48 saat süreyle inkübasyonu esasına dayanır. Üreme sonrası, kolonilerin, morfolojik özellikleri, hemoliz varlığı ve etkenlerin biyokimyasal testleri (katalaz, koagülaz, O/F testi, eskulin hidrolizi vb.) yapılarak bakteriler identifiye edilir (Astrup ve ark., 2022; Tommasoni ve ark., 2023; Dahesa ve ark., 2023).

Kültür için kullanılan besiyerleri, patojen türüne göre seçilebilir: kanlı agar ve nutrient agar gibi genel besiyerleri yanı sıra, MacConkey agar (Gram-negatif bakteriler için), mannitol salt agar (*Staphylococcus spp.* için), Eosin Metilen Blue (EMB) (*E. coli* için) ve PPLO besiyeri (*Mycoplasma spp.* için) gibi seçici/ayırt edici besiyerleri yaygın olarak kullanılır (Dahesa ve ark., 2023;

Tommasoni ve ark., 2023). Bakteriyolojik kültür, klinik kararların güvenilir şekilde alınması, izole edilen mikroorganizmaların antibiyotik duyarlılık testlerine tabi tutulabilmesi ve kuru dönemde hangi antibiyotiğe devam edileceğinin kolayca seçilmesini sağlar (Dahesa ve ark., 2023; Ashraf & Imran, 2018; Rowe ve ark., 2024; Tommasoni ve ark., 2023). Ancak bu yöntemin dezavantajları da vardır. Öncelikle, subklinik mastitte sütteki patojen sayısı çok düşük olduğunda, örnek alımından önce antibiyotik kullanımı varsa veya yavaş büyüyen türler (*Mycoplasma* türleri) söz konusuysa kültürde üreme olmayabilir ve yanlış negatif sonuçlar elde edilebilir (Ashraf ve Imran, 2018; Dahesa ve ark., 2023; Rowe ve ark., 2024). Ayrıca sonuç almak için en az 24–48 saat gereklidir; bu da tedavi kararlarını geciktirebilmektedir (Tommasoni ve ark., 2023; Ashraf ve Imran, 2018). Karışık kültürlerde daha hızlı büyüyen etken diğer etkenleri baskılayarak üremesini engileyebilir. Bu durumda, özellikle kontamine örneklerde, yalnızca tek bir patojen rapor edilirken diğer patojenler gözden kaçabilir (Astrup ve ark., 2022). Geleneksel biyokimyasal testler, özellikle CONS, *Enterococcus spp.* veya bazı çevresel streptokoklar gibi türleri ayırt etmede yetersiz kalabilmektedir (Astrup ve ark., 2022; Perry, 2017). Ayrıca, veteriner klinikleri veya çiftlikte yapılan kültürlerde standart protokoller ve kalite güvencesi uygulanmadığında tanı hataları bulunabilmektedir. Astrup ve ark. (2022), Danimarka’da yapılan bir çalışmada veteriner kliniklerinin yaptığı kültür tanıların yalnızca %18’inin MALDI-TOF MS ile doğrulandığını bildirmiştir.

Geleneksel kültür yöntemlerinin bu eksik yönleri, çiftlikte kullanılan kültür yöntemlerinin (örneğin kromojenik besiyerleri) ve moleküler tanı yöntemlerinin (PCR, MALDI-TOF MS) gelişmesine zemin hazırlamıştır (Tommasoni ve ark., 2023; Perry, 2017). Ancak bu gelişmelere rağmen, kültür yöntemi hala antibiyotik duyarlılık testi, salgın izleme ve izolat bankası oluşturma gibi amaçlarla vazgeçilmez bir araç olarak kalmaktadır (Astrup ve ark., 2022; Ashraf & Imran, 2018; Rowe ve ark., 2024).

Çiftlikte Kullanılan Hızlı Kültür Besiyerleri

Çiftlikte kullanılan mikrobiyolojik kültür besiyerleri, mastitise neden olan başlıca mikroorganizmaların selektif besiyerleri kullanılarak, tanımlanmasına olanak sağlar (Royster ve ark., 2014). Etkenin tanımlanmasıyla, uygun tedavi

protokollerinin kullanılması ve gereksiz antimikrobiyal kullanımının azaltılması sağlanır (Lago ve ark., 2011). Klinik mastitis için geliştirilmiş tedavi protokollerine ek olarak, mastitise neden olan spesifik patojenlerin hızlı bir şekilde tespit edilmesi, sürüden çıkarılacak ineklerin belirlenmesinde yararlıdır.

Mastitise neden olan etkenlerin oluşturduğu spesifik koloni rengine göre patojenleri tanımlamak için kromojenik besiyerleri geliştirilmiştir. Besiyeri içinde bulunan kromojenik substrat, mikroorganizmaya göre, kolonilerde renk oluşumuna neden olur (Perry ve Frey-dière, 2007). Geleneksel besiyerleriyle karşılaştırıldığında, kromojenik besiyerleri, hızlı bir şekilde patojenleri tanımlayarak, biyokimyasal ve serolojik testlerin kullanımını azaltmaktadır (Perry, 2017). Kromojenik besiyerlerinin en önemli avantajı, mastitisli sütün laboratuvara göndermeden çiftlikte ekim yapıyor olmasıdır; böylece kargo ve laboratuvar sürecinden kaynaklanan 2-3 günlük gecikme ortadan kalkmakta, klinisyen kısa süre içinde etken grubunu bilmekte ve buna yönelik en uygun tedavi kararını hızla verebilmektedir. Kromojenik besiyerlerinin başlıca faydaları arasında 24 saat gibi kısa bir sürede sonuç vermesi, düşük maliyetli olması, laboratuvar bağımlılığını azaltması ve çiftlikte hızlı karar almayı desteklemesi yer alır. Bu özellikleriyle, büyük süt sığırı işletmelerinde mastitis kontrol programlarının etkinliğini artırmada önemli bir rol oynarlar. Çiftlikte kromojenik besiyerleriyle belirlenen tedavi protokolü, antibiyotik tüketimini %50 azaltmakta ve tedavi süresini ortalama 1 gün kısaltmaktadır; bu kazanç, 21 günlük takip süresince klinik iyileşme, yeni enfeksiyon veya tedavi başarısızlığı açısından herhangi bir dezavantaj yaratmamaktadır (Böhme ve ark., 2012).

Çiftlikte kullanılan İlk kuşak besiyeri, üç bölümden oluşmakta ve bu bölümlerdeki üremelere göre değerlendirilmektedir. Kanlı agar üzerinde β -hemoliz ve Gram-pozitif koloniler, MacConkey agarda pembe Gram-negatif koloniler veya her iki plakta da hiç üreme görülmemesi (Raemy ve ark., 2013). Mastitiste etken identifikasyonu için ticari olarak satılan çeşitli besiyerleri bulunmaktadır. Literatürde yüksek tanılal performanslarının açıkça gösterilmiş olması nedeniyle, mastitis patojenlerinin izolasyonu ve identifikasyonunda önemli bir yere sahip olan başlıca ticari besiyerlerinin özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi yararlı olacaktır

3M Petrifilm; hazır, hafif, az yer kaplayan ve 18–48 saat içinde sayım imkânı sunan kromojenik film sistemidir. Toplam bakteri, koliform, *E. coli*, *Enterobacteriaceae* ve maya-küf sayımı için kullanılmaktadır. Ancak mastitis patojen tanısı için özel bir versiyonu bulunmamakta ve bu alandaki kullanımları araştırma düzeyindedir. Petrifilm gıda endüstrisinde hızlı, ekonomik ve standart sayım için kullanılan bir araçtır (Anonymous 1). Minnesota Easy Culture System II (MECS-II), Minnesota Üniversitesi Udder Health Laboratuvarı tarafından geliştirilen, çiftlikte veya klinikte süt örneğinden mastitis etkenini 24 saat içinde Gram pozitif / Gram negatif düzeyinde ayırt etmeye yarayan hazır kültür plaklarıdır. Sistem iki seçenek sunar: Bi-plate: Bir yüzeyde kanlı agar (Gram-pozitif büyüme), diğer yüzeyde MacConkey agar (Gram-negatif büyüme). Tri-plate: Üçüncü yüzeye *enterokok* / *Streptococcus* seçici agar eklenerek *Streptococcus spp.* ve *Enterococcus spp.* için ön tanı olanağı sağlar. MECS-II, mastitis kontrol programlarında tedavi stratejisini uygulamak isteyen süt üreticileri ve veteriner hekimler için hızlı, ucuz ve pratik bir tarama aracıdır; ancak kesin patojen identifikasyonu gereken vakalarda standart laboratuvar onayı zorunludur (Anonymous 2). McCarron ve ark., (2009), 3M Petrifilm ve Minnesota Bi-plate kültür sistemlerinin, ineklerde klinik mastitis tanısında çiftlikte kullanılabilecek hızlı kültür yöntemleri olarak değerlendirilmesi amacıyla, 282 klinik mastitli süt örneğini bu besiyerlerine ekimlerini gerçekleştirmiş ve bu örneklerde bakteriyel üreme durumlarına göre gram-pozitif, gram-negatif veya üreme yok şeklinde sınıflandırma yapmışlardır. Petrifilm sistemi için Aerobic Count (AC) ve Coliform Count (CC) plakları kullanılmıştır. En iyi duyarlılık için CC plakta ≥ 20 koloni ve AC plakta ≥ 5 koloni eşiği kullanılmıştır. Bu eşikle, Petrifilm sisteminin duyarlılığı %93.8, özgüllüğü %70.1 olarak bulunmuşlardır. Minnesota Bi-plate sisteminin duyarlılığında %97.9, özgüllüğü ise %68.6 olarak hesaplanmıştır. Her iki sistem de 24 saat içinde sonuç vermiş, yüksek negatif prediktif değer (NPV > %95) ile dikkat çekmiştir. Sonuç olarak çalışmada, hem 3M Petrifilm hem de Minnesota Bi-plate sistemlerinin çiftlikte hızlı kültür yapımında kullanılabileceğini, gram-pozitif enfeksiyonları doğru şekilde tespit ederek antibiyotik kullanımını azaltmada etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Mansion-de Vries (2014) Petrifilm sistemini çiftlikte 616 süt örneğini kullandığı çalışmada Petrifilm™ sistemi, çiftlik koşullarında gram-pozitif ve gram-negatif

bakterileri hızlı ve güvenilir şekilde ayırt ederek mastitis tedavi kararlarında kullanılabilecek etkili bir tanı yöntemi olduğunu bildirmiştir.

Royster ve ark. (2014), *Journal of Dairy Science*'te yayımladıkları çalışmada, Minnesota Easy Culture System II Bi-Plate ve Tri-Plate adlı iki farklı kültür sisteminin, süt örneklerinde mastit etkeni mikroorganizmaların tanımlanmasındaki tanısallık performansını değerlendirmiştir. Çalışmada, 283 meme ucundan ve kompozit süt örneğinden alınan örnekler, hem standart laboratuvar kültürüne (referans yöntem) hem de Bi-Plate ve Tri-Plate sistemlerine ekilmiştir. Kültürler 18–24 saat inkübe edildikten sonra, iki deneyimsiz okuyucu tarafından bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, Bi-Plate ve Tri-Plate sistemlerinin özgüllüğü, doğruluğu ve negatif prediktif değerleri genellikle %80'in üzerinde bulunmuştur.

ACCUMAST®, ineklerde mastitis nedeniyle oluşan süt enfeksiyonlarını çiftlik ortamında 8 ila 16 saat gibi kısa sürede tanıyabilen, kromojenik renkli koloni oluşumuna dayalı hızlı ve kullanımı kolay bir tanı sistemidir; *E. coli*, *Klebsiella*, *S. aureus* dahil 11 farklı bakteriyi birbirinden ayırt edebilir, örnekleme sonrası renkli koloniler sayesinde mikroskop ya da ek test gerektirmeden sonuç verir, bu özellikleriyle antibiyotik kullanımını azaltarak ekonomik kazanç sağlar (Anonymous 3). Ganda ve arkadaşlarının 2016 yılında yayımladığı çalışmada, çiftlikte kullanılabilen üç bölümlü kromojenik bir plaka sistemi olan Accumast'ın performansı değerlendirilmiştir. Bu sistemde, süt örnekleri üç farklı selektif kromojenik ortama ekilerek 24 saat boyunca 37°C'de inkübe edilmiş, ardından renkli koloni oluşumlarına göre bakteriler tanımlanmıştır. Çalışmada 538 klinik mastitis örneği hem Accumast ile hem de referans laboratuvar yöntemleriyle kültüre alınmış, ayrıca 16S rRNA sekans analizi ile doğrulama yapılmıştır. Accumast sistemi, genel olarak %84,9 doğruluk oranı ile başarılı bulunmuştur.

CHROMagar™ Mastitis, Fransız CHROMagar şirketinin süt sığırcı mastitisine neden olan başlıca mastitis patojenlerini renkli koloni ile ayırt edebilen, yüksek duyarlılık ve özgüllük sunan bir kromojenik besi-yeridir. Gram sınıfı düzeyinde hızlı tedavi kararı için uygundur; kesin tür tayini ve antibiyogram gereken vakalarda standart laboratuvar onayı zorunludur (Anonymous 4). Granja ve arkadaşlarının 2021 yılında yayınladığı çalışmada, klinik ve subklinik mastitisli

ineklerden alınan süt örneklerinde kromojenik biplate ve triplate sistemlerinin (CHROMagar) tanı performansı MALDI-TOF MS ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 1.136 süt örneği değerlendirilmiş, 24 saatlik inkübasyon sonrası renkli koloni oluşumlarına göre bakteriler tanımlanmıştır. Kromojenik besiyerleri özellikle *Strep. uberis*, *E. coli* ve *Klebsiella/Enterobacter* gibi yaygın mastitis etkenlerinin hızlı ve güvenilir şekilde tanımlanmasında etkili olduğunu, renk temelli koloni ayırımı sayesinde az eğitilmiş personel tarafından bile kolayca yorumlanabileceğini, 24 saat içinde sonuç vererek çiftlikte hızlı karar verme süreçlerini destekleyerek, antibiyotik kullanımını azalttığını belirtmişlerdir.

Garcia ve ark. (2021)'ı, CHROMagar™ marka iki kromojenik besiyeri olan Gram-pozitif (GP) ve *Staphylococcus (Staph)* besiyerlerinin, subklinik mastitli ineklerden ve doğum sonrası dönemdeki ineklerden alınan süt örneklerinde Gram-pozitif mastit etkenlerini tanısal performansını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, referans yöntem olarak MALDI-TOF MS kullanılmış. Çalışmaya toplam 1.040 süt örneği dahil edilmiştir: 504 tanesi subklinik mastitli ineklerden alınan kompozit örnekler, 536 tanesi ise doğum sonrası 7 ± 3 gün içindeki ineklerden alınan kompozit veya memeden alınan örneklerdir. Her iki örnek grubunda da, kanlı agara ekimle karşılaştırıldığında, GP ve Staph besiyerlerinde mikrobiyolojik büyüme oranları daha düşük bulunmuştur. Ancak bu besiyerlerin seçici yapısı sayesinde bazı izolatların kanlı agarda üremese de kromojenik ortamlarda üreyebildiğini belirtmişlerdir. Bu durum, kromojenik besiyerlerin seçici yapısının mikroorganizmalar arası rekabeti azaltarak düşük yoğunluklu patojenlerin de tespit edilmesine olanak sağlayabileceğini düşündürmektedir.

MastDecide sistemi, iki tüpten oluşur ve renk değişimiyle sonuç verir. Her iki tüpte renk değişimi Gram-pozitif koklar, Sadece birinci tüpte renk değişimi Koliform bakteriler, hiçbir tüpte renk değişimi yoksa, büyüme yok veya sistemde üremeyen diğer patojenler (örn. maya, *Prototheca*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, laktik asit bakterileri) olarak değerlendirilmektedir. Leimbach ve ark., (2018), yaptıkları çalışmada, MastDecide adlı yeni bir hızlı tüplü test sisteminin klinik mastitli süt örneklerinde mastit etkenlerini Gram-pozitif koklar, koliform bakteriler ve büyüme olmaması/öteki patojenler olarak ayırma başarısını değerlendirmişlerdir. Çalışmaya Almanya'nın kuzeyindeki

11 çiftlikten alınan 251 klinik mastitli meme sütü dahil edilmiştir. Tüm örneklerde hem MastDecide testi hem de geleneksel mikrobiyolojik kültür (referans yöntem) için 100 µL süt kullanılmıştır. Test tüpleri, 37°C’de 12, 14, 16 ve 24 saat inkübe edilmiş; farklı inkübasyon sürelerine göre tanısal performans (duyarlılık, özgüllük, pozitif/negatif prediktif değerler) karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, MastDecide’in kolay kullanımı, güvenilirliği ve 14 saatte sonuç vermesi açısından çiftlikte uygulanabilir bir araç olabileceğini, ancak sürünün patojen profili ve antibiyotik direnç durumunun düzenli laboratuvar takibiyle desteklenmesini önermişlerdir.

Mastatest, mastitis tanısı için çiftlikte kullanılan hızlı, otomatik ve bulut tabanlı bir süt kültür sistemidir; klinik veya subklinik vakalardan alınan çeyrek süt örneği özel bir kartuşa doldurularak Lapbox cihazına yerleştirilir, 24 saat içinde bakteri türü (*E. coli*, *Klebsiella*, *Staph. aureus*, *Strep. uberis*, CNS vb.) ve antibiyotik duyarlılığı (penicillin, cloxacillin, lincomycin+neomycin veya tylosin) e-postayla çiftçiye ve veterinerine raporlanır. Sistem, Yeni Zelanda’da geliştirilmiş, akredite laboratuvar kültürleriyle eşdeğer duyarlılık ve özgüllük gösterdiği belirtilmiştir. Mastatest®, 24 saat içinde süt örneğindeki bakteriyi Gram-pozitif, Gram-negatif/koliform, *Streptococcus uberis*, *Staphylococcus aureus* veya koagülaz-negatif stafilocoklar olarak tanımlar ve üç antibiyotiğe karşı minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIC) değerlerini raporlar (Anonymous 5).

Bates ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, Mastatest® ‘in, hafif ila orta şiddette klinik mastitli ineklerde antibiyotik kullanımını azaltıp azaltmadığını ve bu azaltmanın bakteriyolojik iyileşme, klinik nüks, bireysel somatik hücre sayısı ve süttten elde edilen gelir kaybı gibi sonuçları etkileyip etkilemediğini değerlendirmişlerdir. Çalışma, Yeni Zelanda’da yedi çiftlikte yürütülmüştür. Toplam hafif ila orta klinik mastit tanısı konulan 648 memeden (608 inek), alınan sütler değerlendirilmiş. Araştırmacılar, Mastatest® gibi çiftlikte hızlı patojen ve antibiyotik duyarlılığı testi sağlayan sistemlerin, antibiyotik direncini azaltma, tedavi maliyetlerini düşürme ve sürdürülebilir süt üretimi açısından değerli bir araç olabileceğini, ancak bu yaklaşımın ekonomik faydasının sürünün patojen profilinin (özellikle Gram-negatif oranının) yüksek olmasına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir.

Moleküler Tanı Yaklaşımları

Moleküller teknikler, süt sığırcılığında mastitis tanısında geleneksel yöntemlerin eksiklerini aşmak amacıyla giderek daha yaygın kullanılan, yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip tanı araçlarıdır. Bu teknikler, özellikle kültürde üreme göstermeyen, yavaş büyüyen veya antibiyotik kullanımı nedeniyle baskılanmış mikroorganizmaların saptanmasında kritik avantajlar sağlamaktadır (Ashraf ve Imran, 2018; Duarte ve ark., 2015; Tommasoni ve ark., 2023). Mastitis etkenlerinin hızlı ve doğru tanımlanabilmesi, tedavi kararlarının alınması, antibiyotik kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir süt üretiminin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Gurjar ve ark., 2012; Lago ve Godden, 2018).

Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), mastitis tanısında en yaygın kullanılan moleküler yöntemdir. Klasik PCR, real time PCR (qPCR/rtPCR) ve multiplex PCR gibi farklı çeşitleri mevcuttur. Bu yöntemler, 16S rRNA, 23S rRNA veya tür spesifik gen bölgelerini hedef alarak patojenlerin genomik materyalini süt örneklerinden doğrudan amplifiye etmektedirler (Ashraf ve ark., 2017; Koskinen ve ark., 2009). Real time PCR, aynı anda hem tanı hem de patojen yükünün kantifikasyonunu sağlayarak klinik seyir ve tedavi yanıtı hakkında ipuçları sunabilir (Koskinen ve ark., 2010). Multiplex PCR sistemleri ise tek bir reaksiyonda *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis*, *Escherichia coli*, *Mycoplasma bovis* ve diğer majör mastitis patojenlerini eş zamanlı olarak saptayabilme kapasitesine sahiptir (Ashraf ve ark., 2017; Pradhan ve ark., 2011). Bu sistemlerin ticari kitleri (örneğin Mastit4, PathoProof™) artık çiftliklerde ve laboratuvarlarda rutin olarak kullanılmaktadır (Tommasoni ve ark., 2023; Rowe ve ark., 2024). İlk olarak tek tüpte dört bakteri tespit etmek için geliştirilen multipleks PCR, kısa sürede dokuz veya on bir farklı mastitis patojenini aynı anda saptayacak hale getirildi (Koskinen ve ark., 2009; Ashraf ve ark., 2017).

Moleküler tekniklerin en belirgin avantajlarından biri, kültürde üreme görülmeyen örneklerde bile patojen saptayabilmesidir. Taponen ve ark. (2009), kültürde üreme göstermeyen klinik mastitis örneklerinin %30'undan Real time PCR ile bakteriyel DNA elde edilebildiğini göstermiştir. Benzer şekilde, Keane ve ark. (2013), PCR ile kültür yöntemine kıyasla %20–30 daha fazla pozitif

sonuç alındığını bildirmiştir. Bu durum, özellikle subklinik mastitlerde veya antibiyotik tedavisi sonrası örneklerde tanı duyarlılığını önemli ölçüde artırmaktadır (Cantekin ve ark., 2015; Nyman ve ark., 2016).

Bir diğer gelişmiş moleküler yaklaşım, MALDI-TOF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry) temelli tanıdır. Bu yöntem, izole edilen bakterilerin proteinlerini analiz ederek tür seviyesinde tanı sağlar. MALDI-TOF MS, geleneksel biyokimyasal testlere kıyasla daha yüksek doğruluk, hız ve tekrarlanabilirlik sunar (Astrup ve ark., 2022; Perry, 2017). Astrup ve ark. (2022), veteriner kliniklerinde yapılan fenotipik tanıların yalnızca %18'inin MALDI-TOF ile doğrulandığını göstererek bu yöntemin altın standart potansiyelini vurgulamıştır. Ayrıca MALDI-TOF ile identifiye edilen izolatlar, antibiyotik duyarlılık testi ve epidemiyolojik izleme için de kullanılabilir (Rowe ve ark., 2024).

Yeni nesil moleküler teknikler arasında, izotermal amplifikasyon yöntemleri de dikkat çekmektedir. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP), karmaşık cihazlara gerek duymadan sabit sıcaklıkta hızlı ve görsel olarak okunabilir sonuçlar üretir; bu da onu çiftlikte kullanım için umut verici bir aday kılar (Lee, 2017; Tomita ve ark., 2008).

Moleküler tekniklerin bazı dezavantajları da vardır. Öncelikle, bu yöntemler canlı mikroorganizma yerine DNA/RNA saptadığından, enfeksiyonun aktif olup olmadığını her zaman göstermeyebilir (Gurjar ve ark., 2012). Ayrıca sütteki yağ, kazein ve kalsiyum gibi bileşenler PCR inhibitörleri olarak davranabilir; bu nedenle DNA izolasyon protokolleri optimize edilmelidir (Duarte ve ark., 2015; Pokorska ve ark., 2016). Maliyet ve teknik altyapı gereksinimleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu yöntemlerin yaygınlaşmasını engelleyebilmektedir (Dahesa ve ark., 2023). Bu yöntemlerin, geleneksel kültürle birlikte kullanılması en doğru ve kapsamlı tanıya ulaşılmasını sağlar. Gelecekte, taşınabilir cihazlar, mikroakışkan sistemler ve yapay zekâ destekli analizlerle birlikte moleküler teknikler çiftlik seviyesine kadar indirgenebileceği düşünülmektedir (Duarte ve ark., 2015; Viguier ve ark., 2009).

Mastitis Etkenlerinde Artan Antimikrobiyal Direnç ve Yönetimi

Mastitisin tedavisinde antibiyotikler hala temel bir rol oynamaktadır. Ancak antibiyotik kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, mastitis patojenlerinde antimikrobiyal direnç (AMR) giderek artmakta ve bu durum hem hayvan sağlığı hem de halk sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Naranjo-Lucena & Slowey, 2023; Molineri ve ark., 2021; Miotti ve ark., 2023). Özellikle *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* ve *Escherichia coli* gibi majör mastitis patojenlerinde, β -laktam antibiyotiklerine (özellikle penisilin ve ampisiline), aminoglikozidlere, tetrasiklinlere ve makrolidlere karşı direnç yaygın şekilde bildirilmektedir (Molineri ve ark., 2021; Miotti ve ark., 2023; Naranjo-Lucena & Slowey, 2023).

Staphylococcus aureus, mastitiste en önemli patojenlerden biri olup, özellikle penisiline karşı yüksek oranda direnç göstermektedir. Bu direnç, genellikle *blaZ* geni aracılığıyla kodlanan penisilinaz enzimi ile ilişkilidir. Ayrıca, metisilin dirençli *S. aureus* (MRSA) izolatları, *mecA* veya *mecC* genleriyle kodlanan PBP2a proteini sayesinde tüm β -laktam grubu antibiyotiklere karşı direnç kazanmaktadır (Molineri ve ark., 2021; Naranjo-Lucena & Slowey, 2023). Meta-analizler, *S. aureus* izolatlarında penisilin direncinin Avrupa ülkelerinde %7 ile %75 arasında değiştiğini, Kuzey Amerika ve Asya’da ise bu oranın %40–70’lere kadar yükseldiğini göstermektedir (Molineri ve ark., 2021; Naranjo-Lucena ve Slowey, 2023). Tetrasiklin, eritromisin ve kloramfenikol gibi diğer antibiyotik sınıflarına karşı da önemli oranda direnç saptanmıştır; bu dirençler sırasıyla *tet(K/M)*, *erm(A/B/C)* ve *cat* gibi genlerle ilişkilidir (Frey ve ark., 2013; Molineri ve ark., 2021). *Staphylococcus aureus*, Penisilin direnci bazı ülkelerde %100’e ulaşırken (Mısır, Bangladeş), diğer bölgelerde %20–80 arasında değişmektedir. Metisilin dirençli *S. aureus* (MRSA) küresel olarak değişken oranlarda bildirilmiştir: Çin’de %3,09 iken Mısır’da %100 olarak saptanmıştır (Touaitia ve ark., 2025; Molineri ve ark., 2021).

Streptococcus uberis, çevresel kökenli bir mastitis patojeni olup, özellikle laktasyon döneminde sık görülmektedir. Bu türde de penisilin ve ampisilin gibi β -laktam antibiyotiklere karşı artan direnç rapor edilmektedir. Miotti ve ark. (2023), 1983–2022 yılları arasında yayınlanan 60 çalışmayı içeren bir meta-analizde, *S. uberis* izolatlarında ampisiline karşı direncin küresel olarak %13,4

olduğunu, ancak kıtalara göre önemli farklılıklar olduğunu belirtmiştir. Özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika’da direnç oranları giderek artmakta ve bu artış, antibiyotik kullanım yoğunluğuyla pozitif korelasyon göstermektedir (Miotti et al., 2023). Ayrıca, *S. uberis*’te eritromisin ve tilmikozin gibi makrolidlere karşı *erm(B)* ve *lnu(D)* gibi genler aracılığıyla direnç geliştiği gösterilmiştir (Petinaki ve ark., 2008; Rato ve ark., 2013).

Gram-negatif mastitis patojenleri, özellikle *E. coli* ve *Klebsiella pneumoniae*, genellikle akut ve şiddetli klinik seyir gösterir. Bu türlerde de geniş spektrumlu β -laktamaz (ESBL) üretimi, karbapenemazlar ve kolistin direnci gibi çoklu ilaç dirençli (MDR) fenotipler giderek yaygınlaşmaktadır. *E. coli* izolatlarında *blaCTX-M*, *blaTEM* ve *blaSHV* gibi ESBL genleri sıklıkla saptanmakta; bazı çalışmalarda bu oranlar %10–30 arasında değişmektedir (Ahmed ve Shimamoto, 2011; Locatelli ve ark., 2010; Naranjo-Lucena ve Slowey, 2023). Özellikle endişe verici olan gelişme, kolistin direncinden sorumlu *mcr-I* geninin Çin ve Yunanistan’daki mastitisli ineklerden izole edilen *E. coli* suşlarında tespit edilmesidir (Liu ve ark., 2020; Filioussis ve ark., 2020). Kolistin, insan tıbbında “son çare” antibiyotiklerinden biri olduğundan, bu direncin hayvansal kaynaklardan insanlara geçme riski ciddi halk sağlığı endişesi yaratmaktadır (Naranjo-Lucena ve Slowey, 2023).

Antimikrobiyal direncin yayılmasında yatay gen transferi (plazmidler, transpozonlar, integronlar) önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle koagülaz-negatif stafilokoklar (CNS), mastitisli sütte sık rastlanan fırsatçı patojenler olup, direnç genlerinin rezervuarı olarak işlev görebilmektedir (Pyörälä ve Taponen, 2009; Frey ve ark., 2013).

Antibiyotik kullanımının direnç gelişimini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Kuipers ve ark. (2016), Hollanda’daki süt çiftliklerinde mastitis tedavisi amacıyla kullanılan antibiyotik miktarı ile *S. aureus*’ta penisilin direnci arasında pozitif ilişki olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Nobrega ve ark. (2020), hafif klinik mastit vakalarında kritik öneme sahip antibiyotiklerin genellikle gerekemediğini vurgulayarak, gereksiz antibiyotik kullanımının azaltılması gerektiğini öne sürmüştür.

Mastitis patojenlerinde antimikrobiyal direnç, küresel ölçekte artan ve sürdürülebilir süt üretimini tehdit eden bir sorundur. Bu nedenle, antibiyotik

kullanımının optimize edilmesi için doğru tanı araçlarının kullanılması (örneğin moleküler tanı, hızlı kültür sistemleri) ve alternatif tedavi stratejilerinin (faj terapisi, probiyotikler, aşılar) geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Angelopoulou ve ark., 2019; Godoy Santos, 2019; Zigo ve ark., 2021). Ayrıca, direnç izleme programlarının ve ulusal antimikrobiyal direnç stratejilerinin çiftlik düzeyine kadar indirgenmesi, bu tehdide karşı etkili mücadele için kritik adımlar olduğu bildirilmiştir (WHO, 2017; Naranjo-Lucena & Slowey, 2023).

SONUÇ

Mastitis, süt sığırcılığında önemli ekonomik kayıplara ve antibiyotik kullanımına bağlı halk sağlığı risklerine yol açan en yaygın hastalıktır. Etkenin hızlı, doğru ve güvenilir tanımlanması; hedefe yönelik tedavi, gereksiz antibiyotik kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir süt üretimi için kritik öneme sahiptir. Geleneksel kültür yöntemleri hala altın standart olsa da, yavaş sonuç vermeleri ve düşük patojen yükünde duyarlılığın azalması gibi dezavantajlara sahiptir. Buna karşın, kromojenik besiyerleri, çiftlik koşullarında kısa sürede etkenin belirlenmesine olanak tanıyarak tedavi kararlarını hızlandırmakta ve antibiyotik kullanımını azaltmaktadır. Moleküler tanı teknikleri ise özellikle kültürde üreme olmayan örneklerde tanısal doğruluğu artırarak, kromojenik sistemlerle birlikte kullanıldığında kapsamlı ve güvenilir bir tanı yaklaşımı sunmaktadır.

Artan antimikrobiyal direnç (özellikle MRSA ve ESBL üreten suşlar), mastitis tedavisinde en büyük zorluklardan biridir. Bu nedenle, etkene dayalı tedavi protokollerinin yaygınlaştırılması ve direnç izleme sistemlerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hızlı ve doğru tanı, antibiyotik direncinin azaltılmasına, tedavi başarısının artırılmasına ve süt üretiminde sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abegewi, U. A., Esemu, S. N., Ndip, R. N., & Ndip, L. M. (2022). Prevalence and risk factors of coliform-associated mastitis and antibiotic resistance of coliforms from lactating dairy cows in North West Cameroon. *PLoS ONE*, 17(7).
- Ahmed, A. M., & Shimamoto, T. (2011). Molecular characterization of antimicrobial resistance in gram-negative bacteria isolated from bovine mastitis in Egypt. *Microbiology and Immunology*, 55(5), 318–327.
- Ajose, D., Oluwarinde, B. O., Abolarinwa, T. O., Fri, J., Montso, K. P., Fayemi, O. E., Aremu, A., & Ateba, C. (2022). *Combating bovine mastitis in the dairy sector in an era of antimicrobial resistance: Ethno-veterinary medicinal option as a viable alternative approach*. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
- Algharib, S. A., Dawood, A. S., Huang, L., Guo, A., Zhao, G., Zhou, K., ... & Xie, S. (2024). Basic concepts, recent advances, and future perspectives in the diagnosis of bovine mastitis. *Journal of Veterinary Science*, 25(1), e18.
- Angelopoulou, A., Warda, A. K., Hill, C., & Ross, R. P. (2019). Non-antibiotic microbial solutions for bovine mastitis – live biotherapeutics, bacteriophage, and phage lysins. *Critical Reviews in Microbiology*, 45(5–6), 564–580.
- Anonymous 1. <https://www.neogen.com/en/emeai/brands/petrifilm/> Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Anonymous 2. <https://vdl.umn.edu/laboratories/laboratory-udder-health-luh/minnesota-easyr-culture>. Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Anonymous 3. <https://feraah.com/products/accumast?srsId=AfmBOoqb4O505vLadmLojUDm5q7poIuAn68e2JHRPN97kpBUv6fcxpZ> Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Anonymous 4. <https://www.chromagar.com/en/product/chromagar-mastitis/> Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Anonymous 5. <https://www.mastatest.com/> Erişim Tarihi: 20.11.2025
- Ashraf, A., & Imran, M. (2018). Diagnosis of bovine mastitis: from laboratory to farm. *Tropical Animal Health and Production*, 50(6), 1193–1202.

- Ashraf, A., Imran, M., Yaqub, T., Tayyab, M., Shehzad, W., & Thomson, P. C. (2017). A novel multiplex PCR assay for simultaneous detection of nine clinically significant bacterial pathogens associated with bovine mastitis. *Molecular and Cellular Probes*, 33, 57–64.
- Astrup, L. B., Pedersen, K., & Farre, M. (2022). Microbiological Diagnoses on Clinical Mastitis—Comparison between Diagnoses Made in Veterinary Clinics versus in Laboratory Applying MALDI-TOF MS. *Antibiotics*, 11(2), 271.
- Bates, A., Laven, R., Bork, O., Hay, M., McDowell, J., & Saldias, B. (2020). Selective and deferred treatment of clinical mastitis in seven New Zealand dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine*, 176, 104915.
- Becker, K., Heilmann, C., & Peters, G. (2014). Coagulase-negative staphylococci. *Clinical Microbiology Reviews*, 27(4), 870–926.
- Belay N, Mohammed N, Seyoum W. Bovine Mastitis: Prevalence, Risk Factors, and Bacterial Pathogens Isolated in Lactating Cows in Gamo Zone, Southern Ethiopia. *Vet Med (Auckl)*. 2022 Jan 7;13:9-19.
- Böhme K, Morandi S, Cremonesi P, Fernández No IC, Barros-Velázquez J, Castiglioni B, et al. Characterization of *Staphylococcus aureus* strains isolated from Italian dairy products by MALDI-TOF mass fingerprinting. *Electrophoresis*. 2012;33(15):2355-2364.
- Campos, B., Pickering, A. C., Rocha, L. S., Aguilar, A. P., Fabres-Klein, M. H., Mendes, T. A. O., Fitzgerald, J. R., & Ribon, A. O. B. (2022). Diversity and pathogenesis of *Staphylococcus aureus* from bovine mastitis: current understanding and future perspectives. *BMC Veterinary Research*, 18, 115.
- Cantekin, Z., Ergün, Y., Doğruer, G., Sarıbay, M. K., & Solmaz, H. (2015). Comparison of PCR and culture methods for diagnosis of subclinical mastitis in dairy cattle. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21(2), 277–282.
- Dahesa, G. D., Nigussie, T., Kebede, I. A., & Ahmed, A. D. (2023). Review on current diagnostic methods of bovine mastitis. *Veterinary Medicine Open Journal*, 8(2), 56-65.
- Duarte, C. M., Freitas, P. P., & Bexiga, R. (2015). Technological advances in bovine mastitis diagnosis: an overview. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 27(6), 665–672.

- FAO. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Filioussis, G., Kachrimanidou, M., Christodouloupoulos, G., et al. (2020). Bovine mastitis caused by a multidrug-resistant, mcr-1-positive (colistin-resistant), extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* clone on a Greek dairy farm. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 852–857.
- Frey, Y., Rodríguez, J. P., Thomann, A., Schwendener, S., & Perreten, V. (2013). Genetic characterization of antimicrobial resistance in coagulase-negative staphylococci from bovine mastitis milk. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2247–2257.
- Ganda, E. K., Bisinotto, R. S., Decter, D. H., & Bicalho, R. C. (2016). *Evaluation of an On-Farm Culture System (Accumast) for Fast Identification of Milk Pathogens Associated with Clinical Mastitis in Dairy Cows*. PLoS ONE, 11(5).
- Garcia, B. L. N., Fidelis, C. E., Freu, G., Granja, B. M., & dos Santos, M. V. (2021). *Evaluation of Chromogenic Culture Media for Rapid Identification of Gram-Positive Bacteria Causing Mastitis*. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 662201.
- Godoy Santos, F. (2019). Efficacy of a ruminal bacteriocin against pure and mixed cultures of bovine mastitis pathogens. *Indian Journal of Microbiology*, 59(3), 304–312.
- Granja, B. M., Fidelis, C. E., Garcia, B. L. N., & dos Santos, M. V. (2021). Evaluation of chromogenic culture media for rapid identification of microorganisms isolated from cows with clinical and subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 9115–9129.
- Gurjar, A., Gioia, G., Schukken, Y., Welcome, F., Zadoks, R., & Moroni, P. (2012). Molecular diagnostics applied to mastitis problems on dairy farms. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28(3), 565–576.
- Heilmann, C., Ziebuhr, W., & Becker, K. (2019). Are coagulase-negative staphylococci virulent? *Clinical Microbiology and Infection*, 25(9), 1071–1080.
- Hogan, J., & Smith, K. L. (2012). Managing Environmental Mastitis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28(2), 217–224.

- Hogeveen, H.; Huijps, K.; Lam, T.J.G.M. Economic Aspects of Mastitis: New Developments. *N. Z. Vet. J.*(2011), 59, 16–23
- Iqomah, M., Arisona, A., Prasetya, I. D., Soedarmanto, A., Yanuartono, & Indarjulianto, S. (2022). *Mini review: Lactoferrin-binding protein of Streptococcus in bovine mastitis. BIO Web of Conferences*, 49, 01008.
- Kabelitz, T., Aubry, E., van Vorst, K., Amon, T., & Fulde, M. (2021). *The role of Streptococcus spp. in bovine mastitis. Microorganisms*, 9(7), 1497.
- Keane, O. M., Budd, K. E., Flynn, J., & McCoy, F. (2013). Increased detection of mastitis pathogens by real-time PCR compared to bacterial culture. *Veterinary Record*, 173(11), 268.
- Koskinen MT, Holopainen J, Pyörälä S, Bredbacka P, Pitkälä A, Barkema HW, et al. Analytical specificity and sensitivity of a real-time polymerase chain reaction assay for identification of bovine mastitis pathogens. *J Dairy Sci.*(2009);92(3):952-959.
- Koskinen, M. T., Wellenberg, G. J., Sampimon, O. C., et al. (2010). Field comparison of real-time polymerase chain reaction and bacterial culture for identification of bovine mastitis bacteria. *Journal of Dairy Science*, 93(12), 5707–5715.
- Kuang, Y., Tani, K., Synnott, A.J., Ohshima, K., Higuchi, H., Nagahata, H. and Tanji, Y. (2009) Characterization of bacterial population of raw milk from bovine mastitis by culture-independent PCR-DGGE method. *J Biochem Engg.* 45, 76–81.
- Kuipers, A., Koops, W. J., & Wemmenhove, H. (2016). Antibiotic use in dairy herds in the Netherlands from 2005 to 2012. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1632–1648.
- Lago, A., & Godden, S. M. (2018). Use of rapid culture systems to guide clinical mastitis treatment decisions. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 34(3), 389–412.
- Lee, P. (2017). DNA amplification in the field: move over PCR, here comes LAMP. *Molecular Ecology Resources*, 17(2), 138–141.
- Leimbach, A., et al. (2021). Virulence factors present in mastitis-associated *Escherichia coli*. *Microbial Pathogenesis*, 159, 105130.
- Leimbach S, Krömker V. Laboratory evaluation of a novel rapid tube test system for differentiation of mastitis-causing pathogen groups. *J Dairy Sci.* 2018 Jul;101(7):6357-6365. doi: 10.3168/jds.2017-14198.

- Liu, G., Ali, T., Gao, J., et al. (2020). Co-occurrence of plasmid-mediated colistin resistance (*mcr-1*) and extended-spectrum β -lactamase encoding genes in *Escherichia coli* from bovine mastitic milk in China. *Microbial Drug Resistance*, 26(7), 685–696.
- Locatelli, C., Scaccabarozzi, L., Pisoni, G., & Moroni, P. (2010). CTX-M1 ESBL-producing *Klebsiella pneumoniae subsp. pneumoniae* isolated from cases of bovine mastitis. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(10), 3822–3823.
- Manida, M. (2022). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. *Agriculture & Food E-Newsletter*, 4(2), 27–29.
- Mansion-de Vries EM, Knorr N, Paduch JH, Zinke C, Hoedemaker M, Krömker V. A field study evaluation of Petrifilm™ plates as a 24-h rapid diagnostic test for clinical mastitis on a dairy farm. *Prev Vet Med.* (2014) Mar 1;113(4):620-4.
- McCarron JL, Keefe GP, McKenna SL, Dohoo IR, Poole DE. Laboratory evaluation of 3M Petrifilms and University of Minnesota Bi-plates as potential on-farm tests for clinical mastitis. *J Dairy Sci.* (2009) May;92(5):2297-305.
- Medrano-Galarza C, Ahumada-Beltrán DG, Romero-Zúñiga JJ, Donado-Godoy P. Prevalence, incidence and risk factors of subclinical mastitis in specialized dairies in Colombia. *Agron Mesoam.* (2021);32(2):487-507.
- Miotti, C., Cicotello, J., Suarez Archilla, G., et al. (2023). Antimicrobial resistance of *Streptococcus uberis* isolated from bovine mastitis: Systematic review and meta-analysis. *Research in Veterinary Science*, 164, 105032.
- Molineri, A. I., Camussone, C., Zbrun, M. V., et al. (2021). Antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis: Systematic review and meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 188, 105261.
- Mulugeta Y, Wassie M. Prevalence, risk factors and major bacterial causes of bovine mastitis in and around Wolaita Sodo, Southern Ethiopia. *Afr J Microbiol Res.* (2013);7(48):5400-5405
- Naranjo-Lucena, A., & Slowey, R. (2023). Antimicrobial resistance in bovine mastitis pathogens: A review of genetic determinants and prevalence of

- resistance in European countries. *Journal of Dairy Science*, 106(1), 1–23.
- Nobrega, D. B., Naqvi, S. A., Dufour, S., et al. (2020). Critically important antimicrobials are generally not needed to treat nonsevere clinical mastitis in lactating dairy cows: results from a network meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10585–10603.
- Nyman, A. K., Waller, K. P., Emanuelson, U., & Frössling, J. (2016). Sensitivity and specificity of PCR analysis and bacteriological culture of milk samples for identification of intramammary infections in dairy cows using latent class analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 135, 123–131.
- Perry, J. D. (2017). A decade of development of chromogenic culture media for clinical microbiology in an era of molecular diagnostics. *Clinical Microbiology Reviews*, 30(2), 449–479.
- Perry, J. D., and A. M. Freydière. (2007). The application of chromogenic media in clinical microbiology. *J. Appl. Microbiol.* 103:2046–2055.
- Perry, J. D., Rennison, C., Butterworth, L. A., Hopley, A. L., & Gould, F. K. (2003). *Evaluation of S. aureus ID, a New Chromogenic Agar Medium for Detection of Staphylococcus aureus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 41(12), 5695–5698.
- Petinaki, E., Guérin-Faublée, V., Pichereau, V., Villers, C., Achard, A., Malbrun, B., & Leclercq, R. (2008). Lincomycin resistance gene *lnu(D)* in *Streptococcus uberis*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 52(2), 626–630.
- Pokorska, J., Kułaj, D., Dusza, M., Żychlińska-Buczek, J., & Makulska, J. (2016). New rapid method of DNA isolation from milk somatic cells. *Animal Biotechnology*, 27(2), 113–117.
- Pradhan, P., Gopinath, S. M., Reddy, G. R., Dechamma, H. J., & Suryanarayana, V. V. S. (2011). Detection of major pathogens in bovine sub-clinical mastitis by multiplex PCR directly from milk samples in presence of an internal control. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 1, 209–218.
- Pyörälä, S., & Taponen, S. (2009). Coagulase-negative staphylococci—emerging mastitis pathogens. *Veterinary Microbiology*, 134(1–2), 3–8.

- Raemy A, Meylan M, Casati S, Gaia V, Berchtold B, Boss R, et al. Phenotypic and genotypic identification of streptococci and related bacteria isolated from bovine intramammary infections. *Acta Vet Scand.* (2013);55(1):53.
- Ramuada, M., Tyasi, T. L., Gumedé, L., & Chitura, T. (2024). A practical guide to diagnosing bovine mastitis: a review. *Frontiers in Animal Science*, 5, 1504873.
- Rato, M. G., Bexiga, R., Florindo, C., Cavaco, L. M., Vilela, C. L., & Santos-Sanches, I. (2013). Antimicrobial resistance and molecular epidemiology of streptococci from bovine mastitis. *Veterinary Microbiology*, 161(3–4), 286–294.
- Rowe, S., House, J. K., & Zadoks, R. N. (2024). Milk as diagnostic fluid for udder health management. *Australian Veterinary Journal*, 102(1-2), 5–10.
- Royster, E., Godden, S., Goulart, D., Dahlke, A., Rapnicki, P., & Timmerman, J. (2014). *Evaluation of the Minnesota Easy Culture System II Bi-Plate and Tri-Plate for identification of common mastitis pathogens in milk.* *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3648–3659.
- Taponen, S., Salmikivi, L., Simojoki, H., et al. (2009). Real-time polymerase chain reaction-based identification of bacteria in milk samples from bovine clinical mastitis with no growth in conventional culturing. *Journal of Dairy Science*, 92(6), 2610–2617.
- Tomita, N., Mori, Y., Kanda, H., & Notomi, T. (2008). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) of gene sequences and simple visual detection of products. *Nature Protocols*, 3(5), 877–882.
- Tommasoni, C., Fiore, E., Lisuzzo, A., & Gianesella, M. (2023). Mastitis in Dairy Cattle: On-Farm Diagnostics and Future Perspectives. *Animals*, 13(15), 2538.
- Tong, X., Barkema, H. W., Nobrega, D. B., Xu, C., Han, B., Zhang, C., Yang, J., Li, X., & Gao, J. (2025). Virulence of Bacteria Causing Mastitis in Dairy Cows: A Literature Review. *Microorganisms*, 13(1), 167.
- Touaitia, R., Ibrahim, N. A., Touati, A., & Idres, T. (2025). *Staphylococcus aureus* in Bovine Mastitis: A Narrative Review of Prevalence, Antimicrobial Resistance, and Advances in Detection Strategies. *Antibiotics*, 14(8), 810.

- Viguiet, C., Arora, S., Gilman, N., Welbeck, K., & O’Kennedy, R. (2009). Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends in Biotechnology*, 27(8), 486–493.
- Zeryehun T, Aya T, Bayecha R. Study on prevalence, bacterial pathogens and associated risk factors of bovine mastitis in small holder dairy farms in and around Addis Ababa, Ethiopia. *J Anim Plant Sci.*(2013);23(1):50-55.
- Zigo, F.; Vasil’, M.; Ondrašovičová, S.; Výrostková, J.; Bujok, J.; Pecka-Kielb, E. Maintaining Optimal Mammary Gland Health and Prevention of Mastitis. *Front. Vet. Sci.*(2021), 8, 607311.
- WHO–World Health Organization. Antimicrobial resistance global report on surveillance. WHO Library cataloguing-in-Publication Data. (2014) <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112642>.

BÖLÜM 11

SIĞIRLARDA POSTPARTURİENT HEMOGLOBİNÜRİ

Doç. Dr. Ekin Emre ERKİLİÇ*,¹

Prof. Dr. Semra KAYA²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139209>

¹ Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Kars/Türkiye, ekin_emre_24@hotmail.com. ORCID: 0000-0003-2461-5598

² Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Doğum ve Jinekoloji Anabilim Dalı, Kars, Türkiye; semra-kafkas@hotmail.com; ORCID:0000-0002-7520-6631

GİRİŞ

Postparturient hemoglobinüri (PH) sığırlarda fosfor noksanlığına bağlı olarak nadiren görülen bir problemdir (Abramowicz ve ark., 2021). Hastalık aynı zamanda nutrisyonel hemoglobinüri olarakta adlandırılmaktadır (Chaithra ve ark.,2023). Teşhiste geç kalınması veya tedavi girişiminde bulunulmaması halinde ölümle sonuçlanabilmektedir. Ölümün temel nedeni intravasküler hemoliz ve progresif anemidir. Nadir karşılaşılmamasına rağmen hastalık süreci içerisinde meydana gelen süt veriminde azalma, ölüm ve tedavi masrafları gibi giderler işletmelerin ekonomik kayıpları ile sonuçlanmaktadır (Abramowicz ve ark., 2021; Almubarak ve ark., 2023).

Etiyoloji ve Patogenezi

Postparturient hemoglobinüri yaşlı ve erken laktasyon dönemindeki süt sığırlarında perakut seyreden ve intravasküler hemolizle karakterize olan bir hastalıktır (Constable ve ark., 2017). Gebeliğin son dönemi ve laktasyonun başlangıcı (buzağılamayı takip eden 3-4. hafta) hastalığın ortaya çıkması açısından en riskli dönemdir (Ok ve ark., 2009; Chaudhary ve ark., 2021). Birçok vakaya fosfor noksanlığının eşlik ediyor olması fosfor eksikliğinin hastalığın primer nedeni olarak gösterilmesine yol açmıştır. Erken laktasyon döneminde fosfor noksanlığı, sütle atılımından kaynaklanabilir. Aynı zamanda fosforun rasyonla yetersiz alınması veya rasyonda fazla molibden varlığı nedeniyle fosforun bağırsaklardan emiliminin engellenmesi fosfor noksanlığının diğer nedenleri olarak sıralanabilir (Constable ve ark., 2017).

Pakistan gibi kurak tropikal ülkelerde toprakların fosfor yönünden eksik olduğu bildirilmiştir. Ayrıca yağışlar ve toprağın sürekli kullanımı noksanlığın artmasında etkili olmaktadır. Bu tür topraklarda yetişen bitkilerle uzun süre beslenme de hipofosfatemiyeye yol açabilmektedir (Akhtar ve ark., 2007). Fosfor eksikliği hipokalsemik durumla da ilişkili olabilmektedir. Kalsiyum stresi varlığı sonucu salgılanan paratiroid hormonu fosforun renal ve salya yolu ile atılımını artırmaktadır. Bu durum normal kan fosfor konsantrasyonunun korunmasını sekteye uğratmaktadır. Başka bir ifade ile hipokalsemi, hayvanların hipofosfatemiyeye yatkın olmasına neden olmaktadır (Goff, 2000).

Fosfor seviyesinin düşük olması hipofosfatemili hayvanlarda eritrositlerde glikolizin azalmasına ve ATP ile 2,3-DPG (2,3- Difosfogliserat) sentezinde belirgin düşüşlere neden olmaktadır. ATP, eritrositlerin aktif Na ekstrüzyonu yoluyla hücre hacmini ve şekil değiştirebilme yeteneklerini kontrol edebilmek için gereklidir. Fosfor eksikliği bulunan eritrositlerde ATP konsantrasyonunun yetersiz olması ile beraber ozmotik direnç azalır ve devamında intravasküler hemoliz şekillenir (Deeba ve Bashir, 2019; Grünberg ve ark., 2015). Ortaya çıkan hemoglobin ektravazasyona uğrayabilecek kadar küçük olarak kabul edilen heterodimerlere ayrışır, böbrek gibi dokulara girebilirler ve renal toksisiteye neden olabilirler (Chaudhary ve ark., 2021; Schaer ve ark., 2013). Multifaktöriyel nedenlere bağlı olan bu metabolik hastalığın etiyolojik faktörleri içerisinde aynı zamanda turpgiller ailesi içerisinde yer alan (turp, lahana gibi) bitkilerle beslenme de yer almaktadır (Senthil Kumar ve ark., 2021, Şen ve ark., 2011). Turpgillere ait bitkilerin yapısında bulunan s-metil sistein ruminal mikroflora tarafından dimetil-sülfoksit'e dönüştürülür ve hemoglobiniüriye neden olmaktadır. Dolaşıma geçen dimetil-sülfoksit Hb'in presipitasyonuna yol açmaktadır ve hemolizle sonuçlanmaktadır (Purohit ve ark., 2018).

Bununla beraber selenyum ve bakır eksikliğinin de etiyolojik faktörler içinde olabileceğinden söz edilmiştir (Şen ve ark., 2011). Bakırın süperoksit dismutaz enziminin yapısına katılması bu durumun temelini oluşturmaktadır. Bu enzim eritrositlerin oksidatif strese karşı korunma mekanizmasının bir parçası olarak görev almaktadır (Khan ve Akhtar, 2007).

Yaygınlık ve Risk Faktörleri

Postparturient hemoglobinüri sürülerde sporadik görülen bir hastalıktır (Rahmati ve ark., 2021). Hindistan (Kumar ve ark., 2021), Türkiye (Tümer ve Özdemir, 2017), Irak (Albayati ve Luaibi, 2020) ve Brezilya (Neto ve ark., 2007)'da görülen vakalar bildirilmiştir. Toplam sığır popülasyonu içerisinde hastalığın insidensi çok düşüktür, vaka ölüm oranı ise %10-%50 arasında değişiklik göstermektedir (Macwilliams ve ark., 1982). Özellikle 3-6. laktasyon dönemindeki ve yüksek süt verimine sahip süt sığırları hastalıktan daha çok etkilenmektedirler. Besi sığırlarında ise hastalıkla pek karşılaşmamaktadır (Constable ve ark., 2017).

Gebeliğin geç dönemi ile buzağılamayı takip eden bir aylık süreç sığırlarda hastalık oluşması açısından yüksek riskli dönem olarak bildirilmiştir (Ok ve ark., 2009; Chaudhary ve ark., 2021). PH'nin yaş, laktasyon sayısı, gebeliğin dönemi, postpartum dönem ve etkilenen hayvanların daha önceki hastalık geçmişleri ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır (Mahmood ve ark., 2012). Toprağın fosfor yönünden fakir olması, kuraklık, hayvanların beslenmesinde şeker pancarı yan ürünlerinin kullanılması ve yoncaya dayalı besleme de hastalığa predispozisyon oluşturmaktadır (Constable ve ark., 2017). Hastalık daha çok kış aylarında ortaya çıkma eğilimindedir (Macwilliams ve ark., 1982). Yapılan farklı çalışmalarda hastalığın kış mevsimindeki insidensinin yaz mevsimine göre yüksek olduğu kaydedilmiştir (Soren ve ark., 2014; Khan ve Akhtar, 2007). Aynı zamanda doğum sonrası dönemde hastalığın görülme oranının geç gebelik dönemine göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Soren ve ark., 2014).

Klinik Semptomlar ve Labaratuvar Bulguları

Etkilenen hayvanlarda aniden başlayan bir halsizlik, iştahsızlık ve hemoglobini görür. Süt veriminde ise ciddi bir düşüş tespit edilir. Hafif seyirli vakalarda ise idrarda meydana gelen renk değişikliğine rağmen (hemoglobini) 24 saat içerisinde iştah ve süt veriminde değişiklik olmayabilir (Constable ve ark., 2017). Ruminal hareketlerde zayıflama (Khan ve Akhtar, 2007, Ok ve ark., 2009), beden sıcaklığında orta seviyeli bir artış (Constable ve ark., 2017) taşikardi (Ok ve ark., 2009, Constable ve ark., 2017), konstipasyon (Dhonde ve ark., 2007), dispne, anemi ve dehidrasyon (Khan ve Akhtar, 2007), mukoz membranlarda solukluk, hastalığın ilerlemesi ile beraber sarılık (Ok ve ark., 2009, Şen ve ark., 2011) tespit edilen bulgulardandır. İshal şekillenebileceği de bildirilmiştir (Macwilliams ve ark., 1982).

Ok ve ark., (2009) PH tespit ettikleri sığırlarda serum glikoz, AST, ALT, ALP, Ca, Mg, TP, Alb, Ferritin ve demir bağlama kapasitesinin tedavi öncesi ve sonrasında normal sınırlar içerisinde olduğunu tespit etmişlerdir. Hasta hayvanların P seviyesini sağlıklılara göre düşük bulmuşlardır. Tedavi öncesi eritrosit ve hemoglobin seviyelerinin ise sağlıklılara göre düşük, MCV seviyesinin ise sağlıklılara göre yüksek olduğu kaydedilmiştir. Mahmood ve ark. (2013)'da yaptıkları çalışmada benzer hematolojik değişiklikleri tespit

etmişlerdir. PCV değeri hemoglobini başlangıcından 4-9 gün sonra en düşük seviyesine inmektedir. Kan yaymalarında polikromazi, makrositoz ve anizositoz sıklıkla görülür (Macwilliams ve ark., 1982). Serum fosfat konsantrasyonunda önemli düşüşler tespit edilir. İleri durumlarda 0,4-1,5 mg/dL'ye kadar düştüğü görülebilir (Chaithra ve ark.,2023). Yapılan bir çalışmada PH'li hayvanların serum Ca, P ve Mg seviyelerinin kontrol hayvanlarına göre önemli seviyede azaldığı bildirilmiştir (Almubarak ve ark., 2023). Yapılan başka bir çalışmada serum bakır konsantrasyonunun hastalıktan etkilenen hayvanlarda sağlıklılara göre düşük olduğu, molibden seviyesinin ise sağlıklılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada hasta hayvanlarda eritrosit, hematokrit ve hemoglobin seviyelerinin düşük; üre ve kreatinin seviyelerinin yüksek olduğu da kaydedilmiştir (Akhtar ve ark., 2007).

Tanı ve Ayırıcı Tanı

Anamnez, klinik bulgular, laboratuvar bulguları ve idrar muayene sonuçları tanıda göz önüne alınmalıdır. Akut hemolitik aneminin meydana geldiği dönemde özellikle fosfor seviyesinin değerlendirilmesi gerekir (Purohit ve ark., 2018, Rahmati ve ark., 2021, Chaithra ve ark.,2023). Ayırıcı tanıda; fenolik bazı bileşikleri içeren bitkilerin tüketilmesi sonrasında idrarın kırmızı, kahverengi veya siyah olması, buzağılarda soğuk su kaynaklı hemolitik anemi, babesiosis, leptospirosis, basiller hemoglobinüri, anaplasmosis, piyelonefritis, sistitis, miyoglobinüri, oksitetrasiklinin yüksek i.v dozları gibi ilaç kaynaklı durumlar ve bakır zehirlenmesi göz önüne alınması gereken hastalıklardır (Chaithra ve ark.,2023, Şen ve ark., 2011, Constable ve ark., 2017). Tanının doğrulanmasında laboratuvar muayenelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Rahmati ve ark., 2021).

Nekropsi Bulguları

Postparturient hemoglobinüri sonucu ölen hayvanların nekropsisinde vücudun tümüne yayılmış bir sarılık görülür. Karaciğerde büyüme tespit edilir ve belirgin dejenerasyon vardır. İdrar kesesi içerisinde koyu renkli idrar bulunur (Constable ve ark., 2017). Deri altında ödem, solgun ve gevşek olarak tespit edilebilen kalp kası bulguları da nekropsi esnasında tespit edilebilir (Şen ve ark., 2011). Böbrek ve dalakta büyüme, epikardium ve endokardiumda peteşiyel kanamaların görülebileceği ifade edilmiştir (Akhtar ve ark., 2008).

Tedavi ve Korunma

Vakanın ciddiyetine bağlı olarak kan transfüzyonunun yapılması gerekebilir. Yapılan uygulamayı takip eden 2. günün sonunda mukozalardaki solgunluğun ve hayvandaki halsizlik durumunun devam etmesi halinde tekrar bir kan transfüzyonu gerekir (Şen ve ark., 2011). Devam eden süreçte sıvı takviyesi yapılmalıdır. Bu hem destekleyici olarak hem de hemoglobinüri kaynaklı nefroz riskini en aza indirmek için önerilmektedir (Constable ve ark., 2017). Tedavi amacıyla 60 gr sodyum asit fosfat kullanılır. Distile su içerisinde (300 mL) çözdürülen bu miktar hayvanlara i.v yolla uygulanır. Devamında ise 12 saat aralıklarla 3 kez aynı miktarın s.c olarak verilmesi gerekmektedir. Parenteral uygulamalara ek olarak günlük aynı miktarda oral yolla verilmelidir (Şen ve ark., 2011). Rasyona di kalsiyum fosfat ilavesi (5 gün) yapılmalıdır (Şen ve ark., 2011; Chaithra ve ark., 2023). Eritrositlerdeki oksidatif stresi azaltmak için tedavide askorbik asit kullanılabilir (Soren ve ark., 2014). Demir takviyesinin de tedavi sürecine olumlu katkılar sağlayacağı bildirilmiştir (Şen ve ark., 2011). Bakır eksikliğine bağlı meydana gelen bir durumdan şüpheleniliyorsa bakır glisinat uygulaması önerilmektedir. Turpgiller ailesi içerisinde yer alan bitkilerle besleme söz konusu ise bunlar ile beslenme derhal kesilmeli ve hayvanlar kaliteli kuru ot ile beslenmeye devam edilmelidir (Chaithra ve ark., 2023). Tedavi protokollerinde B kompleks (Tümer ve Özdemir 2017), A, E ve D vitaminlerine (Soren ve ark., 2014) yer verildiği de bildirilmiştir.

Hastalıktan korunmada yüksek risk dönemleri içerisinde (gebeliğin sonu ve laktasyonun başı) hayvan için gerekli fosfor miktarının yeterince sağlanması gerekmektedir (Purohit ve ark., 2018). Bakır eksikliği olan bölgelerde bakır takviyesinin yapılmasının hastalığın görülme sıklığının azalmasına katkı sunacağı bildirilmektedir (Constable ve ark., 2017).

Sonuç olarak postparturient hemoglobinüri sporadik olarak karşılaşılan fakat ölüme yol açabilmesi nedeniyle ekonomik kayıplar meydana getiren bir hastalıktır. Etiyolojisi tam olarak ortaya konulamasa da fosfor noksanlığı temel neden olarak bildirilmiştir. Riskli dönemlerde alınacak önlemler hastalıktan korunmaya katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Abramowicz B, Kurek Ł, Chałabis-Mazurek A, Lutnicki K: Changes to blood parameters after postparturient hemoglobinuria in 11 Holstein-Friesian cows. *Vet Clin Pathol*, 2022; 51, 101-106.
- Akhtar MZ, Khan A, Khan MZ, Muhammad G: Haemato-biochemical Aspects of parturient haemoglobinuria in buffalo. *Turk J Vet Anim Sci*, 2007; 31, 119-123.
- Akhtar MZ, Khan A, Khan MZ, Javard A: Patho-biochemical changes in buffaloes (*bubalus bubalis*) suffering from parturient haemoglobinuria. *Pak Vet J*, 2008; 28, 139-143.
- Albayati OASS, Luaibi OK: Study of hemato-biochemical changes in post-parturient hemoglobinurea in Iraqi local cows. *Plant Arc*, 2020; 20, 584-588.
- Almubarak M, Marzok M, Almubarak A, Elhawari S, El-Khodery S, Elgioushy M: Investigation on post-parturient hemoglobinuria (PPH) in buffalo: A case Control Study. *J Adv Vet Res*, 2023; 23, 1650-1656.
- Chaithra SN, Arya M, Aakanksha: Diagnosis and treatment of post parturient hemoglobinuria. *Just Agric*, 2023; 3 (7):15.
- Chaudhary M, Kumar A, Sood NK: Acute kidney injury and cystitis associated with post parturient haemoglobinuria in bovines: 6 cases. *Vet Pract*, 2021; 21, 76-78.
- Constable PD, Hinchcliff KW, Done SH, Grünberg W: Diseases of the Hemolymphatic and Immune Systems, İçinde: *Veterinary Medicine : A textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs, and Goats*. 11th ed, 2017; 716-844.
- Deeba F, Bashir ASQQ: Investigations on copper and phosphorus deficiency associated post-parturient hemoglobinuria in dairy animals and clinical management with antioxidants. *J Entomol Zool Stud*, 2019; 7 (4): 426-431.
- Dhonde SN, Digraskar SU, Chavan VV : Phosphorus Deficiency Haemoglobinuria in Buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Intas Polivet*, 2007; 8, 382-386.
- Goff, JP: Pathology of calcium and phosphorous disorders. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 2000; 16, 319-337.

- Grünberg W, Mol JA, Teske E: Red blood cell phosphate concentration and osmotic resistance during dietary phosphate depletion in dairy cows. *J Vet Intern Med*, 2015; 29, 395-399.
- Khan A, Akhtar MZ: Hemato-biochemical and clinico-epidemiological aspects of parturient hemoglobinuria in Nili-Ravi buffaloes. *Ital J Anim Sci*, 2007; 6,953-956.
- Kumar GS, Kumar TA, Dharmaceelan S: Postparturient hemoglobinuria and its medical management in a Buffalo. *Indian J Vet Med*, 2021; 41, 89-90.
- Macwilliams PS, Searcy GP, Bellamy JE: Bovine Postparturient Hemoglobinuria: A Review of the Literature. *Can Vet J*, 1982; 23, 309-312.
- Mahmood A, MA Khan, M Younus, MA Khan, HJ Iqbal and A Ahad: Case-control study of parturient hemoglobinuria in buffaloes. *Pak Vet J*, 2012; 32, 375-377.
- Mahmood A, Khan MA, Younus M, Khan MA, Ahad A, Ahmad M, Iqbal HJ, Fatima Z, Anees M: Haematological and biochemical risk factors of parturient haemoglobinuria in buffaloes. *J Anim Plant Sci*, 2013; 23, 364-368.
- Neto JDB, Oliveira CMC, Duarte MD, Albernaz TT, de oliveira Junior CA, Riet-Correa G, Riet-Correa F: Phosphorus deficiency in buffaloes in the state of Pará, Northern Brazil. *Ital J Anim Sci*, 2007; 6, 971-973.
- Ok M, Güzelbektas H, Şen İ, Coşkun A, Öztürk Sağkan A: Post-parturient haemoglobinuria in three dairy cows. A case report. *Bull Vet Inst Pulawy*, 2009; 53, 421-423.
- Purohit GN, Gocher T, Chaudhaey AM, Arora AS, Gaur M, Saraswat CS: Perspectives of parturient hemoglobinuria (pph) in buffaloes. *Int J Develop Res*, 2018; 8, 23513-23520.
- Rahmati S, Aziz A, Tawfeeq AM, Zabuli J, Nazhat SA: Clinical features of post-parturient hemoglobinuriain dairy cattle and buffaloes: A review. *Open J Vet Med*, 2021; 11, 143-155.
- Schaer DJ, Buehler PW, Alayash AI, Belcher JD and Vercellotti GM: Haemolysis and free haemoglobin revisited: exploring haemoglobin and hemin scavengers as a novel class of therapeutic proteins. *Blood*, 2013; 121, 1276-1284.

- Senthil Kumar G, Arul Kumar T, Dharmaceelan S: Postparturient hemoglobinuria and its medical management in a Buffalo. Indian J Vet Med, 2021; 41, 89-90.
- Soren S, Srivastava M, Kachhawa JP, Soren P, Kumari A, Sharma A: Clinical studies on postparturient haemoglobinuria in buffaloes. Intas Polivet, 2014; 15, 518-522.
- Şen İ, Güzelbekteş H, Coşkun A: Sığırlarda Postparturient Hemoglobinüri. Türkiye Klinikleri J Vet Sci, 2011; 2(2):158-161.
- Tümer KC, Özdemir H: Bir süt ineğinde puerperal hemoglobinüri olgusu ve tedavisi. Erciyes Üniv Vet Fak Derg, 2017; 14, 225-230.

BÖLÜM 12

SIĞIRLARDA NEOSPOROSİS

Doç. Dr. Burçak ASLAN ÇELİK¹

Prof. Dr. Özgür Yaşar ÇELİK²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18139227>

¹Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Siirt, Türkiye.
burcakaslan@siirt.edu.tr orcid id:0000-0002-0130-970X

²Siirt Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü, Siirt, Türkiye.
oyc@siirt.edu.tr orcid id:0000-0001-6365-2688

GİRİŞ

Genellikle sığır ve köpeklerde nadiren de koyun, keçi, geyik ve atlarda klinik enfeksiyonlara sebep olan neosporosis son yıllarda sığırların en önemli abort nedenlerinden biri olarak gösterilmektedir (Sevgili & Altaş, 2006).

Tanım ve Etiyoloji

Neospora caninum, ilk olarak 1984 yılında Norveç'te köpeklerde tanımlanan ve 1988 yılına kadar sıklıkla *Toxoplasma gondii* ile karıştırılan, Apicomplexa Şubesi, Toxoplasmatidae Ailesine ait zorunlu hücre içi bir protozoon parazittir (Anonim, 2025; Dubey, 1992, 1999; Dubey, 2003; Ortega-Mora & Abuelo, 2025; Sevgili & Altaş, 2006). Sığırlar, bu parazitin en önemli ara konakçılarından biridir. Köpekler, kurtlar, çakallar ve dingo gibi kanideler ise hem ara konak hem de dışkılarıyla ookist saçan tek bilinen son konakçılardır (Anonim, 2025; Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003; Kul, 2012).

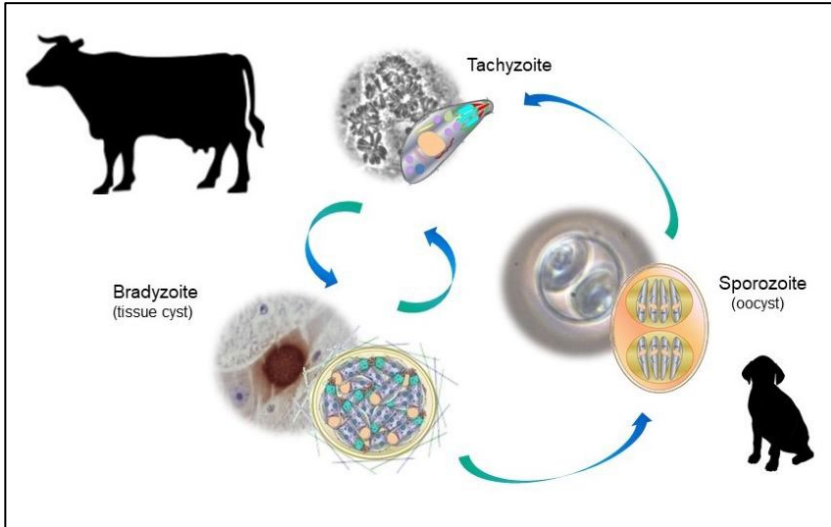
Morfoloji

Sığırlarda, akut enfeksiyon fazından, doku hasarından ve sistemik yayılımdan sorumlu olan taşzoit ve yavaş çoğalan, sinir ve kas dokularında kistler içerisinde yerleşerek parazitin konak bağışıklık yanıtından kaçmasını sağlayan bradizoitler olmak üzere iki enfektif evre bulunur (Ortega-Mora & Abuelo, 2025). Taşzoitler tek tek ya da kümeler hâlinde bulunur. Bireysel taşzoitler yuvarlaktan hilal biçimine kadar değişen şekillerde olup yaklaşık $7\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ boyutlarındadır. Sığırlarda taşzoitler birçok organ ve dokuda saptanabilir. Sığırlarda bradizoit içeren Neospora doku kistleri beyin ve omurilikte, muhtemelen diğer bazı lokalizasyonlarda da bulunur. Bu kistler yaklaşık $100\ \mu\text{m}$ çapa ulaşabilir ve kist duvarı $1\text{--}4\ \mu\text{m}$ kalınlığındadır. Doku kistleri içerisinde yer alan bradizoitler genellikle ince yapılıdır ve yaklaşık $7\ \mu\text{m} \times 1,5\ \mu\text{m}$ boyutlarındadır (Anonim, 2025)

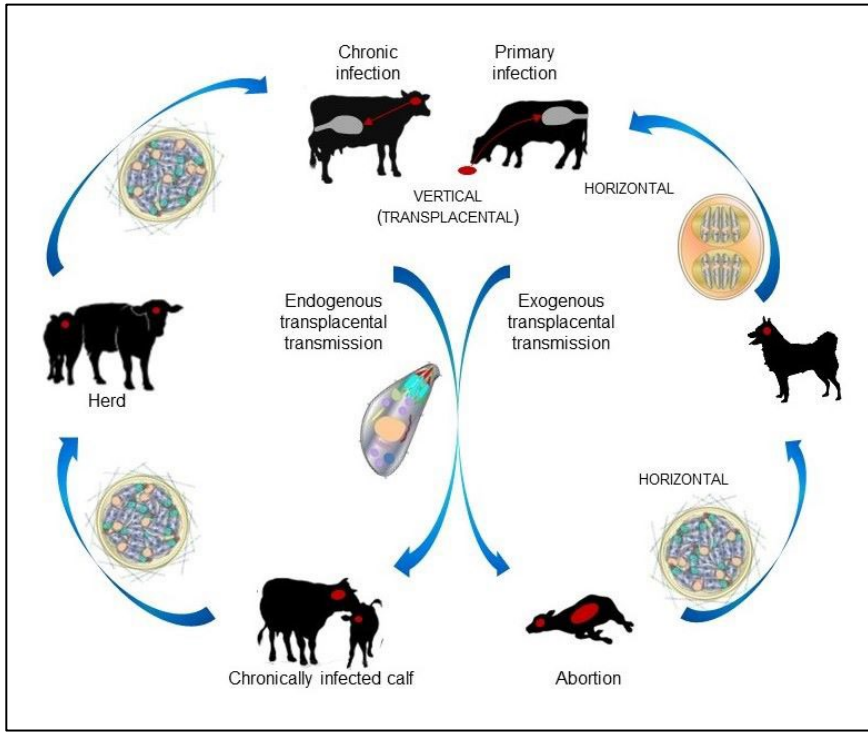
Yaşam Döngüsü

N. caninum'un yaşam döngüsü karmaşıktır ve genellikle kanideler olan kesin konaklar ile başta sığırlar olmak üzere çoğunlukla otçul hayvanlardan oluşan ara konakları içerir (Anonim, 2005; Arnold, 2025). Köpekler ve kurtlar gibi

kanidelerde parazit, bağırsak epiteli içinde eşeyli çoğalma geçirir ve bunun sonucunda sporlanmamış ookistler oluşur. Bu ookistler dışkı ile çevreye atılır. Bu ookistlerin enfektif hale gelebilmesi için çevrede belirli bir süre sporlanmaları gerekir. Genellikle bir otçul olan ara konak sporlanmış bir ookisti aldığı anda, sporozoitler bağırsak duvarını istila eder ve taşizoitlere dönüşür (Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003; Sevgili & Altaş, 2006). Bu taşizoitler daha sonra eşeysiz olarak çoğalır ve vücuda yayılır. Sonunda bradizoitleri içeren doku kistleri oluştururlar (Anonim, 2005, 2025). Ancak sığırlarda enfeksiyonun yayılmasındaki en baskın yol dikey (vertikal/transplasental) bulaşmadır (Arnold, 2025; Dubey, 2003; Kul, 2012). Vertikal bulaşma, sürüler içerisinde endemik *N. caninum* enfeksiyonlarının sürdürülmesinde önemli bir rol oynar. Kronik olarak enfekte dişiler, paraziti birden fazla gebelik boyunca yavrularına etkin bir şekilde aktarabilmektedir. Bununla birlikte, çalışmalar vertikal bulaşma oranlarının dişinin yaşı arttıkça azalabileceğini göstermektedir. Bu durumun, kısmi koruyucu bağışıklığın gelişmesine bağlı olduğu düşünülmektedir (Arnold, 2025). Yaşam döngüsü, kesin konağın enfekte ara konaklara ait taşizoit veya bradizoit içeren dokuları almasıyla tamamlanır (Anonim, 2025; Minicucci et al., 2025). Kanideler ise enfeksiyonu, enfekte sığır dokularını, plasentayı veya atık fetüsleri yiyerek (bradizoitleri alarak) kazanır (Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003; Kul, 2012).



Şekil 1: *Neospora caninum*'un enfeksiyon aşamaları ve yaşam döngüsü (Ortega-Mora & Abuelo, 2025)



Şekil 2: Sığırlarda *Neospora caninum* enfeksiyonunun bulaşma yolları ve klinik sonuçları (Ortega-Mora & Abuelo, 2025).

Klinik ve Laboratuvar Bulguları

Sığırlarda enfeksiyon çoğunlukla subklinik seyretmekle birlikte, özellikle gebelik döneminde ciddi ekonomik kayıplara neden olabilen abortlarla klinik önem kazanır. *Neospora caninum* enfeksiyonu, özellikle genç hayvanlarda ve gebe dişilerde çeşitli klinik belirtilere yol açabilmektedir. Bu protozoon enfeksiyonunun klinik bulguları ağırlıklı olarak sinir sistemi ve iskelet kaslarını etkilemektedir. Sığırlarda, özellikle iki aydan küçük buzağılarda enfeksiyon önemli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Enfekte buzağılarda nörolojik belirtiler görülebilir, canlı ağırlıkları düşük olabilir ve ayağa kalkmada güçlük yaşayabilirler (Dubey et al., 2007; Minicucci et al., 2025). Klinik bulguların ortaya çıkması haftalar alabilir ve çoğu zaman doğumdan yaklaşık 5-7 hafta sonra belirgin hale gelir (Munnroe, 2004). Klinik olarak etkilenen buzağılarda ataksi, ayağa kalkamama, ön veya arka bacaklarda fleksiyon ya da hiperekstensiyon gibi nörolojik bozukluklar, ekzoftalmi ve düşük doğum

ağırlığı görülür (Anonim, 2025; Çolakoğlu et al., 2015; Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003). Erişkin sığırlarda neosporosisin tek temel klinik belirtisi abortusdur (Anderson et al., 2000; Dubey, 2003; Reichel, 2000; Sevgili & Altaş, 2006). Abortlar genellikle gebeliğin 3. ila 9. ayları arasında, en yoğun olarak ise 5. ve 6. aylarda gözlenir (Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003; Sevgili & Altaş, 2006). Fetüsler uterusda ölebilir, rezorbe olabilir, mumifiye olabilir veya canlı fakat zayıf doğabilir (Arnold, 2025; Dubey, 2003). Makroskopik olarak abort olmuş fetuslar otolitik veya mumifiye görünümde olabilir. Plasentada ise kotiledonlarda ödem ve nekrotik odaklar gibi nonspesifik lezyonlar görülebilir. Mikroskopik lezyonlar inflamatuvar, nonpürülan ve nekrotik karakterdedir. Fetüslerde lezyonlar ağırlıklı olarak merkezi sinir sisteminde (MSS) yoğunlaşmakla birlikte kalp ve karaciğerde de görülebilir ve daha az sıklıkla böbrekler, iskelet kasları ve akciğerler etkilenebilir (Donahoe et al., 2015; Dubey, 1992; Dubey, 2003; Kul, 2012; Ortega-Mora & Abuelo, 2025).

Tanı

Neospora caninum enfeksiyonunun tanısı, genellikle klinik değerlendirme, serolojik testler ve moleküler tekniklerin birlikte kullanılmasını içerir. Sığırlarda abortların multifaktöriyel yapısı nedeniyle tanısız yaklaşımlarda neosporosisin yanı sıra diğer olası etiyolojik nedenler de dikkate alınmalıdır. Tanı çoğu zaman sürü anamnezi, etkilenen hayvanlarda gözlenen klinik bulgular ve pozitif serolojik sonuçlara dayanan ön tanı ile başlar. Enfeksiyonun yaygın nörolojik belirtileri arasında baş eğikliği, nöbetler, koordinasyon bozukluğu ve oküler anomaliler yer alır (Dubey, 2003). Klinik bulguların görülme sıklığı genç hayvanlarda daha yüksektir ve özellikle enfeksiyonun prenatal dönemde anneden alınması durumunda hastalık daha ağır seyredebilir (Anonim, 2025).

N. caninum'a karşı antikorların saptanmasına yönelik çeşitli serolojik yöntemler geliştirilmiştir. İndirekt floresan antikor testi (IFAT), yüksek duyarlılık ve özgüllüğü nedeniyle yaygın olarak altın standart kabul edilmektedir (Anonim, 2025). Buna ek olarak, enzim bağlı immünosorbent testleri (ELISA) umut verici duyarlılık ve özgüllük değerleri göstermiştir (Wang et al., 2020). Bununla birlikte ineğin kan serumunda antikor bakılması (ELISA, IFAT) sadece parazite maruz kalındığını gösterir, o anki abortun kesin

nedeninin neosporosis olduğunu kanıtlamaz (Anonim, 2025; Arnold, 2025; Dubey, 2003; Sevgili & Altaş, 2006; Toolan, 2003). Abort riskinin yönetimine katkı sağlamak amacıyla, özellikle 5–6 aylık buzağlarda düzenli serolojik taramaların yapılması önerilmektedir. Fötal sıvılarda (periton sıvısı, kalp kanı) antikör tespiti de konjenital enfeksiyonun tanısında değerlidir (Dubey & Lindsay, 1996; Dubey, 2003).

Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) gibi moleküler teknikler, doku ve vücut sıvılarında *N. caninum* DNA'sının saptanmasında kullanılmaktadır (Donahoe et al., 2015; Dubey, 2003; Kul, 2012). Tarama amacıyla dışkı örneklerinde PCR testlerinden de yararlanılabilir. Abort yapan fetuslar ile bunlara ait dokuların incelenmesi ve abort yapan ineğe ait plasenta ve serum örneklerinin değerlendirilmesi, tanının doğrulanmasında büyük önem taşır. Birden fazla fetusun histolojik olarak incelenmesi, etkenin saptanma olasılığını artırarak tanıya ek katkı sağlayabilir (Ghalimi et al., 2014)

Ayırıcı Tanı

Protozoer kaynaklı abortlarda *Toxoplasma gondii* ve *Sarcocystis cruzi* dikkate alınması gereken başlıca etkenlerdir; ancak sığırlarda *T. gondii* kaynaklı doğal abort nadirdir. İmmunohistokimyasal yöntemler ve PCR ile DNA tespiti ayırıcı tanıda kullanılabilir. *Sarcocystis cruzi* damar endotelinde şizontları meydana getirirken, *Neospora caninum*'a çoğunlukla ekstravasküler dokuda rastlanır. (Dubey, 2003; Sevgili & Altaş, 2006; Dumanlı & Aktaş, 2015). Ayrıca, BVDV (Bovine Viral Diarrhea Virus), IBR (Infectious Bovine Rhinotracheitis) gibi viral etkenler ile *Brucella*, *Leptospira*, *Salmonella* ve *Listeria* gibi bakteriyel abort nedenleri de ayırıcı tanıda dışlanmalıdır. (Çolakoglu et al., 2015; Kul, 2012; Sevgili & Altaş, 2006)

Tedavi

Sığırlarda *Neospora caninum* enfeksiyonuna karşı etkin ve pratik bir tedavi protokolü bulunmamaktadır (Arnold, 2025; Çolakoglu et al., 2015; Dubey, 1992; Dubey, 2003). Bazı çalışmalarda toltrazurilin buzağlarda klinik şiddeti azaltabileceği bildirilmiştir ancak radikal bir çözüm değildir (Anonim, 2025; Çolakoglu et al., 2015; Dubey, 2003). Tedavide temel yaklaşım, enfeksiyonun

ortadan kaldırılmasından ziyade klinik belirtilerin hafifletilmesi ve hastalığın yönetimine yöneliktir (Anonim, 2025).

Prognoz

Enfekte sığırlar için prognoz, parazitin vücuttan atılamaması nedeniyle kötüdür. Enfeksiyon ömür boyu kalıcıdır (Arnold, 2025). Bir kez abort yapan ineğin sonraki gebeliklerinde tekrar abort yapma riski, seronegatif ineklere göre belirgin şekilde yüksektir (Çolakoğlu et al., 2015; Dubey, 2003). Klinik belirtilerle doğan nörolojik hasarlı buzağların prognozu oldukça düşüktür. Bu yavrular genellikle yaşayamaz veya gelişme geriliği gösterirler (Çolakoğlu et al., 2015; Dubey & Lindsay, 1996).

Koruma

İşletme düzeyinde yapılan risk değerlendirmeleri, sürülerin neosporozise yatkınlığını artıran faktörlerin belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu değerlendirmeler; işletme yönetim uygulamaları, biyogüvenlik önlemleri ve parazitin horizontal bulaşmasını kolaylaştırabilecek kanidelerle temas gibi unsurları kapsar. Sığırların köpeklerle temasının önlenmesi gibi etkili risk yönetimi stratejileri, sürülerde neosporozis insidansını belirgin şekilde azaltabilmektedir (Anonim, 2005). Koruma stratejileri enfeksiyonun sürüye girişini önlemeye ve mevcut sürülerde yayılımı durdurmaya odaklanır. Kanidelerin atık fetüs, plasenta veya çiğ et yemesine izin verilmemeli, sığır yemleri ve su kaynakları köpek dışkıyla kontaminasyona karşı korunmalıdır (Anonim, 2025; Arnold, 2025; Dubey, 2003; Sevgili & Altaş, 2006). Sürü yönetiminde seropozitif hayvanların ve bunların yavrularının sürüden ayıklanması dikey bulaşmayı azaltır (Arnold, 2025; Dubey, 2003). Değerli genetiği korumak için seropozitif ineklerden alınan embriyoların seronegatif taşıyıcılara transfer edilmesi önerilebilir (Arnold, 2025; Dubey, 2003). Sığırlarda neosporozisin yönetiminde yaygın olarak uygulanan stratejilerden biri, enfekte hayvanların belirlenerek sürüden çıkarılmasını esas alan “testetve ayıklama” yöntemidir. Bu yaklaşım enfeksiyonun prevalansını etkili bir şekilde azaltabilmekle birlikte, özellikle sürünün önemli bir kısmının enfekte olduğu durumlarda ciddi ekonomik yük oluşturabilmektedir (Murcia-Mono et al., 2024).

Ekonomik etki

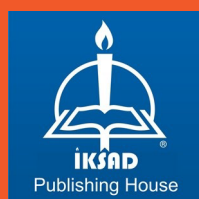
N. caninum enfeksiyonlarının ekonomik sonuçları oldukça önemlidir. Üreme sistemi hastalıkları süt sığırcılığı sektöründe ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bu durum süt veriminde azalma, sürüden çıkarma oranlarının artması ve doğum oranlarının düşmesiyle sonuçlanmaktadır (Minicucci et al., 2025; Thurmond & Hietala, 1996). Dünya sığırlarının yaklaşık %42'sinin neosporosis nedeniyle abort yaptığı ve ekonomik kayıpların milyonlarca dolar olduğu bildirilmektedir (Sevgili & Altaş, 2006).

KAYNAKLAR

- Anderson, M., Andrianarivo, A., & Conrad, P. (2000). Neosporosis in cattle. *Animal reproduction science*, 60, 417–431.
- Anonim. (2005). *Bovine Neosporosis: The Development of Evidence-Based Control Systems*. University of Liverpool. Retrieved 15.09.2025 from <https://www.nal.usda.gov/research-tools/food-safety-research-projects/bovine-neosporosis-development-evidence-based-control>
- Anonim. (2025). *Neospora caninum*. University of Saskatchewan. Retrieved 10.10.2025 from <https://wcv.m.usask.ca/learnaboutparasites/parasites/neospora-caninum.php>
- Arnold, M. (2025). *Neospora caninum Abortion in Cattle*. University of Kentucky. Retrieved 15.11.2025 from <https://afs.mgcafe.uky.edu/dairy/neospora-caninum-abortion-cattle>
- Çolakoğlu, H. E., Polat, İ. M., & Küplülü, Ş. (2015). İneklerde Neospora caninum Enfeksiyonu: Reprodüktif Performansa Etkisi, Korunma ve Kontrol Yöntemleri. *Animal Health Production and Hygiene*, 4(1), 368–372.
- Donahoe, S. L., Lindsay, S. A., Krockenberger, M., Phalen, D., & Šlapeta, J. (2015). A review of neosporosis and pathologic findings of Neospora caninum infection in wildlife. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 4(2), 216–238.
- Dubey, J. (1992). A review of Neospora caninum and Neospora-like infections in animals. *The journal of protozoology research*, 2(2), 40–52.
- Dubey, J. (1999). Neosporosis in cattle: biology and economic impact. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 214(8), 1160–1163.
- Dubey, J., & Lindsay, D. (1996). A review of Neospora caninum and neosporosis. *Veterinary parasitology*, 67(1-2), 1–59.
- Dubey, J., Schares, G., & Ortega-Mora, L. (2007). Epidemiology and control of neosporosis and Neospora caninum. *Clinical microbiology reviews*, 20(2), 323–367.
- Dubey, J. P. (2003). Review of Neospora caninum and neosporosis in animals. *The Korean journal of parasitology*, 41(1), 1.

- Dumanlı, N., & Aktaş, M. (2015). Neospora. In N. Dumanlı & K. Karaer (Eds.), *Veteriner protozooloji* (Vol. 2, pp. 142–150). Medisan Yayınevi Ltd Şti.
- Ghalmi, F., China, B., Jenkins, M., Azzag, N., & Losson, B. (2014). Comparison of different serological methods to detect antibodies specific to *Neospora caninum* in bovine and canine sera. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 26(1), 136–140.
- Kul, O. (2012). Epidemiology and Pathogenesis of *Neospora caninum* infection: Special emphasis to Neosporosis status of Turkey. *Animal Health, Production and Hygiene*, 1(2), 70–79.
- Minicucci, L. A., Carstensen, M., Cornicelli, L., Elmore, S. A., Dubey, J. P., Wolf, P., Hildebrand, E., & Tunseth, D. (2025). Risk perception and transmission potential of *Neospora caninum* at the wildlife and livestock interface in Minnesota. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1552390.
- Munnroe, A. (2004). *Neospora caninum* infection in cattle. NSW Agriculture. Retrieved 25.10.2025 from https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/160436/neospora.pdf
- Murcia-Mono, C. A., Falla-Tapias, S., Cabrera-Ospina, B. K., Vargas-Domínguez, J. O., & Burgos-Paz, W. O. (2024). Epidemiology of bovine neosporosis in relation to socioeconomic, demographic, and transmissibility factors in Dual-Purpose Production Systems in Colombia. *Epidemiologia*, 5(4), 828–837.
- Ortega-Mora, L., & Abuelo, A. (2025). *Neosporosis in Cattle*. MSD Veterinary Manual. Retrieved 22.11.2025 from <https://www.msdsvetmanual.com/reproductive-system/neosporosis-in-cattle/neosporosis-in-cattle>
- Reichel, M. (2000). *Neospora caninum* infections in Australia and New Zealand. *Australian Veterinary Journal*, 78(4), 258–261.
- Sevgili, M., & Altaş, M. G. (2006). Sığırlarda neosporosis. *F.Ü. Sağlık Bil. Dergisi*, 20(1), 79–83.
- Thurmond, M. C., & Hietala, S. K. (1996). Culling associated with *Neospora caninum* infection in dairy cows. *American journal of veterinary research*, 57(11), 1559–1562.
- Toolan, D. P. (2003). *Neospora caninum* abortion in cattle-a clinical perspective. *Irish Veterinary Journal*, 56(8), 404–410.

Wang, X., Song, X., Yang, J., Liu, Q., & Liu, J. (2020). Characterization of *Neospora caninum* microneme protein 26 and its potential use as a diagnostic marker for neosporosis in cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 357.



ISBN: 978-625-378-547-5