



TÜRKİYE VE DÜNYADA HAYVAN BESLEME VE BESLENME HASTALIKLARI

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Serdar GÜLER

yaz
yayınları

**Türkiye ve Dünyada
Hayvan Besleme ve Beslenme
Hastalıkları**

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Serdar GÜLER

yaz
yayınları

2025

Türkiye ve Dünyada Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Serdar GÜLER

© YAZ Yayınları

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

E_ISBN 978-625-8678-66-6

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

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

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Kanatlı Yetiştiriciliğinde Prebiyotik Kullanımı ve Etki Mekanizmaları	1
<i>Atakan BUNDUR, Özge SIZMAZ</i>	
Kanatlı Yetiştiriciliğinde Probiyotik Kullanımı ve Etki Mekanizmaları	17
<i>Atakan BUNDUR, Özge SIZMAZ</i>	
Kanatlı Hayvanların Beslenmesinde Postbiyotik Uygulamaları	30
<i>Metehan SANCAR, Ali ÇALIK</i>	
Ruminant Hayvanların Beslenmesinde Probiyotik Uygulamaları	45
<i>Metehan SANCAR, Mehmet Ali BAL</i>	
Mikro/Nanoplastikler ve Balıklar Üzerine Etkileri	59
<i>Dilek AKSU ELMALI, Mehmet ELMALI</i>	

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

KANATLI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE PREBİYOTİK KULLANIMI VE ETKİ MEKANİZMALARI

Atakan BUNDUR¹

Özge SIZMAZ²

1. GİRİŞ

Kanatlı endüstrisi, artan tüketici talebi ve yasal düzenlemeler nedeniyle, antibiyotiklerin büyümeyi teşvik edici olarak kullanımını sınırlamıştır. Bu durum, bağırsak sağlığını modüle ederek üretim performansını artırabilecek alternatif yem katkı maddelerine olan ilgiyi artırmıştır. Bu alternatifler arasında prebiyotikler, güvenli profilleri ve çok yönlü etki mekanizmaları ile öne çıkmaktadır.

Prebiyotik kavramı ilk olarak Gibson ve Roberfroid (1995) tarafından, "kolondaki bir veya sınırlı sayıdaki bakterinin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyararak konakçı sağlığını iyileştiren, sindirilemeyen gıda bileşenleri" olarak tanımlanmıştır. Ancak, moleküler mikrobiyoloji tekniklerinin (örneğin 16S rRNA dizileme) gelişmesiyle birlikte bu tanım evrilmiştir. 2017 yılında Uluslararası Probiyotik ve Prebiyotik Bilim Derneği (ISAPP), prebiyotikleri "konakçı mikroorganizmalar tarafından seçici olarak kullanılarak sağlık

¹ Araştırma Görevlisi, MSc., Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-3916-2635.

² Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-2027-5074.

yararı sağlayan substratlar" olarak yeniden tanımlamış ve kapsamı genişletmiştir (Gibson ve ark., 2017).

2. PREBİYOTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE SEÇİM KRİTERLERİ

Bir bileşenin kanatlı rasyonlarında prebiyotik olarak kullanılabilmesi için Simmering ve Blaut (2001) tarafından belirlenen şu temel kriterleri karşılaması gerekmektedir:

- I. **Enzimatik Direnç:** Kanatlıların midesindeki asit hidrolizine ve ince bağırsaktaki enzimlere karşı dirençli olmalıdır.
- II. **Gastrointestinal Emilim:** Gastrointestinal sistemin üst kısımlarında emilmemelidir.
- III. **Seçici Fermentasyon:** Bağırsak mikrobiyotasında bulunan yararlı bakteriler (özellikle *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* spp.) tarafından seçici olarak fermente edilebilmelidir.
- IV. **İmmün ve Metabolik Modülasyon:** Konakçının bağışıklık sistemini veya metabolik fonksiyonlarını olumlu yönde etkilemelidir.

Kanatlı beslemede kullanılan başlıca prebiyotikler; Fruktooligosakkaritler (FOS), Mannan-oligosakkaritler (MOS), İnülin, Galaktooligosakkaritler (GOS), İzomalto-oligosakkaritler (IMO) ve Ksilooligosakkaritlerdir (XOS) olarak sıralanabilmektedir (Davani-Davari ve ark., 2019).

2.1. Etki Mekanizmaları

Prebiyotiklerin kanatlı sağlığı üzerindeki etkileri, doğrudan etkiden ziyade, konakçının fizyolojisini ve

mikrobiyotasını dolaylı yoldan modüle etmesiyle gerçekleşmektedir.

2.1.1. Bağırsak Mikrobiyotasının Modülasyonu ve Fermentasyon

Prebiyotikler, çekum ve kolona ulaştıklarında buradaki sakkarolitik bakteriler için substrat görevi görmektedirler. Macfarlane ve ark. (2006), prebiyotiklerin fermentasyonu sonucunda asetat, propiyonat ve bütirat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin (SCFA) üretildiğini belirtmiştir.

- **pH Düşüşü ve Patojen İnhibisyonu:** Üretilen SCFA'lar bağırsak lümen pH'ını düşürmektedir. Ricke ve ark. (2013), asidik ortamın *Salmonella* ve *Campylobacter* gibi aside duyarlı patojenlerin proliferasyonunu baskıladığını rapor etmiştir.
- **Çapraz Beslenme:** Turroni ve ark. (2015), prebiyotiklerin *Bifidobacteria* tarafından parçalanmasıyla ortaya çıkan metabolitlerin, bütirat üreten diğer bakteriler (örn. *Faecalibacterium prausnitzii*) tarafından kullanıldığını ve bunun da genel bağırsak sağlığını iyileştirdiğini göstermiştir.

2.1.2. Patojen Tutunmasının Engellenmesi

Özellikle MOS'lar için geçerli olan bu mekanizma, patojenlerin fiziksel olarak eliminasyonuna dayanmaktadır. Birçok enteropatojen (örn. *Salmonella* ve *E. coli*), bağırsak epiteline tutunmak için mannoza özgü Tip-1 fimbrialarını kullanmaktadır. Spring ve ark. (2000), rasyona eklenen MOS'un bağırsak lümeninde serbest mannoz reseptörü gibi davranarak patojenleri kendisine bağladığını ve bu patojenlerin epitele tutunmadan dışkı ile atıldığını kanıtlamıştır.

2.1.3. İmmünostimülasyon

Prebiyotikler, bağırsak ilişkili lenfoid dokuyu (GALT) uyatarak hem lokal (IgA üretimi) hem de sistemik bağışıklığı güçlendirmektedir. Janardhana ve ark. (2009), prebiyotiklerin kanatlılarda makrofaj aktivitesini artırdığını ve sitokin profilini (IL-6, IL-10) düzenlediğini bildirmiştir. Ayrıca Vos ve ark. (2007), oligosakkarit karışımlarının T-hücresi yanıtını modüle ederek aşılara karşı antikor yanıtını iyileştirebileceğini öne sürmüştür.

2.1.4. Bağırsak Morfolojisi ve Bariyer Bütünlüğü

Bağırsak sağlığı, epitel yüzeyinin bütünlüğü ve emilim kapasitesi ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Awad ve ark. (2009), sinbiyotik ve prebiyotik kullanımının broylerlerde duodenum ve ileum villus yüksekliğini artırdığını, kript derinliğini ise azalttığını tespit etmiştir. Bu durum, villus/kript oranını artırarak besin emilim yüzeyini maksimize etmektedir. Ayrıca Chen ve ark. (2017), prebiyotiklerin sıkı bağlantı (tight junction) proteinleri olan claudin ve occludin ekspresyonunu artırarak sızdıran bağırsak sendromunu önlediğini belirtmiştir.

2.2. Kanatlılarda Yaygın Kullanılan Prebiyotikler ve Spesifik Etkileri

2.2.1. Fruktooligosakkaritler (FOS)

FOS, β -(2-1) bağları ile bağlanmış fruktoz birimlerinden oluşmaktadır. Hindiba, soğan ve sarımsak gibi bitkilerde doğal olarak bulunabilmektedir.

- **Stres Altında Etkinlik:** Bailey ve ark. (1991) tarafından yapılan seminal bir çalışmada, FOS takviyesinin normal koşullarda *Salmonella* kolonizasyonunu az miktarda

etkilediği, ancak stres altındaki broylerlerde patojen kolonizasyonunu önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Bu bulgu, prebiyotiklerin özellikle stresli üretim koşullarında (sıcaklık, nakliye) kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

- **Mineral Emilimi:** Swiatkiewicz ve ark. (2010), FOS'un yumurtacı tavuklarda kalsiyum ve magnezyum emilimini artırarak kemik mineralizasyonunu ve yumurta kabuk kalitesini iyileştirdiğini rapor etmiştir.

2.2.2. Mannan-oligosakkaritler (MOS)

Genellikle *Saccharomyces cerevisiae* mayasının hücre duvarından elde edilmektedir.

- **Patojen Kontrolü:** Baurhoo ve ark. (2007), MOS takviyesinin broylerlerde çekal *E. coli* ve *Salmonella* sayısını azalttığını, aynı zamanda *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* popülasyonlarını artırdığını göstermiştir.
- **İmmün Yanıt:** Sohail ve ark. (2012), MOS'un ısı stresi altındaki broylerlerde kortizol seviyelerini düşürdüğünü ve hümmoral bağışıklığı desteklediğini tespit etmiştir.

2.2.3. İnülin

İnülin, FOS'a göre daha yüksek polimerizasyon derecesine sahip bir fruktandır. Bu yapı, inülinin bağırsağın daha distal kısımlarına (çekum) kadar fermente edilmeden ulaşmasını sağlamaktadır.

- **Mikrobiyota Dengesi:** Rebolé ve ark. (2010), broyler yemlerine inülin ilavesinin çekumdaki *Bifidobacterium* sayısını artırdığını, buna karşılık *Bacteroides* ve *Clostridium* türlerini azalttığını bildirmiştir.

- **Fermantasyon Ürünleri:** Nabizadeh ve ark. (2012), inülinin çekal pH'ı düşürerek SCFA üretimini (özellikle bütirat) artırdığını ve bunun da epitel sağlığını desteklediğini göstermiştir.

2.2.4. Galaktooligosakkaritler (GOS)

Laktozdan enzimatik transgalaktosilasyon yoluyla üretilmektedir.

- **Bifidojenik Etki:** Jung ve ark. (2008), GOS'un broylerlerde güçlü bir bifidojenik etki göstererek bifidobakterlerin sayısını ve bağırsak villus yüksekliğini önemli ölçüde artırdığını rapor etmiştir.
- **Bariyer Fonksiyonu:** Alizadeh ve ark. (2016), GOS takviyesinin bağırsak bariyer fonksiyonunu güçlendirerek lipopolisakkarit (LPS) translokasyonunu engellediğini domuz modellerinde göstermiş, bu sonuçlar kanatlılar için de referans kabul edilmiştir.

2.2.5. İzomalto-oligosakkaritler (IMO)

α -(1-6) ve α -(1-4) bağlarına sahip glikoz oligomerlerinden oluşmaktadır.

- **Performans ve Mikrobiyota:** Thitaram ve ark. (2005), IMO'nun broylerlerde çekal *Bifidobacterium* popülasyonunu artırdığını ve *Salmonella* kolonizasyonunu baskıladığını belirlemiştir. Ayrıca Wang ve ark. (2016), IMO'nun bağışıklık fonksiyonlarını (IgA, IgG) desteklediğini bildirmiştir.

2.2.6. Ksilooligosakkaritler (XOS)

Mısır koçanı ve buğday kepeği gibi lifli materyallerden elde edilmektedir.

- **Isı Stresi ve Bütünlük:** Du ve ark. (2023), XOS içeren sinbiyotiklerin, ısı stresi altındaki broylerlerde serum interlökin-1 β (IL-1 β) seviyelerini düşürdüğünü ve jejunal *Zonula occludens-1* (ZO-1) mRNA ekspresyonunu artırarak bağırsak bariyerini koruduğunu rapor etmiştir.

2.2.7. Sukroz Termal Oligosakkaritleri (STOS)

Sükrozun termal işlemi ile üretilen bir oligosakkarit türüdür.

- **Performans Artışı:** Orban ve ark. (1997), STOS kullanımının broylerlerde canlı ağırlık artışını desteklediğini ve çekal *Bifidobacterium* popülasyonunu zenginleştirdiğini göstermiştir.

2.2.8. Laktuloz

Fruktoz ve galaktozdan oluşan sentetik bir disakkarittir.

- **Amonyak Kontrolü:** Collins ve Gibson (1999), laktulozun kolonda laktik asit bakterilerini artırarak pH'ı düşürdüğünü ve bu sayede proteolitik bakterilerin ürettiği amonyak gibi toksik metabolitleri azalttığını bildirmiştir.

2.2.9. Maltodekstrinler ve Glukooligosakkaritler

Nişasta veya maltozun enzimatik hidrolizi ile elde edilmektedirler.

- **Sinbiyotik Etki:** Bomba ve ark. (2002), maltodekstrinlerin probiyotik mikroorganizmalarla birlikte kullanıldığında, bu bakterilerin bağırsak epiteline tutunmasını ve kolonizasyon başarısını artırdığını tespit etmiştir.
- **Enzimatik Direnç:** Monsan ve Paul (1995), glukooligosakkaritlerin bağırsak enzimlerine direnç göstererek kolona ulaştığını ve burada spesifik fermentasyona uğradığını belirtmiştir.

Tablo 1. Prebiyotiklerin Etki Mekanizmaları

<i>Prebiyotik Türü</i>	<i>Köken / Kaynak</i>	<i>Hedef / Etki Mekanizması</i>	<i>Referans</i>
<i>Fruktooligosakkaritler (FOS)</i>	Hindiba, Soğan, Sarımsak	<i>Salmonella</i> kolonizasyonunu azaltma (özellikle stres altında), mineral emilimini artırma.	Bailey ve ark., 1991
<i>Mannan-oligosakkaritler (MOS)</i>	Maya Hücre Duvarı	Patojen bakterileri (<i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i>) bağlayarak (decoy etkisi) atılmalarını sağlama.	Spring ve ark., 2000
<i>Ksilooligosakkaritler (XOS)</i>	Mısır Koçanı, Buğday Kepeği	Isı stresi altındaki broylerlerde antioksidan kapasiteyi ve bağırsak bariyerini (ZO-1) iyileştirme.	Du ve ark., 2023
<i>Sukroz Termal Oligosakkaritleri (STOS)</i>	Sükrozun Termal İşlemi (Karamel)	Büyüme performansını artırma ve çekal <i>Bifidobacterium</i> popülasyonunu zenginleştirme.	Orban ve ark., 1997
<i>Galaktooligosakkaritler (GOS)</i>	Laktoz (Enzimatik Dönüşüm)	<i>Bifidobacterium</i> türlerini seçici olarak artırma, bağırsak villus yapısını geliştirme.	Jung ve ark., 2008
<i>İnülin</i>	Hindiba Kökü (Chicory)	Bağırsak pH'ını düşürerek SCFA (bütirat) üretimini artırma ve kalsiyum emilimini destekleme.	Rebolé ve ark., 2010
<i>İzomalto-oligosakkaritler (IMO)</i>	Nişasta (Enzimatik)	İmmün modülasyon; anti-inflamatuar sitokinleri (TGF- β)	Pi ve ark., 2022

		artırma.	
Laktuloz (Lactulose)	Sentetik Disakkarit (Laktozdan)	Kolonda laktik asit bakterilerini artırarak amonyak üretimini ve pH'ı düşürme.	Collins ve Gibson, 1999
Soya Oligosakkaritleri (Stakiyoz & Raffinoz)	Soya Fasulyesi	Bağırsak mikroflorasını modüle etme; ancak yüksek dozlarda sindirim güçlüğüne neden olabilir.	Monsan ve Paul, 1995
Maltodekstrinler	Nişasta Hidrolizi	Probiyotiklerle kombinasyonda (sinbiyotik) yararlı bakterilerin tutunmasını artırma.	Bomba ve ark., 2002
Glukooligosakkaritler	Sükroz ve Maltoz	Bağırsak enzimlerine direnç göstererek kolona ulaşma ve spesifik bakteri fermentasyonu.	Monsan ve Paul, 1995

2.3. Kanatlı Sağlığı ve Performansı Üzerindeki Klinik Etkiler

2.3.1. Büyüme Performansı

Prebiyotikler, besinlerin sindirilebilirliğini artırarak Yem Dönüşüm Oranı (FCR)'nı iyileştirebilmektedir. Xu ve ark. (2003), FOS takviyesinin broylerlerde günlük canlı ağırlık artışını ve sindirim enzim aktivitelerini (amilaz, proteaz) artırdığını göstermiştir. Bu etki, artan villus yüzey alanı ve iyileşen bağırsak sağlığı ile ilişkilendirilmiştir.

2.3.2. Kemik Sağlığı

Prebiyotiklerin fermentasyonu sonucu bağırsak pH'ının düşmesi, minerallerin (özellikle Ca, P, Mg) çözünürlüğünü artırmaktadır. Scholz-Ahrens ve ark. (2007), prebiyotiklerin kalsiyum bağlayıcı proteinlerin (Calbindin-D9k) ekspresyonunu artırarak kemik mineralizasyonunu desteklediğini belirtmiştir. Bu özellik, hızlı büyüyen broylerlerde bacak problemlerinin (tibial diskondroplazi vb.) önlenmesinde potansiyel bir strateji sunmaktadır.

2.3.3. Gıda Güvenliği ve Salmonella Kontrolü

Kanatlı ürünleri, insanlarda görülen salmonelloz vakalarının ana kaynaklarından biri olabilmektedir. Fukata ve ark. (1999), FOS ve rekabetçi dışlama kültürlerinin birlikte kullanımının, *Salmonella* kolonizasyonunu tek başına kullanıma göre daha etkili bir şekilde azalttığını göstermiştir. Bu sinbiyotik yaklaşım, gıda güvenliği açısından kritik öneme sahip olmaktadır.

2.4. Isı Stresi Yönetiminde Prebiyotikler

Isı stresi, kanatlılarda oksidatif strese ve bağırsak bariyerinin bozulmasına neden olabilmektedir. Sohail ve ark. (2010), MOS ve probiyotik karışımının, ısı stresi altındaki broylerlerde süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) gibi antioksidan enzim seviyelerini artırdığını rapor etmiştir. Ayrıca Burkholder ve ark. (2008), ısı stresinin bağırsak mikrobiyotasında yararlı bakterileri azalttığını, ancak prebiyotik takviyesinin bu dengesizliği tersine çevirebildiğini göstermiştir.

3. SONUÇ

Prebiyotikler; FOS, MOS, GOS ve inülin gibi çeşitli formlarıyla kanatlı beslemede antibiyotiklere güçlü bir alternatif sunmaktadır. Bu bileşikler, sadece *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* gibi yararlı bakterileri artırmakla kalmaz, aynı zamanda SCFA üretimi, pH modülasyonu, immünostimülasyon ve patojenlerin fiziksel eliminasyonu gibi mekanizmalarla konakçı sağlığını desteklemektedir. Gibson ve Roberfroid (1995) tarafından atılan temeller üzerine inşa edilen güncel çalışmalar (Thitaram ve ark., 2005; Alizadeh ve ark., 2016), prebiyotiklerin özellikle stres koşullarında ve genç hayvanlarda

performansın korunmasında vazgeçilmez bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Alizadeh, A., Akbari, P., Difilippo, E., Schols, H. A., Ulfman, L. H., Schoterman, M. H., Garssen, J., Fink-Gremmels, J., & Braber, S. (2016). The piglet as a model for studying dietary components in infant diets: Effects of galacto-oligosaccharides on intestinal functions. *British Journal of Nutrition*, 115, 605–618.
- Awad, W. A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., & Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. *Poultry Science*, 88, 49-56.
- Bailey, J. S., Blankenship, L. C., & Cox, N. A. (1991). Effect of fructooligosaccharide on *Salmonella* colonization of the chicken intestine. *Poultry Science*, 70, 2433-2438.
- Baurhoo, B., Phillip, L., & Ruiz-Feria, C. A. (2007). Effects of purified lignin and mannan oligosaccharides on intestinal integrity and microbial populations in the ceca and litter of broiler chickens. *Poultry Science*, 86, 1070-1078.
- Bomba, A., Nemcova, R., Gancarcikova, S., Herich, R., Guba, P., & Mudronova, D. (2002). Improvement of the probiotic effect of microorganisms by their combination with maltodextrins, fructo-oligosaccharides and polyunsaturated fatty acids. *British Journal of Nutrition*, 88, 95–99.
- Collins, M. D., & Gibson, G. R. (1999). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: approaches for modulating the microbial ecology of the gut. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(Suppl. 1), 1052S–1057S.

- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8, 92.
- Du, M., Cheng, Y., Chen, Y., Wang, S., Zhao, H., Wen, C., & Zhou, Y. (2023). Dietary supplementation with synbiotics improves growth performance, antioxidant status, immune function, and intestinal barrier function in broilers subjected to cyclic heat stress. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30, 18026–18038.
- Fukata, T., Sasai, K., Miyamoto, T., & Baba, E. (1999). Inhibitory effects of competitive exclusion and fructooligosaccharide, singly and in combination, on *Salmonella* colonization of chicks. *Journal of Food Protection*, 62, 229-233.
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125, 1401–1412.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S., Scott, K. P., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., et al. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14, 491–502.
- Janardhana, V., Broadway, M. M., Bruce, M. P., Lowenthal, J. W., Geier, M. S., Hughes, R. J., & Bean, A. G. (2009).

Prebiotics modulate immune responses in the gut-associated lymphoid tissue of chickens. *Beneficial Microbes*, 1, 37-47.

Jung, S. J., Houde, R., Baurhoo, B., Zhao, X., & Lee, B. H. (2008). Effects of galacto-oligosaccharides and a Bifidobacteria lactis-based probiotic strain on the growth performance and fecal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*, 87, 1694-1699.

Macfarlane, S., Macfarlane, G. T., & Cummings, J. H. (2006). Review article: prebiotics in the gastrointestinal tract. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 24, 701-714.

Monsan, P., & Paul, F. (1995). Oligosaccharide feed additives. In R. J. Wallace & A. Chesson (Eds.), *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding* (pp. 233-245). New York: VCH.

Nabizadeh, A. (2012). The effect of inulin on broiler chicken intestinal microflora and performance. *Annals of Biological Research*, 3, 5503-5509.

Orban, J. I., Patterson, J. A., Sutton, A. L., & Richards, G. N. (1997). Effect of sucrose thermal oligosaccharide caramel, dietary vitamin-mineral level, and brooding temperature on growth and intestinal bacterial populations in broiler chickens. *Poultry Science*, 76, 482-490.

Pi, G., Wang, J., Song, W., Li, Y., & Yang, H. (2022). Effects of isomalto-oligosaccharides and herbal extracts on growth performance, serum biochemical profiles and intestinal bacterial populations in early-weaned piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 106, 671-681.

- Rebolé, A., Ortiz, L. T., Rodríguez, M. L., Alzueta, C., Treviño, J., & Velasco, S. (2010). Effects of inulin and enzyme complex, individually or in combination, on growth performance, intestinal microflora, cecal fermentation characteristics, and jejunal histomorphology in broiler chickens fed a wheat-and barley-based diet. *Poultry Science*, 89, 276-286.
- Ricke, S. C., Dunkley, C. S., & Durant, J. A. (2013). A review on development of novel strategies for controlling *Salmonella* Enteritidis colonization in laying hens: Fiber-based molt diets. *Poultry Science*, 92, 502–525.
- Simmering, R., & Blaut, M. (2001). Pro- and prebiotics: the tasty guardian angels? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55, 19–28.
- Sohail, M. U., Ijaz, A., Yousaf, M. S., Ashraf, K., Zaneb, H., Aleem, M., & Rehman, H. (2010). Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and *Lactobacillus*-based probiotic: dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poultry Science*, 89, 1934–1938.
- Spring, P., Wenk, C., Dawson, K. A., & Newman, K. E. (2000). The effect of dietary mannanoligosaccharides on cecal parameters and the concentrations of enteric bacteria in the ceca of *Salmonella*-challenged broiler chicks. *Poultry Science*, 79, 205-211.
- Thitaram, S. N., Chung, C. H., Day, D. F., Hinton, A., Bailey, J. S., & Siragusa, G. R. (2005). Isomaltooligosaccharide increases cecal *Bifidobacterium* population in young broiler chickens. *Poultry Science*, 84, 998-1003.

- Turroni, F., Özcan, E., Milani, C., Mancabelli, L., Viappiani, A., Van Sinderen, D., Sela, D., & Ventura, M. (2015). Glycan cross-feeding activities between bifidobacteria under in vitro conditions. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1030.
- Wang, X. X., Song, P. X., Wu, H., Xue, J. X., Zhong, X., & Zhang, L. Y. (2016). Effects of graded levels of isomaltooligosaccharides on the performance, immune function and intestinal status of weaned pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29, 250-256.
- Xu, Z. R., Hu, C. H., Xia, M. S., Zhan, X. A., & Wang, M. Q. (2003). Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science*, 82, 1030-1035.

KANATLI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE PROBİYOTİK KULLANIMI VE ETKİ MEKANİZMALARI

Atakan BUNDUR¹

Özge SIZMAZ²

1. GİRİŞ

Kanatlı endüstrisi, artan dünya nüfusunun hayvansal protein ihtiyacını karşılamada stratejik bir öneme sahiptir. Son elli yılda genetik seleksiyon, bakım, yönetim uygulamaları ve besleme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde kanatlı üretiminde verimlilik muazzam seviyelere ulaşmıştır (Abd El-Hack ve ark., 2020). Ancak, endüstriyel üretimin yoğunlaşmasıyla birlikte hayvanlar, yüksek stok yoğunluğu, sıcaklık dalgalanmaları ve patojen baskısı gibi çeşitli stres faktörlerine maruz kalmaktadır. Bu stres faktörleriyle mücadele etmek ve büyümeyi teşvik etmek amacıyla uzun yıllar boyunca subterapötik dozlarda antibiyotik büyüme faktörleri kullanılmıştır (Yousaf ve ark., 2022).

Antibiyotiklerin büyümeyi teşvik edici olarak yaygın kullanımı, 1950'li yıllardan itibaren bakteriyel direnç gelişimi, hayvan ürünlerinde ilaç kalıntısı riski ve çevre kirliliği gibi ciddi endişeleri beraberinde getirmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020).

¹ Araştırma Görevlisi, MSc., Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-3916-2635.

² Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-2027-5074.

İsveç'in 1986'da attığı ilk adımı takiben, Avrupa Birliği 2006 yılında yemlerde antibiyotik kullanımını tamamen yasaklamıştır (Yue ve ark., 2025). Amerika Birleşik Devletleri ve diğer birçok ülke de benzer kısıtlamalara giderek, hayvansal üretimde antibiyotik kullanımını azaltmayı hedefleyen politikalar geliştirmiştir. Bu bağlamda, kanatlı sağlığını korumak, bağırsak bütünlüğünü sağlamak ve üretim performansını sürdürülebilir kılmak adına "probiyotikler" gibi çevre dostu ve güvenli yem katkı maddelerine olan ilgi artmıştır (Patterson ve Burkholder, 2003).

2. PROBIYOTİKLERİN TANIMI, TARİHÇESİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

2.1. Tanım ve Tarihçe

Probiyotik terimi, etimolojik olarak Yunanca "yaşam için" anlamına gelen "pro bios" kelimesinden türetilmiştir (Gibson ve Fuller, 2000). Probiyotiklerin tarihsel kökeni, 20. yüzyılın başlarında Rus bilim insanı ve Nobel ödüllü Elie Metchnikoff'un çalışmalarına dayanmaktadır. Metchnikoff (1908), fermente süt ürünleri tüketen Bulgar köylülerin uzun yaşam sürelerini, yoğurtta bulunan laktik asit bakterilerinin bağırsaktaki zararlı mikroorganizmaları baskılamasına bağlamıştır (Yue ve ark., 2025).

Kavramsal gelişim sürecinde Lilly ve Stillwell (1965), probiyotikleri "diğer mikroorganizmaların gelişimini teşvik eden maddeler" olarak tanımlamıştır. Ancak günümüzde bilimsel çevrelerce ve FAO/WHO (2001) tarafından kabul gören tanıma göre probiyotikler; "yeterli miktarda alındığında konakçının bağırsak mikrobiyal dengesini iyileştirerek sağlık yararı

sağlayan canlı mikroorganizmalar" olarak ifade edilmektedir (Yousaf ve ark., 2022).

2.2. İdeal Bir Probiyotikte Aranılan Özellikler

Kanatlı beslemede kullanılacak bir mikroorganizmanın probiyotik olarak nitelendirilebilmesi için belirli kriterleri karşılaması gerekmektedir. Simmering ve Blaut (2001) tarafından özetlenen ve Patterson ve Burkholder (2003) tarafından atıfta bulunulan kriterlere göre ideal bir probiyotik şunları sağlamalıdır:

- I. **Konakçı Kökenli Olma:** Mümkünse hedef hayvan türünden izole edilmiş olmalıdır.
- II. **Patojen Olmama:** Hayvan veya insan sağlığı için tehdit oluşturmamalı, toksin üretmemelidir.
- III. **Çevresel Direnç:** Yem işleme süreçlerine (pelletleme sıcaklığı vb.) ve depolama koşullarına dayanıklı olmalıdır.
- IV. **Gastrointestinal Canlılık:** Mide asidine ve safra tuzlarına karşı direnç göstererek bağırsağa canlı ulaşabilmelidir.
- V. **Adhezyon Yeteneği:** Bağırsak epiteline veya mukus tabakasına tutunarak kolonize olabilmelidir.
- VI. **Antagonistik Etki:** Patojen mikroorganizmalara karşı inhibitör maddeler (bakteriyosin, organik asitler) üretebilmelidir.

2.3. Kanatlılarda Bağırsak Mikrobiyotası ve Probiyotik Kolonizasyonu

Kanatlıların gastrointestinal sistemi (GİS), besinlerin sindirimi ve emilimi için hayati bir organ olmasının yanı sıra, bağışıklık sisteminin en büyük bileşenini oluşturmaktadır (Yue ve ark., 2025). Yumurtadan yeni çıkan civcivlerin bağırsakları sterildir, ancak kuluçkahaneden çiftliğe kadar olan süreçte çevresel mikroorganizmalarla hızla karşılaşmaktadırlar. Doğal ortamda civcivler, annelerinin dışkısı yoluyla koruyucu florayı alırken, endüstriyel üretimde bu döngü kırılmıştır (Patterson ve Burkholder, 2003). Bu durum, civcivlerin yaşamın ilk günlerinde patojen kolonizasyonuna açık hale gelmesine neden olur.

Bağırsak mikrobiyotası yaşla birlikte değişmekte; genç hayvanlarda *Bifidobacterium* popülasyonu yüksekken, yaşla birlikte azalma eğilimi göstermektedir (Yue ve ark., 2025). Probiyotik uygulaması, özellikle kuluçka çıkışı gibi kritik dönemlerde veya stres altındaki hayvanlarda (ısı stresi, nakliye, yem değişikliği), yararlı bakterilerin patojenlere baskın gelmesini sağlayarak mikrobiyal dengeyi korumayı amaçlamaktadır (Yousaf ve ark., 2022).

2.4. Probiyotiklerin Etki Mekanizmaları

Probiyotiklerin kanatlılarda sağlığı ve performansı iyileştirme mekanizmaları çok faktörlüdür. Literatürde öne çıkan temel mekanizmalar aşağıda detaylandırılmıştır:

2.4.1. Rekabetçi Dışlama

Probiyotiklerin en temel etki mekanizması, Nurmi ve Rantala (1973) tarafından ortaya atılan "Rekabetçi Dışlama" prensibidir. Bu hipoteze göre, probiyotik bakteriler bağırsak

epiteli üzerindeki spesifik reseptörlere tutunarak, *Salmonella*, *E. coli* ve *Clostridium perfringens* gibi patojenlerin bu bölgelere yerleşmesini fiziksel olarak engelleyebilmektedir (Abd El-Hack ve ark., 2020).

La Ragione ve Woodward (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, *Bacillus subtilis* sporlarının (PY79 suşu) *Clostridium perfringens* ile enfekte edilmiş broylerlerde dalak ve duodenumdaki patojen yükünü önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Probiyotikler, patojenlerle sadece yerleşim yeri için değil, aynı zamanda besin maddeleri için de rekabet ederek patojenlerin çoğalmasını sınırlamaktadır (Rolfe, 2000).

2.4.2. Antimikrobiyal Maddelerin Üretimi ve pH Modülasyonu

Probiyotikler, fermentasyon sonucu kısa zincirli yağ asitleri (SCFA; asetik asit, propiyonat, bütirat) ve laktik asit üretmektedirler. Bu organik asitler bağırsak pH'ını düşürerek, asidik ortamda yaşayamayan patojenlerin (özellikle Gram-negatif bakterilerin) üremesini inhibe etmektedir (Yousaf ve ark., 2022). Ayrıca, *Lactobacillus* ve *Bacillus* türlerinin, bakteriyosinler, hidrojen peroksit ve diğer antimikrobiyal peptitler üreterek doğrudan patojenleri öldürdüğü rapor edilmiştir (Yue ve ark., 2025). Özellikle *Bacillus licheniformis* suşlarının, anaerobik koşullarda dahi patojenlere karşı etkili olan, doğal bir polipeptit antibiyotik benzeri madde (basitrasin) üretebildiği bildirilmiştir (Abd El-Hack ve ark., 2020).

2.4.3. İmmün Sistemin Modülasyonu ve Güçlendirilmesi

Probiyotikler, hem lokal (bağırsak mukozası) hem de sistemik bağışıklık yanıtını uyarmaktadır. Bağırsak İlişkili Lenfoid Dokuyu (GALT) aktive ederek, B lenfositlerin IgA, IgG

ve IgM antikorlarını üretmesini teşvik edebilmektedirler (Haghighi ve ark., 2005).

- **Hümmoral Bağışıklık:** Probiyotiklerin, Newcastle hastalığı (ND) ve Enfeksiyöz Bursal Hastalık (IBD) gibi viral enfeksiyonlara karşı aşıl原因an kanatlılarda antikor titrelerini artırdığı gözlemlenmiştir (Yousaf ve ark., 2022).
- **Hüccresel Bağışıklık:** Probiyotikler, makrofajların fagositoz yeteneğini, Doğal Öldürücü (NK) hücrelerin aktivitesini ve T lenfositlerin proliferasyonunu artırmaktadır. Brisbin ve ark. (2011), laktobasillerin tavuklarda T hücrelerini modüle ederek bağışıklık tepkisini güçlendirdiğini bildirmiştir (Yue ve ark., 2025).
- **Sitokin Düzenlemesi:** Probiyotikler, proinflatuar ve antiinflatuar sitokinler arasındaki dengeyi sağlayarak aşırı inflamasyonu önleyebilmektedir. Örneğin, *Lactobacillus* türlerinin IL-10 (anti-inflatuar) üretimini artırırken, IL-6 ve TNF- α (pro-inflatuar) seviyelerini düşürdüğü rapor edilmiştir (Yue ve ark., 2025).

2.4.4.Bağırsak Morfolojisi, Müsin Dinamiğı ve Bariyer Fonksiyonu

Bağırsak epitel bütünlüğü, patojenlerin sistemik dolaşıma geçmesini engelleyen en önemli bariyer olarak görev yapmaktadır. Probiyotiklerin (özellikle *Lactobacillus* ve *Bacillus* türleri), ince bağırsakta villus yüksekliğini artırdığı ve kript derinliğini optimize ettiğı birçok çalışmada gösterilmiştir (Awad ve ark., 2009). Artan villus yüksekliğı, besin emilim yüzey alanını genişleterek performansı artırabilmektedir.

Ayrıca probiyotikler, goblet hücrelerini uyarak müsin (MUC2 geni) üretimini artırmaktadır. Müsin tabakası, bağırsak yüzeyini kaplayarak patojenlerin epitele tutunmasını engellemektedir (Smirnov ve ark., 2005). Gao ve ark. (2023), *Saccharomyces cerevisiae* mayasının ördeklerde claudin-3, occludin ve ZO-1 gibi sıkı bağlantı (tight junction) proteinlerinin gen ekspresyonunu artırarak bağırsak geçirgenliğini azalttığını tespit etmiştir (Yue ve ark., 2025).

2.4.5. Enzim Üretimi ve Besin Sindirilebilirliği

Bazı probiyotik mikroorganizmalar, konakçının sindirim enzimlerine katkıda bulunarak yem dönüşüm oranını iyileştirebilmektedir. Özellikle *Bacillus* türleri (örn. *B. subtilis*, *B. licheniformis*), amilaz, proteaz, lipaz ve fitaz gibi ekzojen enzimler salgılama yeteneğine sahiptir (Zhang ve ark., 2002). Bu enzimler, karmaşık karbonhidratların, proteinlerin ve yağların parçalanmasına yardımcı olarak sindirilebilirliği artırabilmekte ve yem dönüşüm oranını iyileştirebilmektedir (Amerah ve ark., 2013).

2.5. Kanatlılarda Yaygın Olarak Kullanılan Probiyotikler

Kanatlı beslemede kullanılan probiyotikler, bakteriyel (spor oluşturan ve oluşturmayan) ve fungal (maya ve küf) kaynaklar olmak üzere sınıflandırılabilir. Aşağıdaki Tablo 1'de, literatürde yaygın olarak çalışılan probiyotik suşları ve bunların kanatlılar üzerindeki spesifik etkileri özetlenmiştir.

Tablo 1. Probiyotiklerin Etki Mekanizmaları

Probiyotik Mikroorganizma	Kategori	Hedef Hayvan	Gözlemlenen Etkiler ve Mekanizmalar	Kaynak
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	Laktik Asit Bakterisi	Broyler	Patojen adezyonunu azaltma, bağırsak bariyerini onarma, bütirat üretimini artırma.	(Yue ve ark., 2025)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Laktik Asit Bakterisi	Broyler	<i>Salmonella</i> invazyonunu ve inflamasyonu azaltma, IL-10 seviyesini artırma, antikor yanıtını güçlendirme.	(Yue ve ark., 2025)
<i>Bacillus subtilis</i>	Spor Oluşturan Bakteri	Broyler	Isıya dayanıklı spor formu. Villus yüksekliğini artırır, <i>Clostridium perfringens</i> ve <i>E. coli</i> kolonizasyonunu rekabetçi dışlama ile azaltır.	(Abd El-Hack ve ark., 2020)
<i>Bacillus licheniformis</i>	Spor Oluşturan Bakteri	Yumurtacı / Broyler	Amilaz ve proteaz enzimleri üreterek sindirimi artırır. <i>Clostridium</i> spp. sayısını düşürür. Yumurta verimini artırır.	(Yousaf ve ark., 2022)
<i>Bifidobacterium animalis</i>	Laktik Asit Bakterisi	Broyler	Çekum mikrobiyotasını modüle eder, <i>Bacteroidales</i> ve <i>Rikenellaceae</i> gibi yararlı bakteri popülasyonlarını artırır.	(Yue ve ark., 2025)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Maya	Broyler / Ördek	Bağırsak bariyer proteinlerinin (occludin, claudin) ekspresyonunu artırır. Toksinleri bağlama yeteneği vardır.	(Yue ve ark., 2025)
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Maya	Broyler	<i>E. coli</i> ve <i>Salmonella</i> adezyonunu azaltır. Bağırsak morfolojisini ve mikrobiyal çeşitliliği iyileştirir.	(Yue ve ark., 2025)
<i>Aspergillus oryzae</i>	Küf Mantarı	Yumurtacı Tavuk	Yumurta kalitesini artırır, amonyak üretimini azaltır, makro besin metabolizmasını iyileştirir.	(Yousaf ve ark., 2022)
<i>Enterococcus faecium</i>	Laktik Asit Bakterisi	Broyler	İmmün sistemi uyarır, patojen bakterilerin gelişimini baskılar ve GİS dengesini korur.	(Patterson ve Burkholder, 2003)

2.6. Isı Stresi ve Probiyotik Uygulamaları

Küresel ısınma ile birlikte, kanatlı üretiminde çevre sıcaklığının artması (ısı stresi), performans kayıplarına ve mortaliteye neden olan en önemli faktörlerden birisi olabilmektedir. Isı stresi, kanatlılarda kortikosteron salınımını tetikleyerek bağışıklık sistemini baskılamakta, bağırsak epitel bariyerini bozmakta (leaky gut sendromu) ve endotoksinlerin kana karışmasına neden olmaktadır (Sohail ve ark., 2012).

Probiyotikler, ısı stresi altındaki kanatlılarda homeostazi yeniden sağlamak için etkili bir strateji sunmaktadır. Sohail ve ark. (2010), *Lactobacillus* bazlı probiyotiklerin, ısı stresi altındaki broylerlerde serum kortizol ve kolesterol seviyelerini düşürdüğünü rapor etmiştir. Benzer şekilde, *Lactobacillus plantarum* ve *Saccharomyces cerevisiae* gibi suşların, ısı stresi koşullarında antioksidan enzim aktivitelerini artırarak oksidatif hasarı azalttığı ve bağırsak mikrobiyotasını koruduğu gözlemlenmiştir (Yue ve ark., 2025).

3. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Probiyotikler, kanatlı yetiştiriciliğinde antibiyotiklere alternatif olarak, hayvan sağlığını koruma, bağışıklık sistemini güçlendirme ve üretim parametrelerini iyileştirme potansiyeline sahip güvenli biyolojik araçlardır. Etkileri; kullanılan suşun türüne, dozajına, hayvanın yaşına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Özellikle spor oluşturan bakterilerin (*Bacillus* spp.) yem işleme süreçlerine dayanıklılığı, endüstriyel kullanımda avantaj sağlamaktadır.

Gelecekteki araştırmalar, yeni nesil probiyotiklerin (postbiyotikler ve genetik olarak düzenlenmiş suşlar)

geliştirilmesi, çoklu suş kombinasyonlarının (sinbiyotikler) sinerjik etkilerinin belirlenmesi ve probiyotiklerin moleküler düzeyde konakçı gen ekspresyonu üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması üzerine odaklanmalıdır.

KAYNAKLAR

- 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. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104, 1835–1850. <https://doi.org/10.1111/jpn.13454>
- Amerah, A. M., Quiles, A., Medel, P., Sánchez, J., Lehtinen, M. J., & Gracia, M. I. (2013). Effect of pelleting temperature and probiotic supplementation on growth performance and immune function of broilers fed maize/soy-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 180, 55-63.
- Awad, W. A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., & Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotic and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens. *Poultry Science*, 88, 49-56.
- Brisbin, J. T., Gong, J., Orouji, S., Esufali, J., Mallick, A. I., Parvizi, P., Shewen, P. E., & Sharif, S. (2011). Oral treatment of chickens with lactobacilli influences elicitation of immune responses. *Clinical and Vaccine Immunology*, 18, 1447-1455.
- Gao, W., An, K., Li, P., Li, L., & Xia, Z. (2023). Dietary *Saccharomyces cerevisiae* improves intestinal flora structure and barrier function of Pekin ducks. *Poultry Science*, 102, 101940.
- Gibson, G. R., & Fuller, R. (2000). Aspects of in vitro and in vivo research approaches directed toward identifying

probiotics and prebiotics for human use. *Journal of Nutrition*, 130, 391S-395S.

Haghighi, H. R., Gong, J., Gyles, C. L., Hayes, M. A., Sanei, B., Parvizi, P., Gisavi, H., Chambers, J. R., & Sharif, S. (2005). Modulation of antibody-mediated immune response by probiotics in chickens. *Clinical and Vaccine Immunology*, 12, 1387-1392.

La Ragione, R. M., & Woodward, M. J. (2003). Competitive exclusion by *Bacillus subtilis* spores of *Salmonella enterica* serotype Enteritidis and *Clostridium perfringens* in young chickens. *Veterinary Microbiology*, 94, 245-256.

Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. (1965). Probiotics: Growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science*, 147, 747-748.

Nurmi, E., & Rantala, M. (1973). New aspects of *Salmonella* infection in broiler production. *Nature*, 241, 210-211.

Patterson, J. A., & Burkholder, K. M. (2003). Application of Prebiotics and Probiotics in Poultry Production. *Poultry Science*, 82, 627-631.

Rolfe, R. D. (2000). The role of probiotic cultures in the control of gastrointestinal health. *Journal of Nutrition*, 130, 396S-402S.

Simmering, R., & Blaut, M. (2001). Pro- and prebiotics: the tasty guardian angels? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 55, 19-28.

Smirnov, A., Perez, R., Amit-Romach, E., Sklan, D., & Uni, Z. (2005). Mucin dynamics and microbial populations in

chicken small intestine are changed by dietary probiotic and antibiotic growth promoter supplementation. *Journal of Nutrition*, 135, 187-192.

Sohail, M. U., Hume, M. E., Byrd, J. A., Nisbet, D. J., Ijaz, A., Sohail, A., Shabbir, M. Z., & Rehman, H. (2012). Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poultry Science*, 91, 2235–2240.

Yousaf, S., Nouman, H. M., Ahmed, I., Husain, S., Waseem, M., Nadeem, S., Tariq, M., Sizmaz, O., & Chudhry, M. F. Z. (2022). A Review of Probiotic Applications in Poultry: Improving Immunity and Having Beneficial Effects on Production and Health. *Advancements of Microbiology*, 61(3), 115-123.

Yue, T., Lu, Y., Ding, W., Xu, B., Zhang, C., Li, L., Jian, F., & Huang, S. (2025). The Role of Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, and Postbiotics in Livestock and Poultry Gut Health: A Review. *Metabolites*, 15, 478.

Zhang, J., He, M., & He, Z. (2002). Operational and storage stability of neutral β -mannanase from *Bacillus licheniformis*. *Biotechnology Letters*, 24, 1611-1613.

KANATLI HAYVANLARIN BESLENMESİNDE POSTBİYOTİK UYGULAMALARI

Metehan SANCAR¹

Ali ÇALIK²

1. GİRİŞ

Hayvancılıkta ileri düzey genetik metotların kullanılmasıyla, yüksek verimli hayvan ırkları elde edilmiştir. Yüksek genetik potansiyele sahip hayvanların, ileri biyoteknolojik yöntemlerle yetiştirilmesi sonucunda günümüzde, etlik piliçler 42 günde kesim ağırlığına ulaşmakta veya yumurtacı tavuklar neredeyse günde 1 yumurta üretebilmektedir. Ancak, yükselen verim düzeyleri dolayısıyla hayvanların besin ihtiyacı yükselmiş, yemlerin sindirim kanalında kalış süresi kısalmış ve enterositlerin maruz kaldığı fizyolojik stres artmıştır (Celi ve ark., 2019). Bağırsak hücrelerinin maruz kaldığı stres, hayvanları özellikle subklinik düzeydeki bağırsak inflamasyonuna açık hale getirmiştir. Bu problemin önüne geçmek için antibiyotikler, büyüme takviye edici olarak 2000’li yılların başına kadar yoğun olarak kullanılmıştır. Fakat, 2006 yılında Avrupa Birliği’nde, antibiyotiklerin büyümeyi teşvik edici amaçla kullanılması yasaklanmıştır. Bu gelişmeyle birlikte, kanatlı yetiştiriciliğinde bağırsak sağlığının korunması ve yüksek performansın sürdürülebilmesi için alternatif yollara ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, bağırsak sağlığını iyileştirici ve mikrobiyotayı

¹ Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., ORCID: 0009-0005-8967-0418.

² Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., ORCID: 0000-0003-4550-9321.

düzenleyici ürünlerin kullanımı artmıştır. Prebiyotik, probiyotik, postbiyotik ve simbiyotik ürünler önem kazanmıştır. Bağırsaklar ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki simbiyotik dengenin, patojenler lehine bozulması bu sayede engellenmektedir.

Prebiyotikler, konakçının kendi başına sindiremeyeceği ancak sindirim sistemindeki faydalı bakterilerin sindirdiği ve bağırsak sağlığını destekleyen bileşiklerdir. Probiyotikler ise bağırsak mikrobiyotasının dengesini düzenleyerek hem sağlık hem üretim performansını olumlu etkileyen canlı mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmalar yemle birlikte verildiğinde, bağırsak florasında zararlı bakterilerin çoğalmasını baskılar, patojenlerin lokalizasyonunu engeller, bağırsak mukozasını ve sıkı bağlantı (tight junction) proteinlerini güçlendirerek intestinal bariyer fonksiyonunu iyileştirir; ayrıca kısa zincirli yağ asidi (KZYA) üretimini teşvik ederek lokal pH'ı düşürür ve bağışıklık sistemini modüle eder (Chaucheyras-Durand ve Durand, 2010). Ancak, probiyotiklerin işlevlerini yerine getirebilmesi için canlılığını koruyarak hedef bölgeye ulaşabilmesi, kolonize olabilmesi ve konakçıya uygun suşa ait olması gerekmektedir. Dolayısıyla, konakçıya uygun probiyotik preparatların doğru şekilde depolanması, hayvanlara uygun şekilde ve zamanda verilmesi bir zorluk olarak öne çıkmaktadır (Adams, 2010). Ayrıca, patojen mikroorganizmalardan probiyotiklere, virulent genlerin yatay olarak geçebileceği de bildirilmiştir (Newaj-Fyzul ve ark., 2014). Karşılaşılan bu zorlukların üstesinden gelmek için postbiyotik kullanımı günden güne önem kazanmaktadır (Waqas ve ark., 2024).

International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) 2021 yılında, postbiyotiklerin tanımını “Konakçıya sağlık yararı sağlayan, canlı olmayan mikrobiyal hücreler, onların parçaları veya metabolitleri” şeklinde yapmıştır (Salminen ve ark., 2021). Genel olarak postbiyotikler, probiyotiklerin sağladığı bağışıklığı güçlendirici, antibakteriyel

ve antiviral, antioksidan, performans artırıcı ve yaşama gücünü artırıcı etkileri sağlamaktadır. Dolayısıyla postbiyotikler, daha uzun raf ömürleri ve daha kullanışlı yapıları sayesinde probiyotiklere iyi bir alternatif teşkil ederler (Waqas ve ark., 2024).

2. POSTBİYOTİK TÜRLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Konakçının sahip olduğu mikrobiyotada gerçekleşen biyokimyasal ve genomik olaylar, konakçının bağırsaklarında gerçekleşen olaylara göre önemli ölçüde daha fazladır. Mikrobiyota, konakçının sağlığını, gelişimini, metabolizmasını ve hatta davranışlarını bu metabolik ve genomik olaylar sonucunda ürettiği son ürünler ile etkilemektedir. Hayvan beslemede postbiyotiklerin kullanılması fikri, bu son ürünlerin hayvana doğrudan verilmesi esasına dayanmaktadır. Postbiyotiklerin, probiyotiklerin aksine konakçıya canlı olarak verilmesine gerek duyulmamaktadır.

Bu tanımlara göre postbiyotikler, inaktive olmuş yararlı bakterileri, bu bakterilerin ürettiği metabolitleri, hücre duvarı bileşenlerini, ekstraselüler polisakkaritleri, biyoaktif maddeleri ve hücre içermeyen süpernatantları kapsamaktadır (Tsilingiri ve Rescigno, 2013). Özetle postbiyotikler; hem hücresel son ürünleri (peptidoglikan, fosfolipid, lipoteikoik asit vb.) hem de metabolit son ürünleri (kısa zincirli yağ asitleri (KZYA), bakteriyosinler, enzimler, organik asitler, vitaminler, ekzoproteinler ve ekzopolisakkaritler) içermektedir. Bu sebeple, postbiyotikler bu kitap bölümünde hücresel kökenli ve metabolit kökenli postbiyotikler olmak üzere iki farklı başlıkta sınıflandırılacaktır. Kategorilerine göre postbiyotik maddeler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Postbiyotiklerin Sınıflandırılması

Hücresel Kökenli Postbiyotikler	Metabolit Kökenli Postbiyotikler
İnaktif (ölü) probiyotik hücreleri (paraprobiotik)	Organik asitler (fermantasyon ürünleri)
Hücre duvarı bileşenleri (peptidoglikan, LTA)	Kısa zincirli yağ asitleri (KZYA)
Hücre duvarı ekstraktları	Bakteriyosinler (nisin, plantarisin)
Sitoplazmik fraksiyonlar	Exopolisakkaritler (EPS)
İnaktif <i>Lactobacillus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterococcus</i> spp.	Laktik asit bakterisi ferment filtratları
Sporsuz <i>Bacillus</i> hücre komponentleri	Enzim içeren mikrobiyal fermentler (amilaz, proteaz, lipaz)

2.1. Hücresel Kökenli Postbiyotikler

Hücresel kökenli postbiyotikler, mikroorganizmaların inaktif olması ve hatta hücresel bütünlüklerini kaybetmesinden sonra dahi biyolojik aktivite gösterebilen postbiyotiklerdir. Bu postbiyotikler ise inaktif probiyotikler, hücre içermeyen süpernatantlar ve hücre duvarı parçaları olarak üçe ayrılabilir.

İnaktif probiyotikler, gamma/uv ışığına maruz bırakılmış; tindalizasyon; sonikasyon ve kimyasal işlemler veya ısı ile inaktif edilmiş postbiyotiklerdir. İnaktivasyon süreciyle beraber probiyotikler canlılıklarını kaybetse de konakçıda biyolojik aktiviteleri tetikleyebilmektedir. Yapılan çalışmalara göre, inaktif edilmiş probiyotiklerin postbiyotik olarak kullanımı, büyümeyi ve faydalı bakteri miktarını artırıcı, patolojik bakterilere karşı etkili, bağışıklığı güçlendirici ve antikor düzeyini artırıcı bulunmuştur (Thu ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2023; Fang ve ark., 2024).

Hüresiz süpernatant postbiyotikler ise düşük veya yüksek moleküler ağırlığa sahip aktif biyomoleküllerdir. Bu kategoride değerlendirilen postbiyotikler, probiyotik mikroorganizmaların (genellikle *Lactobacillus* ve maya türleri) üretildiği, besin maddeleri ve metabolitler bakımından zengin

ortamı içermektedir. Bakterilerin üretildiği bu medyumların kompozisyonu, postbiyotik bileşimini de etkilemektedir. Mikroorganizmaların üretildiği antibakteriyel, antibiyofil ve antiinflamatuvar etkiye sahip bu ortamlar postbiyotik olarak kullanılmaktadır. Güncel literatürde, rasyonlarına hücresiz süpernatant postbiyotik ilavesi yapılan hayvanlarda enteropatojenik bakteri sayılarının düştüğü, proinflamatuvar sitokin miktarının azalırken antiinflamatuvar sitokin düzeyinin arttığı, sıkı bağlantı proteini üretiminin arttığı, yararlı bakteri sayısının çoğaldığı ve KZYA değişiminin yükseldiği gösterilmiştir (Patil ve ark., 2018; Izuddin ve ark., 2019).

Bakterilerin ve mayaların hücre duvarları, teikoik asit ve lipoteikoik asit gibi farklı kimyasalları içermektedir. Gram pozitif bakterilerde, hücre duvarı kütlelerinin yaklaşık %60'ını lipoteikoik ve teikoik asitler oluşur (Saeui ve ark., 2015). Hücre duvarı parçalarından oluşan ve immünojenik etkiye sahip bu postbiyotiklerin mikotoksinlere karşı etkili olduğu gösterilmiştir (Kudupoje ve ark., 2022; Poloni ve ark., 2025).

2.2. Metabolit Kökenli Postbiyotikler

Metabolit kökenli postbiyotikler, bakterilerin fermentasyon süreci boyunca üretilen, hücre dışına salgılandığı son ürünleri kapsamaktadır. Bu metabolitlerden bir kısmı doğrudan antimikrobiyal etki gösterirken, bir kısmı ise bağırsak pH'ını düşürerek başta *Clostridial* etkenler olmak üzere patojenlerin çoğalmasını inhibe eder ve enterositlerin enerji metabolizmasını destekler. Bunlara ek olarak, bazı metabolitler antioksidan ve/veya antiinflamatuvar etki göstererek bağırsak sağlığını korur (Nataraj ve ark., 2020). Kısa zincirli yağ asitleri (asetat, propiyonat, bütirat), bakteriyosinler, organik asitler, enzimler ve ekzopolisakkaritler bu sınıfa girer. Ancak, ticarileşmiş postbiyotik preparatlar genellikle bu maddelerden bir ya da birkaçını içermektedir veya hücresiz süpernatant postbiyotiklerde

yoğun olarak bulunmaktadır. Dolayısıyla bu başlıktaki metabolitlerin izole şekilde kullanıldığı zaman sahip oldukları etki hakkındaki literatür kısıtlıdır.

Ekzopolisakkaritler, mikroorganizmalar tarafından üretilen, yüksek mikrobiyal ağırlığa sahip ekstraselüler karbonhidrat polimerlerdir. Ekzopolisakkaritler, başta *Lactobacillus* türleri olmak üzere birçok bakteri tarafından üretilmektedir. Ksantan, sfingan, aljinat ve farklı selüöz türevleri bu polisakkaritlere örnek olarak gösterilebilir ve yüksek su tutma kapasiteleri ile bağırsak lümeninde patojenlerin tutunmasını engelleyen biyofilm özelliği gösterirler (Kodali ve ark., 2009). Ekzopolisakkaritlerin antimikrobiyal, immün modülatör ve antiinflamatuvar etki gösterdiği de literatürde belirtilmiştir (Angelin ve Kavitha, 2020). Ancak, bu gruba ait postbiyotiklerin kanatlı yetiştiriciliğindeki etkileri broiler hayvanlarda gösterilmiş olsa da yapılan çalışmalar halen kısıtlıdır (Lu ve ark., 2013).

Enzimler, biyolojik olayları katalize eden proteinler olarak tanımlanabilir ve canlıların tamamı çeşitli enzimler üretmektedir. Biyolojik aktivitelerine göre enzimler oksidoredüktazlar, transferazlar, hidrolazlar, liyazlar, izomerazlar ve ligazlar olarak altı gruba ayrılmaktadır (Gurunathan ve ark., 2023). Hayvan beslemede postbiyotik enzim kullanımı günden güne popülerlik kazansa da yapılan çalışmalar henüz sınırlıdır.

Laktik asit bakterileri ve arkebakteriler, bakteriyosinler olarak bilinen ve diğer bakterilerin büyümesini engelleyebilen peptitler sentezlemektedir. Bu peptitler bakteriyosin olarak adlandırılmaktadır ve gıda sektöründe uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bakteriyosinler, bağırsak mikrobiyomunu şekillendirerek kanatlı hayvanlarda bağırsak sağlığını düzeltebilmektedir (Józefiak ve Sip, 2013).

Bakteriler bitkisel kökenli polisakkaritleri parçalayarak KZYA üretmektedirler. Bu KZYA'lerden başlıcaları asetik asit,

propiyonik asit ve bütirik asittir. Mikroorganizmaların ürettiği KZYA'lar enterositlerin enerji metabolizmasında kullanılmaktadır. Ayrıca bütiratların bağırsaklardaki proinflamatuvar sitokinlerin üretimini azaltırken antiinflamatuvar sitokin üretimini arttırdığı gösterilmiştir (Liu ve ark., 2021).

3. POSTBİYOTİKLERİN BÜYÜME PERFORMANSINA ETKİSİ

Postbiyotiklerin göstermiş olduğu bakterisidal ve bakteriostatik etki sayesinde patojenlerin sebep olduğu zararlı etkiler azaltılmaktadır. Rasyonlarına postbiyotik ilave edilen etlik piliçlerin negatif kontrol grubuna oranla daha yüksek vücut ağırlığı ve daha düşük yemden yararlanma oranına (YYO) sahip olduğu bildirilmiştir (Humam ve ark., 2020). Ayrıca, postbiyotiklerin, prebiyotiklerle birlikte kullanıldığı broyler denemelerinde, postbiyotik+prebiyotik kombinasyonu daha yüksek vücut ağırlığı, daha düşük YYO sağlamıştır (Kareem ve ark., 2016). Aynı çalışmada, büyümeyle ilişkili insulin-like growth factor 1 (IGF 1) hormonu ve growth hormone receptor (GHR) reseptörlerinin gen ekspresyon düzeylerinin arttığı gösterilmiştir.

Sıcaklık stresi, broyler yetiştiriciliğinde performansı tehdit eden çevresel bir zorluktur. Sıcaklık stresine maruz kalan hayvanların daha düşük vücut ağırlığı ile canlı ağırlık artışına ve daha yüksek YYO'ya sahip olduğu gösterilmiştir. Farklı *Lactobacillus* suşları içeren postbiyotik takviyesinin, sıcaklık stresi altındaki hayvanlarda günlük canlı ağırlık artışını, yem tüketimini ve vücut ağırlığını kayda değer biçimde yükselttiği bildirilmiştir (Jahromi ve ark., 2016). Zulkifli ve ark. (2000) yaptığı çalışmada sıcaklık stresi koşullarında beslenen etlik piliçlerde, *Lactobacillus* suşları içeren postbiyotik takviyesi, antibiyotik (oksitetrasiklin) kullanımına oranla daha yüksek

vücut ağırlığı, ağırlık artışı ve daha düşük YYO ile ilişkilendirilmiştir. Patojenik *E.coli* (078) suşuna maruz kalan etlik piliçlerde postbiyotik takviyesinin, büyüme performansını ve YYO'yu iyileştirdiği görülmüştür (Abd El-Ghany ve ark., 2022). Ayrıca *C.perfringens* enfeksiyonuna karşı postbiyotik takviyesinin, vucüt ağırlığını ve performansı artırıcı etkisi olduğu gösterilmiştir (Johnson ve ark., 2019).

4. POSTBİYOTİKLERİN YUMURTACI TAVUKLARIN PERFORMANSINA ETKİSİ

Özellikle *Lactobacillus plantarum* kaynaklı postbiyotiklerin, yumurtacı tavuklarda yumurta üretiminde artış sağlamaktadır (Loh ve ark., 2014). Aynı çalışmada, metabolit kökenli postbiyotik kombinasyonlarının dışkı pH'ını ve dışkı *Enterobacteriaceae* popülasyonunu azalttığı, dışkıdaki laktik asit bakterilerini arttırdığı, plazma ve yumurta sarısı kolesterolünü düşürdüğü ve dışkı uçucu yağ asidi profilini iyileştirdiği belirtilmiştir. Leghorn ırkı yumurtacı tavuklarda *L. plantarum* suşunun postbiyotik olarak kullanılması sıcak stresi koşullarında yumurta verimini arttırmıştır (El Masry, 2023).

5. POSTBİYOTİKLERİN TAVUK BAĞIRSAK SAĞLIĞINA ETKİSİ

Bağırsak sağlığı, enterositlerin, mikrobiyotanın ve bağışıklık sisteminin dengesine bağlıdır. Tavuklar, anneden gelen maternal antikorları yumurta sarısından alırken günümüz kanatlı yetiştiriciliğinde kuluçka makinalarının sanitize olmasından dolayı herhangi bir mikrobiyota geçişi mümkün olmamaktadır (Maki ve ark., 2020). Dolayısıyla civcivlerde mikrobiyotanın oluşumu tamamen çevresel faktörlere bağımlıdır (Ballou ve ark., 2016). Ayrıca, antibiyotik kullanımı yararlı bakterilerin de yok

edilmesine sebep olarak mikrobiyota dengesini bozabilmektedir ve bu yüzden takip eden süreçte patojen bakterilerin popülasyonu artabilmektedir. Mikrobiyotanın bozulduğu disbiyoziz durumu genellikle bağırsak immün sistemi ve mikrobiyotası arasındaki ilişkinin bozulmasından kaynaklanmaktadır. Disbiyoziz durumunda, mikrobiyotadaki zararlı bakterilerin popülasyonu artış gösterirken faydalı bakteriler azalmaktadır. Bu sebeple bağırsakta klinik veya subklinik düzeyde inflamasyon şekillenirken, bağırsak bariyer fonksiyonu bozulmaktadır (Celi ve ark., 2017).

Hücre-siz süpernatant veya *L.plantarum*'un inhibe edilmiş çeşitli suşlarının patojen bakterileri inhibe ederek bağırsak sağlığını iyileştirdiği bildirilmiştir (Kareem ve ark., 2014). Postbiyotiklerdeki laktik asit, bakteriyosinler ve KZYA'lar gibi metabolitlerin, patojen invazyonuna karşı koruyucu ve bağırsak sağlığını destekleyici rol oynadığı bildirilmiştir (Waqas ve ark., 2024). Postbiyotik takviyesinin kolibasillozlarına karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Abd El-Ghany ve ark., 2022). Mevcut literatür ışığında, postbiyotik takviyesinin kanatlı yetiştiriciliğinde, bağırsak sağlığının ve yüksek üretim performansının korunması için antibiyotiklere alternatif teşkil edebileceği vurgulanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abd El-Ghany, W. A., Fouad, H., Quesnell, R. ve Sakai, L. (2022). The effect of a postbiotic produced by stabilized non-viable Lactobacilli on the health, growth performance, immunity, and gut status of colisepticaemic broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 54(5). doi:10.1007/S11250-022-03300-W
- Adams, C. A. (2010). The probiotic paradox: live and dead cells are biological response modifiers. *Nutrition Research Reviews*, 23(1), 37-46. doi:10.1017/S0954422410000090
- Angelin, J. ve Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 853-865. doi:10.1016/J.IJBIOMAC.2020.06.190
- Ballou, A. L., Ali, R. A., Mendoza, M. A., Ellis, J. C., Hassan, H. M., Croom, W. J. ve Koci, M. D. (2016). Development of the Chick microbiome: how early exposure influences future microbial diversity. *Frontiers in Veterinary Science*, 3, 2. doi:10.3389/fvets.2016.00002
- Celi, P., Cowieson, A. J., Fru-Nji, F., Steinert, R. E., Klunter, A. M. ve Verlhac, V. (2017). Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 88-100. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.09.012
- Celi, Pietro, Verlhac, V., Pérez Calvo, E., Schmeisser, J. ve Klunter, A. M. (2019). Biomarkers of gastrointestinal functionality in animal nutrition and health. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 9-31. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.07.012

- Chaucheyras-Durand, F. ve Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3-9. doi:10.3920/BM2008.1002
- El Masry, B. H. (2023). *Impact of Dietary Lactobacillus plantarum Postbiotics on Performance of Layer Hens under Heat Stress Conditions*. American University of Beirut, Beirut, Lebanon.
- Fang, S., Fan, X., Xu, S., Gao, S., Wang, T., Chen, Z. ve Li, D. (2024). Effects of dietary supplementation of postbiotic derived from *Bacillus subtilis* ACCC 11025 on growth performance, meat yield, meat quality, excreta bacteria, and excreta ammonia emission of broiler chicks. *Poultry Science*, 103(5), 103444. doi:10.1016/J.PSJ.2024.103444
- Gurunathan, S., Thangaraj, P. ve Kim, J. H. (2023). Postbiotics: Functional Food Materials and Therapeutic Agents for Cancer, Diabetes, and Inflammatory Diseases. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 89, 13(1), 89. doi:10.3390/FOODS13010089
- Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., Izuddin, W. I., Awad, E. A., Idrus, Z., ... Mustapha, N. M. (2020). Dietary Supplementation of Postbiotics Mitigates Adverse Impacts of Heat Stress on Antioxidant Enzyme Activity, Total Antioxidant, Lipid Peroxidation, Physiological Stress Indicators, Lipid Profile and Meat Quality in Broilers. *Animals*, 10(6), 1-21. doi:10.3390/ANI10060982
- Izuddin, W. I., Loh, T. C., Foo, H. L., Samsudin, A. A. ve Humam, A. M. (2019). Postbiotic *L. plantarum* RG14 improves ruminal epithelium growth, immune status and upregulates the intestinal barrier function in post-weaning lambs. *Scientific Reports* 2019 9:1, 9(1), 1-10. doi:10.1038/s41598-019-46076-0

- Jahromi, M. F., Altaher, Y. W., Shokryazdan, P., Ebrahimi, R., Ebrahimi, M., Idrus, Z., ... Liang, J. B. (2016). Dietary supplementation of a mixture of Lactobacillus strains enhances performance of broiler chickens raised under heat stress conditions. *International journal of biometeorology*, 60(7), 1099-1110. doi:10.1007/S00484-015-1103-X
- Johnson, C. N., Kogut, M. H., Genovese, K., He, H., Kazemi, S. ve Arsenault, R. J. (2019). Administration of a Postbiotic Causes Immunomodulatory Responses in Broiler Gut and Reduces Disease Pathogenesis Following Challenge. *Microorganisms 2019, Vol. 7, Page 268*, 7(8), 268. doi:10.3390/MICROORGANISMS7080268
- Józefiak, D. ve Sip, A. (2013). Bacteriocins in poultry nutrition - A review. *Annals of Animal Science*, 13(3), 449-462. doi:10.2478/AOAS-2013-0031
- Kareem, Karwan Yaseen, Loh, T. C., Foo, H. L., Akit, H. ve Samsudin, A. A. (2016). Effects of dietary postbiotic and inulin on growth performance, IGF1 and GHR mRNA expression, faecal microbiota and volatile fatty acids in broilers. *BMC Veterinary Research 2016 12:1*, 12(1), 163-. doi:10.1186/S12917-016-0790-9
- Kareem, Karwan Yassen, Ling, F. H., Chwen, L. T., Foong, O. M. ve Anjas Asmara, S. (2014). Inhibitory activity of postbiotic produced by strains of Lactobacillus plantarum using reconstituted media supplemented with inulin. *Gut Pathogens* , 6(1). doi:10.1186/1757-4749-6-23
- Kodali, V. P., Das, S. ve Sen, R. (2009). An exopolysaccharide from a probiotic: Biosynthesis dynamics, composition and emulsifying activity. *Food Research International*, 42(5-6), 695-699. doi:10.1016/J.FOODRES.2009.02.007

- Kudupoje, M. B., Malathi, V. ve Yiannikouris, A. (2022). Impact of a Natural Fusarial Multi-Mycotoxin Challenge on Broiler Chickens and Mitigation Properties Provided by a Yeast Cell Wall Extract and a Postbiotic Yeast Cell Wall-Based Blend. *Toxins*, 14(5), 315. doi:10.3390/TOXINS14050315/S1
- Liu, L., Li, Q., Yang, Y. ve Guo, A. (2021). Biological Function of Short-Chain Fatty Acids and Its Regulation on Intestinal Health of Poultry. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 736-739. doi:10.3389/FVETS.2021.736739/FULL
- Loh, T. C., Choe, D. W., Foo, H. L., Sazili, A. Q. ve Bejo, M. H. (2014). Effects of feeding different postbiotic metabolite combinations produced by *Lactobacillus plantarum* strains on egg quality and production performance, faecal parameters and plasma cholesterol in laying hens. *BMC Veterinary Research*, 10(1), 149-. doi:10.1186/1746-6148-10-149
- Lu, Z., Jin, M., Huang, M., Wang, Y. ve Wang, Y. (2013). Bioactivity of selenium-enriched exopolysaccharides produced by *Enterobacter cloacae* Z0206 in broilers. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 131-136. doi:10.1016/j.carbpol.2013.03.063
- Maki, J. J., Bobeck, E. A., Sylte, M. J. ve Looft, T. (2020). Eggshell and environmental bacteria contribute to the intestinal microbiota of growing chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(1), 60-. doi:10.1186/S40104-020-00459-W
- Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V. ve Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories* 2020 19:1, 19(1), 168-. doi:10.1186/S12934-020-01426-W

- Newaj-Fyzul, A., Al-Harbi, A. H. ve Austin, B. (2014). Review: Developments in the use of probiotics for disease control in aquaculture. *Aquaculture*, 431, 1-11. doi:10.1016/J.AQUACULTURE.2013.08.026
- Patil, S., Sawant, S., Hauff, K. ve Hampp, G. (2018). Validated Postbiotic Screening Confirms Presence of Physiologically-Active Metabolites, Such as Short-Chain Fatty Acids, Amino Acids and Vitamins in Hylak® Forte. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 2018 11:4, 11(4), 1124-1131. doi:10.1007/S12602-018-9497-5
- Poloni, V. L., Pérez, M. E., Escobar, F., Luna, J., Pereyra, Y., Cristofolini, A., ... Cavaglieri, L. (2025). Postbiotics from *Saccharomyces cerevisiae* RC016 Cell Wall (Formerly Classified as a Prebiotic): Exploring In Vitro and In Vivo Benefits. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 2025 17:5, 17(5), 3656-3666. doi:10.1007/S12602-025-10492-8
- Saeui, C. T., Mathew, M. P., Liu, L., Urias, E., Yarema, K. J. ve Puoci, F. (2015). Cell Surface and Membrane Engineering: Emerging Technologies and Applications. *Journal of Functional Biomaterials* 2015, Vol. 6, Pages 454-485, 6(2), 454-485. doi:10.3390/JFB6020454
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. 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 and Hepatology*, 18(9), 649-667. doi:10.1038/S41575-021-00440-6;SUBJMETA
- Thu, T. V., Loh, T. C., Foo, H. L., Yaakub, H. ve Bejo, M. H. (2010). Effects of liquid metabolite combinations produced by *Lactobacillus plantarum* on growth performance, faeces characteristics, intestinal morphology and diarrhoea

- incidence in postweaning piglets. *Tropical Animal Health and Production* 2010 43:1, 43(1), 69-75. doi:10.1007/S11250-010-9655-6
- Tsilingiri, K. ve Rescigno, M. (2013). Postbiotics: what else? *Beneficial Microbes*, 4(1), 101-107. doi:10.3920/BM2012.0046
- Waqas, M., Nastoh, N. A., Çınar, A. A., Farooq, M. Z. ve Salman, M. (2024). Advantages of the Use of Postbiotics in Poultry Production: A New Concept. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola / Brazilian Journal of Poultry Science*, 26(3), 1-31. doi:10.1590/1806-9061-2024-1939
- Zhang, Z., Guo, Q., Wang, J., Tan, H., Jin, X., Fan, Y., ... Peng, N. (2023). Postbiotics from *Pichia kudriavzevii* promote intestinal health performance through regulation of *Limosilactobacillus reuteri* in weaned piglets. *Food & function*, 14(8), 3463-3474. doi:10.1039/D2FO03695A
- Zulkifli, I., Abdullah, N., Mohd. Azrin, N. ve Ho, Y. W. (2000). Growth performance and immune response of two commercial broiler strains fed diets containing *Lactobacillus* cultures and oxytetracycline under heat stress conditions. *British Poultry Science*, 41(5), 593-597. doi:10.1080/713654979

RUMİNANT HAYVANLARIN BESLENMESİNDE PROBİYOTİK UYGULAMALARI

Metehan SANCAR¹

Mehmet Ali BAL²

1. GİRİŞ

Ruminant hayvan yetiştiriciliği, insan beslenmesinde kaliteli protein kaynağı oluşturması ve kırsal kalkınmayı desteklemesi bakımından en önemli ekonomik faaliyetlerden birisidir. Günümüzde, iklim değişikliği, kuraklık ve nüfus artışı, sürdürülebilir hayvancılık yapılmasını mecburi kılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde üretilen tahılların %70'i hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (Eisler ve ark., 2014). Ruminant hayvanlar, sahip oldukları simbiyotik mikroorganizmalar sayesinde insan beslenmesinde kullanılamayacak yüksek selüloz içeriğine sahip bitkileri tüketebilmektedir. Ancak sahip oldukları bu eşsiz yetenekten dolayı, ruminant hayvanlar, yüksek düzeyde karbon, metan ve nitrat salınımına sebebiyet vermektedir (Knapp ve ark., 2014). Sebep oldukları emisyon ve çevresel etkiler ruminant hayvan (başta sığır yetiştiriciliği olmak üzere) yetiştiriciliğinde aşılması gereken sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Hayvan yetiştiriciliğinde antibiyotiklerin büyümeyi teşvik edici olarak, profilaktik ya da subterapötik dozlarda, 21. yüzyıl başına kadar yaygın olarak kullanılmaktaydı. Ancak 2006 yılında, AB'de antimikrobiyal ilaçların büyümeyi teşvik edici

¹ Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., ORCID: 0009-0005-8967-0418.

² Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları AD., ORCID: 0000-0002-8906-6633.

kullanımının yasaklanmasıyla beraber enfeksiyöz hastalıkların engellenebilmesi ve performansın arttırılabilmesi için alternatiflere ihtiyaç duyulmuştur.

Konakçı hayvan ve sahip olduğu mikrobiyal ekosistem hayvan sağlığı ve verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Probiyotikler, patojenleri baskılayarak, antiinflamatuvar etki göstererek, bağışıklık sistemini destekleyerek, besin madde sindirilebilirliğini ve kuru madde alımını arttırarak, yemden yararlanma oranını düşürerek ve karbon ile azot emisyonlarını düşürerek ruminant hayvan yetiştiriciliğinde önemli bir alternatif yaklaşım oluşturur (Jouany ve Morgavi, 2007). FAO/WHO tarafından probiyotikler, yeterli miktarlarda uygulandığında “konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmıştır (Bajagai ve ark., 2016). Hayvancılıkta probiyotiklerin kitlesel biçimde kullanılmaya başlamasıyla birlikte, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), hayvan yemi üreticilerinin "probiyotik" terimini “direct-fed microbial (DFM)” ifadesiyle değiştirmesini zorunlu kılmıştır (Reuben ve ark., 2022). Hayvan beslemede kullanılan DFM tanımı ise bakteriler, mayalar, mantarlar, mikrobiyal hücre parçaları ve mikrobiyal salgılar gibi geniş bir mikroorganizma yelpazesini içermektedir.

Ruminant yetiştiriciliğinde, *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Megasphaera elsdenii* ve *Prevotella bryantii*, bakterileri ve *Aspergillus* ile *Saccharomyces* mantar türleri başlıca kullanılan DFM türleridir. Ayrıca, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* ve *Streptococcus* gibi laktik asit üreten bakterilerin çeşitli suşları probiyotik olarak önem kazanmıştır (Vibhute ve ark., 2011). Ruminant hayvanlarda kullanılan probiyotik suşların büyük bölümü zaten hayvanın mikrobiyomunda bulunsa da çevresel ve içsel çeşitli faktörler dolayısıyla disbiyoziz gerçekleşebilmektedir (Reuben ve ark., 2022). Bu sebeple probiyotikler sağlıklı rumen ve bağırsak

mikrobiyomunun yeniden şekillendirilmesi için önem arz etmektedir. Dengeli mikrobiyom sayesinde, ruminant hayvanlarda enerji verimliliği gastrointestinal sağlık ve performans yükselmektedir.

2. PROBİYOTİKLERİN ETKİ DÜZEYİNİ BELİRLEYEN FAKTÖRLER

Ruminant beslemede probiyotiklerin işlevlerini yerine getirebilmesi için çeşitli şartların sağlanmış olması gerekmektedir. Kullanılacak probiyotik suşunun rumen ortamında (anaerobik ve çeşitli mikrobiyal fauna) hayatta kalabilecek suşlardan seçilmesi gerekmektedir (Wu ve ark., 2024). Kullanılan preparattaki canlı hücre sayısının ya da koloni oluşturan ünitenin (CFU) korunabilmesi ve minimum yeterli doz etkinliğin gözlenebilmesi için sağlanmalıdır. Üretim, liyofilizasyon, uygulama veya depolama işlemleri probiyotik preparatların canlılığını azaltabilmektedir (Bajagai ve ark., 2016).

Probiyotik olarak kullanılan mikroorganizmalar hedef bölgeye ulaşp, oradaki diğer mikroorganizmalarla rekabet ederek kolonize olabilmeli ve metabolik aktivite gösterebilmelidir (Wu ve ark., 2024). Hayvanların beslendiği rasyonun kullanılacak probiyotiğin metabolizma özellikleri ile uyum göstermesi önemlidir. Örneğin, asidoz oluşturma riski yüksek kolay parçalanabilir karbonhidratlar yönünden zengin rasyonlarla beslenen hayvanlara laktolitik probiyotik suşlarının verilmesi gerekmektedir (Shabat ve ark., 2016). Probiyotiklerin verilış yöntemi de canlılıklarını etkilemektedir. Probiyotik preparatlar, üreticilerin talimatları doğrultusunda, doğrudan, içme suyuyla, süt ikame yemi içerisinde veya yemle beraber verilebilmektedir.

Probiyotik takviyesi yapılacak hayvanın yaş ve fizyolojik durumu da probiyotik kullanımının etkinliğini ve güvenliğini etkilemektedir. Ruminant öncesi dönem, kuru dönem, geçiş

dönemi ve laktasyon döneminde kullanılan probiyotiklerin metabolik özellikleri farklılık göstermelidir (El Jeni ve ark., 2024). Kullanılacak probiyotik suşlarının patojen etkinlik göstermemesi, toksin üretmemesi ve antibiyotik direnç genleri içermemesi gerekmektedir. Probiyotik mikroorganizmalar ve patojenler arasında plasmid değişimi literatürde bildirilmiştir (Newaj-Fyzul ve ark., 2014). Probiyotik preparatların üretimi standardize edilmiş olmalı; *in-vitro* ve *in-vivo* testlerle etkinliği kanıtlanmalı; hayvan sağlığı ve insan sağlığı açısından risk oluşturmamalıdır (Wu ve ark., 2024).

3. RUMİNANTLARDA, PROBİYOTİKLERİN ETKİ MEKANİZMASI

Yüksek verimli moleküler tekniklerin uygulanmaya başlaması ile ruminantların gastrointestinal sistem mikrobiyotası ve probiyotiklerin etki mekanizması hakkında yeni anlayışlar gelişmiştir. Probiyotiklerin etki mekanizmaları; bakteriyel, fungal veya kombinasyonuna göre değişiklik gösterebilmektedir.

3.1. Bakteriyel Probiyotiklerin, Rumendeki Etki Mekanizması

Ruminant beslemede probiyotik takviye olarak kullanılan başlıca bakteriyel probiyotikler, *Lactobacillus* ile *Bifidobacterium* cinslerine ait suşlardır. Bu bakterilerin etkileri henüz tam manasıyla aydınlatılamamış olsa da etkileri temelde laktik asit üretimine ve laktik asidi parçalama yeteneklerine dayanmaktadır. Laktik asit üreten bakteriler, salgıladıkları organik asitler ile faydalı bakterilerin ve laktik asidi parçalayan bakterilerin sayısını arttırmakta ve ruminal asidoz riskini düşürmektedir (Nocek ve ark., 2002). Laktik asit parçalayan bakteriler ise laktik asit konsantrasyonunu düşürerek rumen asiditesini daha stabil tutar. Rumen mikrobiyotası, propiyonat üreten bakterilere ev sahipliği yapmaktadır. *Propionibacteria*

suşları gibi bakteriler, kaba ve konsantre yem ağırlıklı rasyonla beslenen ruminantlarda fermentasyon verimliliğini ve propiyonik asit üretimini artırır (Stein ve ark., 2006). Laktik asit parçalayan bakteriler, probiyotik olarak doğrudan rasyona katıldıklarında, laktattan propiyonik asit sentezlemektedir. Propiyonat karaciğere gelerek glikoz öncülü olarak kullanılmaktadır. Bu sayede hem asidoz hem de ketosiz riski düşürülebilmektedir (Weiss ve ark., 2008). Ayrıca, başta metan olmak üzere sera gazlarının salınımının, propiyonik asit üretimiyle beraber düştüğü de bildirilmiştir (Van Soest, 1994).

Özetle, probiyotik bakteriler rumen ortamını ürettikleri metabolitler ve kullandıkları substratlar yoluyla, kimyasal olarak etkilemektedir. Değişen kimyasal şartlar, rumen mikrobiyotasını şekillendirmektedir ve bunun sonucunda rumende açığa çıkan laktik asit ile uçucu yağ asidi (UYA) konsantrasyonları değişmektedir.

3.2. Bakteriyel Probiyotiklerin, Gastrointestinal Sistemdeki Etki Mekanizması

Probiyotikler post-ruminal olarak, tek midelilerdekine benzer etki ve etki mekanizmaları göstermektedir. Bu etkilerin en önemlilerinden biri, patojenlerle rekabet ederek enfeksiyon riskini düşürmektir. Probiyotik bakteriler, ortamı asidik hale getirerek veya besin maddesi ve adezyon alanı için patojenlerle rekabet ederek patojen popülasyonunu kontrol altında tutmaktadır (Frizzo ve ark., 2010). Aynı zamanda, probiyotikler gastrointestinal sistemde kolonize olduktan sonra, bakteriyosin ve bakteriyostatik (organik asitler vb.) maddeler üretmektedirler. *Bacillus* ve *Bifidobacteria* türleri çeşitli bakteriyosin maddeler üreterek; *Bacillus cereus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Listeria* ve çeşitli *Salmonella* türlerine karşı antimikrobiyal etki göstermektedir (Rea ve ark., 2007). Probiyotik bakteriler yalnızca patojenlerle doğrudan etkileşime girerek değil, bağışıklık

sistemini etkileyerek de gastrointestinal sistemi düzenleyebilmektedir. Probiyotikler, bağırsak lümenine yapışıp biyofilm oluşturarak patojenlerin enterositlere tutunmasını engelleyen doğal bir bariyer oluşturmaktadır. Ayrıca, bağışıklık sistemini uyarak immünoglobulin sentezini ve salgılanmasını arttırmaktadırlar. Probiyotik takviyesi yapılan hayvanların bağırsaklarında makrofaj ile lenfosit aktivitesinin yükseldiği ve γ -interferon üretiminin arttığı bildirilmiştir (Yang ve ark., 2009). Probiyotik ilavesinin proinflatuar sitokin salınımını arttırırken, antiinflatuar sitokin salınımı düşürdüğü de bildirilmiştir (Krehbiel ve ark., 2003).

3.3. Fungal ve Maya Kökenli Probiyotiklerin, Gastrointestinal Sistemdeki Etki Mekanizması

Rumen fermentasyonunu uyarması sebebiyle fungal probiyotikler ruminant beslenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. *Saccharomyces cerevisiae* ve *Aspergillus oryzae* en sık kullanılan türlerdir ve rumen fermentasyonunu düzelterek performans artışı sağlamaktadır (Elghandour ve ark., 2015). Fungal kökenli probiyotikler, rumen pH'sını stabil tutmakta, UYA üretimini arttırmakta ve amonyak derişimini düşürmektedir (Newbold ve ark., 1996). Mayalar rumende, selülitik bakterilerin popülasyonunu arttırmaktadır. Dolayısıyla, kaba yemlerin sindirilebilirliği ve mikrobiyal protein üretimi artmaktadır (Bomba ve ark., 2002).

4. PROBİYOTİK TAKVİYELERİNİN RUMİNANT BESLENMESİNDE PERFORMANSA ETKİSİ

Probiyotik takviyelerinin ruminant beslenmesinde büyüme, gelişme, verim ve sağlık üzerine olumlu etkileri geniş bir şekilde literatürde gösterilmiştir (Reuben ve ark., 2022). Bu etkilerin daha detaylı incelenebilmesi için probiyotiklerin kullanımının pre-ruminant dönemdeki büyümeye ve gelişmeye;

süt verimi ve kompozisyonuna ve besi performansına etkileri ayrı ayrı değerlendirilecektir.

4.1. Probiyotiklerin Pre-Ruminant Dönemde, Büyüme ve Gelişme Performansına Etkisi

Süt ikame yemlerine probiyotik takviyesi yapılmasının, pre-ruminant dönemde özellikle sağlığı iyileştirerek üretimi ve genel performansı arttırdığı belirtilmiştir (Wallace ve Chesson, 2007; Frizzo ve ark., 2010). Yeni doğan buzağılar, süttten kesim öncesi ve süttten kesme sırasında patojenlere oldukça duyarlıdır. Özellikle süttten kesim esnasında, olgunlaşmamış mikrobiyota ve ani yem değişiminden dolayı gastrointestinal sistemde patojenlerin kolonize olma ihtimali artmaktadır (Chaucheyras-Durand ve Durand, 2010). Belirtilen bu geçiş dönemine hayvanların hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmesi özellikle buzağı ishallerinin önüne geçilebilmesi için önem taşımaktadır. Anne sütünde de bulunan laktik asit bakterilerinin probiyotik olarak buzağılara verilmesi ishal vakalarını azaltmaktadır (Liu ve ark, 2022). Dolayısıyla buzağların yaşama gücü ve büyüme performansı artmaktadır. Bu sayede, sürülerin yenilenmesi ve yaşlanan hayvanların ikamesi kolaylaşmaktadır.

4.2. Probiyotiklerin Süt Verimi ve Süt Kompozisyonuna Etkisi

Probiyotikler, sadece sağlığı düzelterek değil aynı zamanda süt verimini de arttırarak daha sürdürülebilir bir hayvancılık faaliyeti sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Rasyonlarına probiyotik ilavesi yapılan ineklerin, daha yüksek süt verimine ve daha iyi süt kompozisyonuna sahip olduğu gösterilmiştir (Vibhute ve ark., 2011; Poppy ve ark., 2012; Xu ve ark., 2017). Yapılan çalışmalarda, süt proteininin ve yağının artarken, somatik hücre sayısının düştüğü de belirtilmiştir. Süt ineği rasyonlarına, *S. cerevisiae* ve *Aspergillus oryzae*'nin takviye edilmesi, süt üretimini ve süt proteinini arttırdığı belirtilmiştir

(Desnoyers ve ark., 2009; Xu ve ark, 2017). Yalnızca fungal kökenli probiyotikler değil, çeşitli *Bacillus* suşlarının probiyotik olarak kullanılması da süt verimini ve ruminal fermentasyonu arttırmıştır (Qiao ve ark., 2010; Sun ve ark., 2011). *S. cerevisiae*'nin etkilerinin incelendiği meta-analiz çalışmasında, manda, sığır, koyun ve keçilerde süt verimi, rumen fermentasyonu ve kuru madde alımı artış göstermiştir (Desnoyers ve ark., 2009). Süt verimindeki artışın açıklanması için çeşitli mekanizmalar ortaya atılsa da probiyotik suşlarının memedeki inflamasyonu ve sütteki somatik hücre sayısını düşürmesi öne çıkmaktadır (Xu ve ark., 2017). Bir diğer öne çıkan düşünce ise süt verimindeki ve süt kompozisyonundaki iyileşmenin, probiyotiklerin rumendeki selülitik bakterilerin popülasyonunu ve lif sindirilebilirliğini arttırması düşüncesidir (Fernández ve ark., 2023).

4.3. Probiyotiklerin Büyüme ve Besi Performansına Etkisi

Ruminant rasyonlarına tekli veya çoklu suş probiyotiklerin ilavesi, çeşitli çalışmalarda büyüme performansında dikkate değer artışlarla ilişkilendirilmiştir (Adjei-Fremah ve ark., 2018). Probiyotiklerin büyüme performansı üzerindeki olumlu etkileri farklı çalışmalar arasında değişkenlik gösterse de, temel etki mekanizmalarının rumen ve bağırsak mikrobiyotasını etkileyerek, yararlı mikroorganizma popülasyonunun artırılması ve selülitik bakterilerin aktivitesinin arttırılması olarak bildirilmiştir (Reuben ve ark., 2022). Bu bakteriyel faaliyetler, özellikle yüksek düzeyde selüloz içeren yemlerin sindirilebilirliğini ve emilim kapasitesini artırarak genel performansı desteklemektedir. Besi sığırlarında yapılan denemeler; probiyotik takviyesinin yem tüketimini, günlük canlı ağırlık artışını ve yemden yararlanmayı geliştirdiğini göstermiştir (Ghorbani ve ark., 2002).

KAYNAKÇA

- Adjei-Fremah, S., Ekwemalor, K., Asiamah, E.K., Ismail, H., Ibrahim, S. ve Worku, M. (2018). Effect of probiotic supplementation on growth and global gene expression in dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 257-263. doi:10.1080/09712119.2017.1292913;ISSUE:ISSUE:DOI
- Bajagai, Y.S., Klieve, A.V., Dart, P.J. ve Bryden, W.L. (2016). *Probiotics in animal nutrition-Production, impact and regulation*. (Makkar H.P.S, Ed.). Rome: FAO Animal Production and Health Paper No. 179.
- Bomba, A., Nemcová, R., Gancarcíková, S., Herich, R., Guba, P. ve Mudronová, D. (2002). Improvement of the probiotic effect of micro-organisms by their combination with maltodextrins, fructo-oligosaccharides and polyunsaturated fatty acids. *British Journal of Nutrition*, 88(S1), S95-S99. doi:10.1079/BJN2002634
- Chaucheyras-Durand, F. ve Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3-9. doi:10.3920/BM2008.1002
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C. ve Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1620-1632. doi:10.3168/JDS.2008-1414
- Eisler, M.C., Lee, M.R.F., Tarlton, J.F., Martin, G.B., Beddington, J., Dungait, J.A.J., Winter, M. (2014). Agriculture: Steps to sustainable livestock. *Nature*, 507(7490), 32-34. doi:10.1038/507032a

- El Jeni, R., Villot, C., Koyun, O.Y., Osorio-Doblado, A., Baloyi, J.J., Lourenco, J.M., Callaway, T.R. (2024). Invited review: “Probiotic” approaches to improving dairy production: Reassessing “magic foo-foo dust”. *Journal of Dairy Science*, 107(4), 1832-1856. doi:10.3168/JDS.2023-23831
- Elghandour, M.M.Y., Salem, A.Z.M., Castañeda, J.S.M., Camacho, L.M., Kholif, A.E. ve Chagoyán, J.C.V. (2015). Direct-fed microbes: A tool for improving the utilization of low quality roughages in ruminants. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(3), 526-533. doi:10.1016/S2095-3119(14)60834-0
- Fernández, C., Romero, T., Badiola, I., Díaz-Cano, J., Sanzol, G. ve Lóor, J.J. (2023). Postbiotic yeast fermentation product supplementation to lactating goats increases the efficiency of milk production by enhancing fiber digestibility and ruminal propionate, and reduces energy losses in methane. *Journal of Animal Science*, 101. doi:10.1093/JAS/SKAC370
- Frizzo, L.S., Soto, L.P., Zbrun, M.V., Bertozzi, E., Sequeira, G., Armesto, R.R. ve Rosmini, M.R. (2010). Lactic acid bacteria to improve growth performance in young calves fed milk replacer and spray-dried whey powder. *Animal Feed Science and Technology*, 157(3-4), 159-167. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2010.03.005
- Ghorbani, G.R., Morgavi, D.P., Beauchemin, K.A. ve Leedle, J.A.Z. (2002). Effects of bacterial direct-fed microbials on ruminal fermentation, blood variables, and the microbial populations of feedlot cattle,. *Journal of Animal Science*, 80(7), 1977-1985. doi:10.2527/2002.8071977X

- Jouany, J.P. ve Morgavi, D.P. (2007). Use of ‘natural’ products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal*, 1(10), 1443-1466. doi:10.1017/S1751731107000742
- Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P. ve Tricarico, J.M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231-3261. doi:10.3168/JDS.2013-7234
- Krehbiel, C.R., Rust, S.R., Zhang, G. ve Gilliland, S.E. (2003). Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action. *Journal of Animal Science*, 81(14_suppl_2), E120-E132. doi:10.2527/2003.8114_SUPPL_2E120X
- Shabat, S.K.B., Sasson, G., Doron-Faigenboim, A., Durman, T., Yaacoby, S., Berg Miller, M.E., Mizrahi, I. (2016). Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *The ISME Journal*, 10(12), 2958-2972. doi:10.1038/ISMEJ.2016.62
- Liu, B., Wang, C., Huasai, S., Han, A., Zhang, J., He, L. ve Aorigele, C. (2022). Compound Probiotics Improve the Diarrhea Rate and Intestinal Microbiota of Newborn Calves. *Animals*, 12(3), 322. doi:10.3390/ANI12030322/S1
- Newaj-Fyzul, A., Al-Harbi, A.H. ve Austin, B. (2014). Review: Developments in the use of probiotics for disease control in aquaculture. *Aquaculture*, 431, 1-11. doi:10.1016/J.AQUACULTURE.2013.08.026
- Newbold, C.J., Wallace, R.J. ve McIntosh, F.M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed

- additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, 76(2), 249-261. doi:10.1079/BJN19960029
- Nocek, J.E., Kautz, W.P., Leedle, J.A.Z. ve Allman, J.G. (2002). Ruminal Supplementation of Direct-Fed Microbials on Diurnal pH Variation and In Situ Digestion in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(2), 429-433. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(02)74091-5
- Poppy, G.D., Rabiee, A.R., Lean, I.J., Sanchez, W.K., Dorton, K.L. ve 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. doi:10.3168/JDS.2012-5577
- Qiao, G.H., Shan, A.S., Ma, N., Ma, Q.Q. ve Sun, Z.W. (2010). Effect of supplemental *Bacillus* cultures on rumen fermentation and milk yield in Chinese Holstein cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(4), 429-436. doi:10.1111/J.1439-0396.2009.
- Rea, M.C., Clayton, E., O'Connor, P.M., Shanahan, F., Kiely, B., Ross, R P. ve Hill, C. (2007). Antimicrobial activity of lacticin 3147 against clinical *Clostridium difficile* strains. *Journal of Medical Microbiology*, 56(7), 940-946. doi:10.1099/JMM.0.47085-0/CITE/REFWORKS
- Reuben, R.C., Elghandour, M.M.M.Y., Alqaisi, O., Cone, J.W., Márquez, O. ve Salem, A.Z.M. (2022). Influence of microbial probiotics on ruminant health and nutrition: sources, mode of action and implications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4), 1319-1340. doi:10.1002/jsfa.11643
- Stein, D.R., Allen, D.T., Perry, E.B., Bruner, J.C., Gates, K.W., Rehberger, T.G., Spicer, L.J. (2006). Effects of Feeding

- Propionibacteria to Dairy Cows on Milk Yield, Milk Components, and Reproduction. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 111-125. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(06)72074-4
- Sun, P., Wang, J.Q. ve Zhang, H.T. (2011). Effects of supplementation of *Bacillus subtilis* natto Na and N1 strains on rumen development in dairy calves. *Animal Feed Science and Technology*, 164(3-4), 154-160. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2011.01.003
- Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional Ecology of The Ruminant* (2. bs.). Ithaca: Cornell University Press.
- Vibhute V.M., Shelke R.R., Chavan S.D. ve Nage S.P. (2011). Effect of Probiotics Supplementation on the Performance of Lactating Crossbred Cows. *Veterinary World*, 12(4), 557-561. doi:10.5455/vetworld.2011.557-561
- Wallace, R. John. ve Chesson, A. (Ed.). (2007). *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Weiss, W.P., Wyatt, D.J. ve McKelvey, T.R. (2008). Effect of Feeding Propionibacteria on Milk Production by Early Lactation Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91(2), 646-652. doi:10.3168/JDS.2007-0693
- Wu, R., Ji, P., Hua, Y., Li, H., Zhang, W. ve Wei, Y. (2024). Research progress in isolation and identification of rumen probiotics. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1411482. doi:10.3389/FCIMB.2024.1411482
- Xu, H., Huang, W., Hou, Q., Kwok, L. yu, Sun, Z., Ma, H., Zhang, H. (2017). The effects of probiotics administration on the milk production, milk components and fecal bacteria

microbiota of dairy cows. *Science Bulletin*, 62(11), 767-774. doi:10.1016/J.SCIB.2017.04.019

Yang, Y., Iji, P.A. ve Choct, M. (2009). Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal*, 65(1), 97-114. doi:10.1017/S0043933909000087

MİKRO/NANOPLASTİKLER VE BALIKLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Dilek AKSU ELMALI¹

Mehmet ELMALI²

1. GİRİŞ

Plastikler, sentetik veya yarı-sentetik polimerlerdir (Da Costa ve ark., 2020). Polimerik plastik malzemeler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki temel grupta incelenmektedir. Termoplastiklerin moleküler yapıları genellikle, lineer veya dallı zincirlerdir. Isıtılınca yumuşamaları ve soğutulunca tekrar sertleşmeleri nedeniyle defalarca kullanılmaktadır. Termoset plastikler ise, çapraz bağ oluşturan reçinelerden üretildikleri için bir defa sertleştikten sonra tekrar yumuşamamakta ve eritememektedir (Mastro, 2016). Polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), polikarbonat (PC) ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) yaygın olarak üretilen plastik türleri olup, bu yaygın olarak üretilen plastiklerin tamamı termoplastiklerdir (Crawford, 1998).

Plastiklerin ticarileştirilmesi İkinci Dünya Savaşı ile başlamış ve tüm dünyada yaygınlaşarak (Pilapitiya ve Ratnayake, 2024), gündelik hayatın hemen hemen her alanında yer almıştır. Küresel yıllık plastik üretimi 359 milyon tondan fazla olup, bu üretimin de %40'ının ambalaj için, yani hemen atılmak üzere üretildiği belirtilmektedir. Dünyada plastiklerin yaygınlığı göz

¹ Prof. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-9788-3860.

² Prof. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-8479-5757.

önüne alındığında bazı araştırmacıların günümüzü “Plastik Çağı” olarak adlandırması elbette hiç şaşırtıcı değildir (Da Costa ve ark., 2020).

Dünyada gündelik hayatın içinde yer alan plastikler tüm faydalarına rağmen, azımsanamayacak düzeyde, çok ciddi bir şekilde çevre ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Plastikler, mikro ve nano boyutlara kadar parçalanabilmekte (Pilapitiya ve Ratnayake, 2024) ve bu boyutlarına göre de “mikroplastikler” ve “nanoplastikler” olarak adlandırılmaktadır.

2. MİKRO/NANOPLASTİKLER

Mikroplastikler, boyutları 5mm’den küçük olan, yüzücü, hidrofobik yüzey, kirleticileri taşıma potansiyeline sahip, kalıcı organik kirleticileri absorplayabilen ve UV foto-oksidatif parçalanabilme gibi özelliklere sahip olan plastik parçacıklardır (Yurtsever, 2015). Nanoplastikler ise, boyutları 1 nm ile 1 µm arasında değişen sentetik polimerlerdir (Lai ve ark., 2022).

Mikroplastikler, ilaç ve kozmetik sektörlerde kullanmak üzere üretilen birincil mikroplastikler ile zamanla atık plastiklerin bozunmalarıyla açığa çıkan ikincil mikroplastikler olarak iki kısımda incelenmektedir (Esmeray ve Armutcu, 2020; Lai ve ark., 2022). Şimdiye kadar neredeyse en az 9 milyar ton plastik üretilmiş, ve 2050 yılına kadar bu miktarın yaklaşık 38 milyar tona çıkacağı bildirilmektedir. Bu miktarın da yaklaşık 13 milyar tonunun atık plastik olacağı gözönüne alındığında, bunlardan açığa çıkacak ikincil plastiklerin yanı sıra üretilen birincil mikroplastikler de çevreye salınacaktır (Esmeray ve Armutcu, 2020).

Günümüzde en önemli kirleticilerden olan mikro/nanoplastikler çevreye, doğal yaşama ve biyoçeşitliliğe her geçen gün artan bir şekilde büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

Karada, suda ve hatta havada sağlık üzerine oluşturduğu riskler büyük bir önem arz etmektedir (Akçay ve ark., 2020). Plastik atıklar genellikle güneş ışığına maruz kaldığında ayrışmaya uğramaktadır. Böylece mikroplastikler ve nanoplastikler oluşturmak üzere parçalanmaktadır (Song ve ark., 2022).

Çiftçilere, atık yönetimi, işletmelerde kullanılan-atılan plastikler ve benzeri olarak yöneltilen sorularla yapılan anket çalışmasında, çiftçilerin %95'inin atık yönetimi konusunda eğitime ihtiyacı olduğu bildirilmekte, yaklaşık %47'sinin ise plastik atıklar hususunda yeterli tedbirleri almadıkları belirtilmektedir. Hayvancılık işletmelerinde, ilaçlamada pestisit kalıntıları, sulamada drenaj boruları ve hortumlar, ekim ve dikimde tohum ambalajları, gübrelemede paketler, ambalajlar, hayvan beslemede silaj filmleri, yem torbaları, su kapları ve buzağı besleme kapları, hayvan tedavi ve bakımında şırıngalar, boş ilaç kutuları ve kulak küpeleri gibi ortaya çok fazla plastik atıklar çıkmaktadır. Bu plastik atıklar ise zamanla ikincil mikroplastiklere neden olmaktadır (Doru ve Atış, 2025).

Tarım işletmelerinde çiftçilerin büyük çoğunluğu tarımsal plastik atıklarını bertaraf etmede, bazen çöpe atmak ve toplu halde yakmak gibi sıklıkla başvurdukları iki yöntemin bulunduğunu ifade etmektedir (Doru ve Atış, 2025). Çeşitli kaynaklardan gelen plastik atıklar havaya dağılabilmekte, bu durumda da insanlar tarafından solunarak, solunum sistemi ve diğer sistemler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Amato-Lourenço ve ark., 2020). Mikro/nanoplastikler ile obesite sıklığı arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirtilmektedir. Mikro/nanoplastiklerin toksisitesinde ana hedef lipit metabolizmasının merkezi olan karaciğer olup, mikro/nanoplastikler karaciğerde lipit birikiminin artmasına yol açabilmektedir (Chen ve ark., 2025).

Çok büyük oranda atık su arıtma tesisleri deşarjı ve nehirler ile deniz ortamına karışan mikroplastikler, canlılar tarafından yutulabilirliği ile, yalancı tokluk hissi, üreme bozukluğu, ve yaralanmalar gibi birçok olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca plastiklerin elde edildiği hammaddeye göre farklı toksik bileşikler de denizlere taşınmaktadır. Denizlerdeki parçacıklara paralel olarak bu alanlarda yaşayan canlılarda da benzer özellikte mikroplastik bulunduğu belirtilmektedir. Bu canlıların farklı yapı ve organlarında belirlenen bu parçacıklar, tüm deniz ekosisteminde mikro/nanoplastiklerin yayıldığını göstermektedir (Kenan ve Teksoy, 2022). Bunu da özellikle belirtmek gerekir ki, tatlı su ekosistemindeki mikroplastikler ve bunların toksisiteleri, deniz ekosisteminden az değildir (Khan ve ark., 2023).

3. BALIKLARDA MİKRO/NANOPLASTİKLERİN ETKİLERİ

3.1. Balıklarda Mikroplastiklerin Etkileri

Dünyada artan nüfus nedeniyle artan hayvansal protein ihtiyaçlarının karşılanmasında balık önemli bir yere sahiptir. Balık, aminoasitler, vitaminler ve mineraller bakımından temel bir hayvansal protein kaynağıdır. Mikroplastikler, özellikle balıklar olmak üzere suda yaşayan canlılar üzerinde birçok zararlı etkilere neden olmaktadır. Mikroplastiklere maruz kalan balıklarda, iltihaplanma, immunotoksosite, oksidatif stres ve DNA hasarı gibi sorunlar görülebilmektedir. Aynı zamanda bağırsak mikrobiyotasında değişimlere neden olarak, balıklarda büyüme ve kalite sorunlarına yol açmaktadır (Subaramaniyan ve ark., 2023). Bunların yanı sıra, mikroplastikler matrislerindeki, daha önce emilen organik ve/veya inorganik kimyasal maddeleri salabilir ve çeşitli mikroorganizmaların taşıyıcısı olarak da rol alabilir (Albergini ve ark., 2023).

Mikroplastiklerin canlılar tarafından yutulması yaygındır. Mikroalglerle örtüşen boyutlarından dolayı (<5 mm) mikroplastikler çok çeşitli kopepodlar tarafından da kolayca yutulabilir. Sindirim sistemini tıkayabilmekte, yem alımını engelleyebilmekte ve fizyolojik strese neden olabilmektedir. Toksisitesi, plastiklerin şekli, boyutu ve sayısı gibi özelliklerine göre değişebilmektedir (Bai ve ark., 2021). Örneğin La Pietra ve ark. (2024) 1 µm ve 3 µm'lik iki farklı boyuttaki polistiren mikroplastiklerini (PS-MP) karşılaştırmak için zebra balığı embriyoları kullandıkları ve embriyoları 72 saate kadar izledikleri çalışmada, PS-MP'lerin embriyoların hayatta kalma oranını ve normal yumurtadan çıkma sürecini değiştirmediğini belirtmektedir. Fakat bu araştırmada, her iki boyutun da yüksek konsantrasyonlarının kalp atış hızında ve fenotipik değişikliklerde bir artışa neden olduğu, her iki boyuttaki PS-MP'lerin 10 mg/L konsantrasyonunda larvalara girip biriktiği ifade edilmektedir.

Mikroplastiklerin toksisitesi, şekil, boyut ve sayısının (Bai ve ark., 2021) yanı sıra konsantrasyonlarından da etkilenmektedir. Farklı konsantrasyonlarda polipropilen mikroplastiklerin etkileri balıkların yemlerinde ve sularında araştırıldığında, sularında 1 g/L, 2.5 g/L; yemlerinde 100 mg/g, 250 mg/g düzeyinde mikroplastiklerin ölüme sebebiyet vermediği fakat malondialdehit (MDA) ve glutatyon (GSH) seviyelerini arttırarak, toplam protein içeriği (TPC) ve katalaz (CAT) düzeylerini azaltarak, oksidatif strese neden olduğu belirtilmektedir (Yedier ve ark., 2023).

Mikroplastiklerin boyutları, bulunduğu bölgenin yanı sıra türlerine göre de farklılık göstermektedir. Karaciğer dokularında oksidatif stresin göstergeleri de bölgelere ve balık türlerine göre farklılıklar göstermektedir (Atamanalp ve ark., 2022).

Yapılan bir çalışmada, balıkların %58'sinin ya mide ya da bağırsaklarında mikroplastik tespit edildiği bildirilmektedir. Bu çalışmada en yoğun tespit edilen sert plastik parçacıklarını naylon ve kauçuk takip etmektedir. Bu sert plastik parçacıklarının yoğun olarak belirlendiği istasyonlar, örnekleme yapıldığı bölgedeki büyük nehirlerle yakın olup, genelde mavi, kırmızı, siyah ve yeşil renkte mikroplastiklerin baskın olduğu ifade edilmektedir. Mikroplastiklerin %94'ünün boyutları 0.1 - 2.5 mm arasındadır. 521 parçacığın 479'unda plastik polimerlere rastlanılmıştır. Polietilen (%43) ve polipropilen (%26)'in diğer polimer tiplerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Polistirenlerin oranı ise %5 tir. Çipura balıkları en yaygın mikroplastik çeşitleri ile beslendiğinde, sindirim sistemi organlarında, karaciğerde ve dokularda mikroplastiklerin biriktiği, hatta tüm karaciğer örneklerinin yaklaşık %5 'inde en az 1 mikroplastik varlığı gözlemlenmiştir (Kıdeyş ve ark., 2018).

Balıklar yaşam alanlarından aldıkları mikroplastiklerin yanı sıra, balık yemlerinin paketlenmesi ve depolanması gibi aşamalarda kullanılan plastik materyallerden yeme geçen mikroplastikleri de alabilmektedir. Nitekim Siddique ve ark (2023)'ın balık yemlerinde yaptıkları çalışmada, mikroplastiklerin tüm yemlerde tespit edildiği ve bunların bulunuşlarının ortalama 500-2200 MP/kg arasında değiştiği bildirilmektedir. Balıkların başlangıç, büyütme ve bitirme yemlerinde yapılan bu araştırmada, mikroplastiklerin çeşitlerinden en fazla %90 düzeyinde elyaf olduğu ve de MP'lerin %88'inin 100-1500µm boyutunda bulunduğu ifade edilmektedir. Örneklerde polietilenin %38, polivinil klorürün %27, polipropilenin %22 ve polietilen tereftalatın %13 düzeyinde tanımlandığı belirtilmektedir. Mikroplastikler farklı renklerde olabilmektedir. Siddique ve ark., (2023) çalışmada en baskın rengi kırmızı (%34), ardından siyah (%31) ve mavi (%19) olarak bildirmektedir. Türkiye'de ise, Erzurum, Erzincan ve Bingöl

illerindeki istasyonlardan alınan farklı balık türlerinde MP varlığı incelendiğinde en baskın renk (%39-58) siyah, en yaygın parçacık ise lif olarak ifade edilmektedir (Atamanalp ve ark., 2022).

Zhao ve ark. (2020), zebra balıkları 21 gün boyunca 20 ve 100 µg/L polistirene maruz kaldıklarında, vücut ağırlıklarının ve kondüsyon faktörünün azaldığını belirtmektedir. Glikolipit, yağ asiti, aminoasit ve karbon metabolizmasıyla ilgili bazı genlerin zebra balığının karaciğerinde azalma eğiliminde olduğunu bildirmektedir.

Balıklar yiyecek bulmak ve avcılardan kaçınmak için, koku alma duyularına güvenmektedir. Metaller ise balıklarda koku alma duyusunu engelleyebilmektedir. Al Jabri ve ark. (2025)'in yaptığı çalışmada, mikroplastikler bakır birikimini arttırmaktadır. Büyük boyuta sahip (yaklaşık 596 µm) mikroplastiklere maruz kalmanın bakır biyobirikimini ve metalotiyonein üretimini arttırdığını ifade etmektedir.

Mikroplastikler ve ağır metaller balıklarda hareket ve kaçınma davranışını bozarak, balık popülasyonunun sağlığı üzerinde önemli etkilere sahip olmaktadır (Santos ve ark., 2021). Mikroplastikler, metal-mikroplastik etkileşimi, davranışsal değişimlere de neden olmaktadır. Örneğin, mikroplastiklere maruz kalan balıklarda yüzme hızı düşmektedir (Al Jabri ve ark. 2025). Mikroplastiklere, bakıra ve bakır+MP karışımlarına maruz kalan balıkların hayatta kalma oranının azaldığı ifade edilmektedir. Yüksek Cu konsantrasyonu (125 µg/L) ve karışımları, balık larvalarında ortalama hızı, toplam kat edilen mesafeyi ve mutlak dönüş açısını azaltarak larvaların yüzme yeteneği üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Mikroplastiklere ve bakıra tek başına ya da birlikte maruz kalan balıklarda kaçınma davranışının etkilendiği ve maruz kalan larvaların da olumsuz uyaranlara tepki vermediği bildirilmektedir (Santos ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin, balıkların işlevsel özellikleri, beslenme, büyüme ve davranış özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerine karşı hassasiyet, balıkların yaşam evrelerine göre değişebilmektedir (Salerno ve ark., 2021). Bu mikroplastiklerle kirlenmiş balıkların tüketilmesi ile de insanlarda ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir (Subaramaniyan ve ark., 2023). Mikroplastiklere maruz kalan insanlarda, oksidatif stres, nörotoksosite, sitotoksosite, bağışıklık sistemi bozuklukları ve MP'lerin diğer dokulara aktarımı gibi sorunlar yaşanabilmektedir (Bhuyan, 2022).

3.2. Balıklarda Nanoplastiklerin Etkileri

Suda yaygın kirleticilerden olan polistiren nanoplastikler geniş yüzey alanlarından dolayı daha güçlü adsorpsiyon kapasitesi göstermektedir. Polistiren nanoplastiklerin zebra balığı larvalarında dopaminergik nöronları, kolinerjik sistemi ve retinal yapıyı değiştirerek, amonyak kaynaklı nörotoksositeyi şiddetlendirebileceği ifade edilmektedir (Xing ve ark., 2024). Aynı zamanda nanoplastiklerin serum toplam kolesterol ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol seviyelerini de önemli düzeyde arttırdığı, karaciğerde önemli düzeyde lipit birikimi ile birlikte çoklu inflamatuvar yanıtlara da neden olduğu ifade edilmektedir. Nanoplastiklerin yol açtığı bu değişikliklerin araşidonik asit metabolizmasını da etkileyebileceği öne sürülmektedir (Chen ve ark., 2025). Nitekim, araşidonik asit hücre zarının ayrılmaz bir bileşeni olup, hücre zarına esneklik ve akışkanlık kazandırır. Bu durumda, araşidonik asit özellikle sinir sistemi, iskelet kası ve bağışıklık sistemlerinin işlevleri için gereklidir. Araşidonik asit oksidasyonundan türetilen metabolitler inflamasyonun giderilmesinden sorumlu mediyatörlerin oluşumuna yol açmaktadır. Araşidonik asit, yemlerden ve/veya esansiyel yağ asiti olan linoleik asitin desatürasyonu ve zincir uzaması yolu ile elde edilmektedir (Tallima ve El Ridi, 2018).

Estrela ve ark (2021) çim sazanları (*Ctenopharyngodon idella*) üzerine polistiren nanopartikülleri ve ZnO nanopartiküllerinin kısa süreli etkilerini incelediklerinde, uygulamaların eşit şekilde DNA hasarını indüklediğini belirtmektedir. Polistiren nanopartiküllerine maruz kalan balıklarda aynı zamanda oksidatif stresin arttığı da ifade edilmektedir.

Nanoplastiklere maruz kalan balıklarda da, beyin, kas ve testislerde glutatyon redüktaz aktivitesi önemli ölçüde azalmaktadır. Maruz kalan dişiler ve eş ebeveynlerin embriyo/larvalarının yumurta sarısı kesesinde, karaciğerde, pankreasta ve gastrointestinal sisteminde polistiren nanoplastiklerin mevcut olduğu bildirilmektedir. Yine bunlarda da bradikardi görüldüğü ve glutatyon peroksidaz seviyesinin azaltığı ifade edilmektedir. Yani polistiren nanoplastikler annelerden yavrulara geçmekte ve F1 larvalarında antioksidan sistemi değişebilmektedir. Bu nanoplastikler biyolojik olarak birikebilmekte ve yavrulara aktarılabilir (Pitt ve ark., 2018). Brandts ve ark. (2020) da akut maruziyet sonrası zebra balığında (*Danio rerio*) 65 nm polistiren nanoplastiklerin, karaciğer hücreleri tarafından etkili bir şekilde alındığını ve esas olarak lizozomlarda biriktiğini, balıkların larvalarında ise bağırsak ve pankreasta biriktiğini belirtmektedir.

Farklı konsantrasyonlarda, 100 nm polistiren nanoplastiklere maruz kalan balıklarda, embriyoların yumurtadan çıkma ve hayatta kalma oranları azalabilmektedir. Gelişimsel toksisite testi yapıldığında ise, nanoplastik maruziyetinin balık embriyolarında kalp atış hızı ve vücut uzunluğunun inhibisyonu yolu ile gelişimsel problemlere yol açtığı görülmektedir (Feng ve ark., 2022). Bunun yanı sıra Tarasco ve ark. (2022), polietilen partiküllerinin balıklarda büyüme parametrelerini etkilediğini, aynı zamanda iskelette deformitelerin görülme sıklığının arttığını,

kuşaklararası kemik oluşumu bozukluğunun da gözlemlendiğini ifade etmektedir.

4. SONUÇ

Dünya nüfusuyla birlikte artan atık plastikler, hızlı bir şekilde çevre ve gıda kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle sucul alanlarda artan plastik kirliliği, zamanla mikro ve nanoplastiklere olan dönüşümle, bu alanlarda yaşayan canlılar için büyük riskleri de beraberinde getirmektedir. Burada yaşayan tüketilebilir sucul hayvanların bünyesinde yer alan mikro ve/veya nanoplastikler, bu hayvanların yanı sıra bunları tüketen insanların sağlığı için de tehdit oluşturmaktadır. Yapılan taramalarda görülmektedir ki, mikro/nanoplastiklerin balıkların özellikle yenilebilir balıkların üzerinde etkileri hususunda deneysel araştırmalar yetersizdir. Bu konularda hayvan besleme çalışmalarının yapılmasının, çevre bilinci ve sağlıklı gıda tüketimi için çok önemli faydalar sağlayacağı kanısına varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Akçay, S., Törnük, F., & Yetim, H. (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda bulunuşu ve sağlık üzerine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (20), 530-538. <https://doi.org/10.31590/ejosat.725259>
- Alberghini, L., Truant, A., Santonicola, S., Colavita, G., & Giaccone, V. (2023). Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 (1), 789. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010789>
- Al Jabri, N., Al Habsi, A., BaOmer, T., & Barry, M. J. (2025). Microplastics and copper affect Zebrafish behavior and responses to predation threat. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 89 (3), 395-407. <https://doi.org/10.1007/s00244-025-01160-7>
- Amato-Lourenço, L. F., dos Santos Galvão, L., de Weger, L. A., Hiemstra, P. S., Vijver, M. G., & Mauad, T. (2020). An emerging class of air pollutants: potential effects of microplastics to respiratory human health? *Science of The Total Environment*, 749, 141676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>
- Atamanalp, M., Kokturk, M., Kırıcı, M., Ucar, A., Kırıcı, M., Parlak, V., & Alak, G. (2022). Interaction of microplastic presence and oxidative stress in freshwater fish: A regional scale research, East Anatolia of Türkiye (Erzurum & Erzincan & Bingöl). *Sustainability*, 14 (19), 12009. <https://doi.org/10.3390/su141912009>
- Bai, Z., Wang, N., & Wang, M. (2021). Effects of microplastics on marine copepods. *Ecotoxicology and Environmental*

Safety, 217, 112243.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112243>

Bhuyan, M. S. (2022). Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 827289. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>

Brandts, I., Garcia-Ordoñez, M., Tort, L., Teles, M., & Roher, N. (2020). Polystyrene nanoplastics accumulate in ZFL cell lysosomes and in zebrafish larvae after acute exposure, inducing a synergistic immune response in vitro without affecting larval survival in vivo. *Environmental Science: Nano*, 7 (8), 2410-2422. <https://doi.org/10.1039/D0EN00553C>

Chen, L., Sui, G., Wu, J., Li, N., Zhang, Z., Du, Y., ... & Jia, L. (2025). Untargeted metabolomics and transcriptomics joint analysis of the effects of polystyrene nanoplastics on lipid metabolism in the mouse liver. *Lipids in Health and Disease*, 24 (1), 195. <https://doi.org/10.1186/s12944-025-02613-7>

Crawford, R. J. (1998). *Plastics engineering*. Elsevier.

Da Costa, J. P., Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2020). The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures.

Doru, S. & Atış, E. (2025). Çiftçilerin tarımsal plastik atıklara yönelik tutumlarının çevresel sürdürülebilirlik açısından incelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 62 (1), 87-100, <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1491412>

Esmeray, E., & Armutcu, C. (2020). Mikroplastikler, çevre-insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 8 (1), 839-868. <https://doi.org/10.29130/dubited.586453>

- Estrela, F. N., Guimarães, A. T. B., Silva, F. G., da Luz, T. M., Silva, A. M., Pereira, P. S., & Malafaia, G. (2021). Effects of polystyrene nanoplastics on *Ctenopharyngodon idella* (grass carp) after individual and combined exposure with zinc oxide nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123879. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123879>
- Feng, M., Luo, J., Wan, Y., Zhang, J., Lu, C., Wang, M., ... & Wang, Y. (2022). Polystyrene nanoplastic exposure induces developmental toxicity by activating the oxidative stress response and base excision repair pathway in zebrafish (*Danio rerio*). *ACS omega*, 7 (36), 32153-32163. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03378>
- Kenan, İ., & Teksoy, A. (2022). Mikroplastiklerin deniz ortamı ve sucul canlılara etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 633-652. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1074246>
- Khan, M. L., Hassan, H. U., Khan, F. U., Ghaffar, R. A., Rafiq, N., Bilal, M., ... & Arai, T. (2023). Effects of microplastics in freshwater fishes health and the implications for human health. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e272524. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.272524>
- Kıdeyş, A. E., Salihoğlu, B., Eraslan, D., Emre, Y., & Jovanovic, B. (2018). Türkiye'nin Akdeniz sahillerinde mikro-plastik kompozisyonu ve miktarının belirlenmesi; Mikro plastiklerin deniz ürünlerinde olası biyolojik birikimi. <https://hdl.handle.net/11511/95928>
- Lai, H., Liu, X., & Qu, M. (2022). Nanoplastics and human health: Hazard identification and biointerface. *Nanomaterials* 12 (8), 1298. <https://doi.org/10.3390/nano12081298>

- La Pietra, A., Fasciolo, G., Lucariello, D., Motta, C. M., Venditti, P., & Ferrandino, I. (2024). Polystyrene microplastics effects on zebrafish embryological development: comparison of two different sizes. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 106, 104371. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104371>
- Mastro, P. F. (2016). *Plastics product design*. John Wiley & Sons.
- Pilapitiya, P. N. T., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials*, 11, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
- Pitt, J. A., Trevisan, R., Massarsky, A., Kozal, J. S., Levin, E. D., & Di Giulio, R. T. (2018). Maternal transfer of nanoplastics to offspring in zebrafish (*Danio rerio*): A case study with nanopolystyrene. *The Science of the Total Environment*, 643, 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.186>
- Salerno, M., Berlino, M., Mangano, M. C., & Sarà, G. (2021). Microplastics and the functional traits of fishes: A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 27 (12), 2645-2655. <https://doi.org/10.1111/gcb.15570>
- Santos, D., Luzio, A., Matos, C., Bellas, J., Monteiro, S. M., & Félix, L. (2021). Microplastics alone or co-exposed with copper induce neurotoxicity and behavioral alterations on zebrafish larvae after a subchronic exposure. *Aquatic Toxicology*, 235, 105814. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105814>
- Siddique, M. A. M., Tahsin, T., Hossain, I., Hossain, M. S., & Shazada, N. E. (2023). Microplastic contamination in commercial fish feeds: A major concern for sustainable aquaculture from a developing country. *Ecotoxicology*

- and Environmental Safety*, 267, 115659.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115659>
- Song, Y. K., Hong, S. H., Eo, S., & Shim, W. J. (2022). The fragmentation of nano-and microplastic particles from thermoplastics accelerated by simulated-sunlight-mediated photooxidation. *Environmental Pollution*, 311, 119847. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119847>
- Subaramaniyam, U., Allimuthu, R. S., Vappu, S., Ramalingam, D., Balan, R., Paital, B., ... & Sahoo, D. K. (2023). Effects of microplastics, pesticides and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Frontiers in Physiology*. 26 (14), 1217666. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1217666>
- Tallima, H., & El Ridi, R. (2018). Arachidonic acid: physiological roles and potential health benefits—a review. *Journal of Advanced Research*, 11, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.11.004>
- Tarasco, M., Gavaia, P. J., Bensimon-Brito, A., Cordelières, F. P., Santos, T., Martins, G., ... & Laize, V. (2022). Effects of pristine or contaminated polyethylene microplastics on zebrafish development. *Chemosphere*, 303, 135198. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135198>
- Xing, D., Zheng, W., Zhou, H., Li, G., Li, Y., Jia, J., ... & Liu, X. (2024). Polystyrene Nanomicroplastics Aggravate Ammonia-Induced Neurotoxic Effects in Zebrafish Embryos. *Toxics*, 12 (12), 853. <https://doi.org/10.3390/toxics12120853>
- Yedier, S., Yalçinkaya, S. K., & Bostancı, D. (2023). Exposure to polypropylene microplastics via diet and water induces oxidative stress in *Cyprinus carpio*. *Aquatic Toxicology*,

259, 106540.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106540>

Yurtsever, M. (2015). Mikroplastikler'e genel bir bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (50), 68-83.

Zhao, Y., Bao, Z., Wan, Z., Fu, Z., & Jin, Y. (2020). Polystyrene microplastic exposure disturbs hepatic glycolipid metabolism at the physiological, biochemical, and transcriptomic levels in adult zebrafish. *Science of the Total Environment*, 710, 136279.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136279>

TÜRKİYE VE DÜNYADA
HAYVAN BESLEME VE BESLENME HASTALIKLARI

yaz
yayınları

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