

VETERİNER HEKİMLİK ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

EDİTÖR

PROF. DR. KEZBAN ŞAHNA

 SERÜVEN
YAYINEVİ



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

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

Birinci Basım / First Edition • © MART 2026

ISBN • 978-625-8671-37-7

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

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

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

VETERİNER HEKİMLİK ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

EDİTÖR

PROF. DR. KEZBAN ŞAHNA

 SERÜVEN
YAYINEVİ

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ANTİBİYOTİK KALINTI KONTROLLERİNİN KIRMIZI ET SEKTÖRÜNDE REKABET GÜCÜ VE İHRACAT PERFORMANSINA ETKİSİ

<i>Onur Korkmaz</i>	1
<i>Serap Korkmaz</i>	1

BÖLÜM 2

19. YÜZYIL OSMANLI DEVLETİ ZAMANI VETERİNER HEKİMLİK

<i>Samet Taştan</i>	33
<i>Mustafa Taştan</i>	33

BÖLÜM 3

HALK SAĞLIĞI PERSPEKTİFİNDEN SÜT KAYNAKLI BİYOAKTİF PEPTİTLERİN ÖNEMİ

<i>Halil Yalçın</i>	51
---------------------------	----

BÖLÜM 4

HAYVANSAL GIDALARDA GIDA GÜVENLİĞİ UYGULAMALARININ ÜRETİM MALİYETLERİ VE TÜKETİCİ FİYATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

<i>Onur Korkmaz</i>	67
<i>Serap Korkmaz</i>	67

BÖLÜM 5

SIĞIR TRİKOMONİYAZI: ÜREME VERİMLİLİĞİNİ TEHDİT EDEN ÖNEMLİ BİR ENFEKSİYON

<i>Bünyamin İREHAN</i>	89
------------------------------	----



Bölüm 1

ANTİBİYOTİK KALINTI KONTROLLERİNİN KIRMIZI ET SEKTÖRÜNDE REKABET GÜCÜ VE İHRACAT PERFORMANSINA ETKİSİ



Onur KORKMAZ¹

Serap KORKMAZ²

¹ Öğr. Gör. Erciyes Üniversitesi, Rektörlük ORCID: 0000-0003-1712-2015

² Öğr. Gör. Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu Veterinerlik Bölümü ORCID: 0000- 0002-8119-8471

Özet

Antibiyotik kalıntıları, kırmızı et sektöründe en önemli gıda güvenliği endişelerinden biri olarak küresel ticareti ve tüketici tercihlerini doğrudan etkilemektedir. Bu derleme çalışma, antibiyotik kalıntı kontrollerinin kırmızı et sektöründe rekabet gücü ve ihracat performansına etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Çalışmada, antimikrobiyal direnç tehdidi, uluslararası düzenlemeler, kalıntı izleme sistemleri, uyum maliyetleri ve pazar erişimi konuları detaylı olarak ele alınmıştır. Bulgular, etkin antibiyotik kalıntı kontrol sistemlerinin kısa vadede üretim maliyetlerini artırdığını, ancak uzun vadede ihracat fırsatları, prim fiyatlar ve marka değeri açısından önemli rekabet avantajları sağladığını göstermektedir. Katı kalıntı standartlarını karşılayamayan ülkeler ve üreticiler, özellikle yüksek değerli ihracat pazarlarından dışlanma riskiyle karşı karşıyadır. Çalışma, sürdürülebilir rekabet gücü için proaktif kalıntı kontrol stratejileri, uygun veteriner ilaç kullanımı ve kapsamlı izleme sistemlerinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antibiyotik kalıntıları, kırmızı et, ihracat performansı, rekabet gücü, antimikrobiyal direnç, gıda güvenliği, veteriner ilaç kalıntıları

1. Giriş

Kırmızı et sektörü, küresel gıda sisteminde stratejik öneme sahip olup, dünya genelinde milyarlarca dolarlık bir ticaret hacmi oluşturmaktadır. FAO verilerine göre, 2022 yılında dünya kırmızı et üretimi 374 milyon tona ulaşmış ve bunun yaklaşık 42 milyon tonu uluslararası ticarete konu olmuştur (FAO, 2023). Ancak, bu dinamik sektör, antimikrobiyal kalıntılar başta olmak üzere çeşitli gıda güvenliği zorluklarıyla karşı karşıyadır.

Antibiyotikler, hayvancılık sektöründe hastalıkların tedavisi, önlenmesi ve bazı ülkelerde büyüme olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, küresel antibiyotik tüketiminin yaklaşık %70'i hayvan sağlığında kullanılmaktadır (WHO, 2017). Bu yoğun kullanım, et ürünlerinde antibiyotik kalıntılarının bulunması riskini artırmakta ve hem halk sağlığı hem de ticari açıdan ciddi endişeler yaratmaktadır (Beyene, 2016).

Antibiyotik kalıntılarının insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri, alerjik reaksiyonlar, toksisite, bağırsak mikrobiyotasının bozulması ve en kritik olarak antimikrobiyal direnç (AMR) gelişimine katkıda bulunmayı içermektedir (Phillips ve ark., 2004). O'Neill (2016) tarafından yapılan projeksiyonlara göre, antimikrobiyal direnç 2050 yılına kadar yılda 10 milyon ölüme neden olabilecek ve küresel ekonomiye 100 trilyon dolar maliyete yol açabilecektir.

Bu bağlamda, uluslararası toplum ve ulusal düzenleyici otoriteler, antibiyotik kalıntıları için giderek daha katı standartlar ve kontrol mekanizmaları

uygulamaktadır. Codex Alimentarius, Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve diğer büyük ithalatçı pazarlar, et ürünlerinde kabul edilebilir maksimum kalıntı limitleri (MRL) belirlemekte ve ithalat kontrollerini yoğunlaştırmaktadır (Codex Alimentarius Commission, 2018; European Commission, 2010).

Bu düzenleyici ortam, kırmızı et ihracatçıları için hem zorluklar hem de fırsatlar yaratmaktadır. Katı standartları karşılayabilen üreticiler, uluslararası pazarlara erişim ve prim fiyatlar elde edebilirken, standartları karşılayamayanlar pazar kaybı, ürün reddi ve itibar zararıyla karşılaşabilmektedir (Jaffee ve Masakure, 2005). Bu derleme çalışma, antibiyotik kalıntı kontrollerinin kırmızı et sektöründe rekabet gücü ve ihracat performansına etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

2. Antibiyotik Kullanımı ve Kalıntı Sorunu

2.1. Hayvancılıkta Antibiyotik Kullanımının Kapsamı

Hayvancılık sektöründe antibiyotik kullanımı, modern üretim sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Van Boeckel ve ark. (2015), küresel hayvancılıkta antibiyotik tüketiminin 2010 yılında 63.151 ton olduğunu ve 2030 yılına kadar %67 artarak 105.596 tona ulaşacağını tahmin etmişlerdir. Bu artışın büyük bir kısmı, gelişmekte olan ülkelerdeki hayvancılık yoğunlaşması ve et talebindeki artıştan kaynaklanmaktadır.

Sığır, koyun ve keçi yetiştiriciliğinde antibiyotikler, solunum yolu enfeksiyonları, mastitis, ayak hastalıkları, enterik enfeksiyonlar ve diğer bakteriyel hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Lhermie ve ark., 2017). Ayrıca, yoğun besicilik sistemlerinde metafilaksi (hastalık riski yüksek hayvanlara toplu koruyucu tedavi) ve profilaksi (hastalık önleme) amaçlı kullanım da yaygındır (Timmerman ve ark., 2006).

Bazı ülkelerde, büyüme olarak antibiyotik kullanımı hala devam etmektedir. Antibiyotik büyümeleri (AGP), subterapötik dozlarda sürekli olarak yeme katıldığında yem dönüşüm oranını iyileştirmekte ve büyüme hızını artırmaktadır (Dibner ve Richards, 2005). Ancak, bu uygulama antimikrobiyal direnç gelişimine önemli katkıda bulunduğu için birçok ülkede yasaklanmıştır (Castanon, 2007).

2.2. Antibiyotik Kalıntılarının Oluşumu ve Tipleri

Antibiyotik kalıntıları, veteriner ilaçların hayvan dokularında, sütle veya yumurtada metabolize edilmeyen veya atılmayan miktarlar olarak tanımlanmaktadır. Kalıntıların oluşumunda, ilaç dozajı, uygulama yolu, hayvanın metabolik durumu, ilaç farmakokinetik özellikleri ve yoksunluk süresi gibi faktörler etkili olmaktadır (Baynes ve ark., 2016).

Kırmızı et üretiminde en yaygın kullanılan ve kalıntı riski taşıyan anti-

biyotik grupları şunlardır:

Beta-laktamlar (Penisilinler ve Sefalosporinler): Geniş spektrumlu bakteriyel enfeksiyonlar da kullanılır. Penisilin G, amoksisilin ve seftiofur en yaygın kullanılan ajanlardır (Guardabassi ve Courvalin, 2006).

Tetrasiklinler: Oksitrasiklin ve klortetrasiklin, solunum yolu ve enterik enfeksiyonlarda sıkça kullanılır. Bu grup, yağ dokusunda birikimleriyle bilinir (Chopra ve Roberts, 2001).

Makrolidler: Tilmikosin ve tulathromycin gibi makrolidler, sıgırlarda solunum yolu hastalıklarında tercih edilir (Pyörälä ve ark., 2014).

Aminoglikozidler: Streptomisin ve gentamisin gibi aminoglikozidler, ciddi bakteriyel enfeksiyonlar da kullanılır ancak nefrotoksisite riski taşır (Chambers, 2006).

Florokinolonlar: Enrofloksasin ve danofloksasin, önemli insan ilaçları olan kinolonlarla çapraz direnç riski nedeniyle kısıtlı kullanılmaktadır (Collignon ve ark., 2009).

Sülfonamidler: Sülfonamid-trimetoprim kombinasyonları, çeşitli bakteriyel enfeksiyonlarda kullanılır (Schwarz ve ark., 2001).

2.3. Kalıntıların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Antibiyotik kalıntılarının insan sağlığı üzerindeki etkileri çok boyutludur ve endişe yaratmaktadır:

Alerjik Reaksiyonlar: Özellikle beta-laktam grubu antibiyotiklere karşı alerjik bireylerde, kalıntı seviyeleri bile anafilaktik şok dahil ciddi alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir (Dewdney ve ark., 1991). Penisilin alerjisi prevalansının genel popülasyonda %10 civarında olduğu tahmin edilmektedir (Idsoe ve ark., 1968).

Toksisite: Bazı antibiyotikler, özellikle kloramphenikol ve nitrofuranlar, kemik iliği süpresyonu ve kanser gibi ciddi toksik etkilere sahiptir. Bu nedenle, bu ilaçların gıda üreten hayvanlarda kullanımını birçok ülkede yasaklanmıştır (Shalaby ve ark., 2005).

Mikrobiyota Bozukluğu: Kronik düşük düzeyde antibiyotik maruziyeti, bağırsak mikrobiyotasının bileşimini ve işlevini bozabilir, bu da metabolik hastalıklar, obezite ve bağışıklık sistemi disfonksiyonuyla ilişkilendirilmiştir (Blaser, 2016).

Antimikrobiyal Direnç: En kritik endişe, kalıntıların bağırsak bakterilerinde direnç gelişimine seçici baskı oluşturması ve dirençli genlerin patojenlere transferidir (Economou ve Gousia, 2015). Bu süreç, klinik antibiyotiklerin etkinliğini tehdit etmektedir.

2.4. Antimikrobiyal Direnç Krizi

Antimikrobiyal direnç, 21. yüzyılın en büyük küresel sağlık tehdidi olarak kabul edilmektedir. CDC (2019) raporuna göre, sadece ABD’de her yıl 2.8 milyon antibiyotik dirençli enfeksiyon vakası görülmekte ve 35.000’den fazla kişi hayatını kaybetmektedir. Avrupa’da ise yıllık 33.000 ölüm antimikrobiyal dirençli enfeksiyonlara atfedilmektedir (Cassini ve ark., 2019).

Hayvancılıkta antibiyotik kullanımının antimikrobiyal dirençle bağlantısı giderek daha net hale gelmektedir. Marshall ve Levy (2011), hayvan kaynaklı dirençli bakterilerin gıda zinciri, çevresel kontaminasyon ve direkt temas yoluyla insanlara aktarılabilirliğini göstermiştir. Özellikle genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz (ESBL) üreten Enterobacteriaceae, metisiline dirençli Staphylococcus aureus (MRSA) ve florokuinolon dirençli Campylobacter türleri, hayvancılık kaynaklı önemli dirençli patojenler arasındadır (Silbergeld ve ark., 2008).

Bu bağlamda, et ürünlerinde antibiyotik kalıntıları yalnızca doğrudan toksik risk değil, aynı zamanda AMR rezervuarı olarak da görülmektedir. Tang ve ark. (2017), Çin’de süpermarketlerden alınan et örneklerinde yüksek oranda çoklu ilaç direncine sahip Escherichia coli izolatları bulmuşlardır.

3. Uluslararası Düzenlemeler ve Standartlar

3.1. Codex Alimentarius Standartları

Codex Alimentarius Komisyonu, FAO ve WHO tarafından ortaklaşa yürütülen uluslararası gıda standartları programıdır. Codex, veteriner ilaç kalıntıları için Maksimum Kalıntı Limitleri (MRL) belirlemekte ve bu limitler uluslararası ticaretin temelini oluşturmaktadır (Codex Alimentarius Commission, 2018).

Codex MRL’leri, kapsamlı risk değerlendirmesi sürecine dayanmaktadır. FAO/WHO Ortak Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (JECFA), farmakolojik, toksikolojik ve kalıntı tüketim verileri kullanarak Kabul Edilebilir Günlük Alım (ADI) değerlerini belirlemektedir (JECFA, 2019). MRL’ler, ADI’yi aşmayacak şekilde ve İyi Veterinerlik Uygulamaları (GVP) ile uyumlu olarak tespit edilmektedir.

2023 itibarıyla, Codex yaklaşık 75 farklı veteriner ilacı için et, süt, yumurta ve balık ürünlerinde MRL’ler belirlemiştir (Codex Alimentarius Commission, 2023). Ancak, tüm kullanılan antibiyotikler için Codex MRL’leri mevcut değildir ve bu durum uluslararası ticarete belirsizlikler yaratabilmektedir.

3.2. Avrupa Birliği Düzenlemeleri

Avrupa Birliği, veteriner ilaç kalıntıları konusunda dünyanın en katı düzenleyici çerçevesine sahiptir. Regulation (EC) No 37/2010, AB’de gıda üreten hayvanlarda kullanılacak ilaçları ve bunların MRL’lerini belirlemektedir

(European Commission, 2010). AB düzenlemeleri, önleyici prensibe dayalı olup, bir maddenin güvenliği kesin olarak kanıtlanana kadar kısıtlayıcı yaklaşım benimsemektedir.

AB, veteriner ilaçlarını dört kategoriye ayırmaktadır:

- **Liste A (Yasaklı maddeler):** Gıda üreten hayvanlarda kullanımını tamamen yasaktır. Kloramphenikol, nitrofuranlar, nitromidazoller ve hormonlar bu kategoridedir.

- **Liste B (İzinli maddeler):** MRL'leri belirlenen ve kontrol altında kullanılabilen maddelerdir.

- **Geçici MRL'ler:** Değerlendirme devam eden maddeler için geçici limitlerdir.

- **Değerlendirme dışı maddeler:** Yeterli veri olmayan veya değerlendirme yapılmayan maddelerdir.

Commission Directive 96/23/EC, üye ülkelerin veteriner ilaç kalıntıları için ulusal izleme planları uygulamasını zorunlu kılmaktadır (European Commission, 1996). Bu planlar, hem yerel üretim hem de ithalat açısından risk bazlı örnekleme ve analiz gereksinimlerini içermektedir.

AB, büyüme olarak antibiyotik kullanımını 2006 yılında tamamen yasaklamıştır (Regulation EC 1831/2003). Bu öncü düzenleme, diğer ülkeler için model oluşturmuştur (Casewell ve ark., 2003).

3.3. Amerika Birleşik Devletleri Düzenlemeleri

ABD'de FDA (Food and Drug Administration), veteriner ilaçlarının düzenlenmesinden sorumludur. FDA, Tolerance/MRL değerlerini belirlemede ve bunlara uyumu USDA-FSIS (Food Safety and Inspection Service) izlemektedir (FDA, 2018).

ABD'nin yaklaşımı, AB'ye göre görece daha esnek olup, risk-fayda değerlendirmesine dayalıdır. Örneğin, AB'de yasaklı olan bazı büyüme hormonları (ractopamine gibi beta-agonistler) ABD'de belirli koşullar altında kullanılabilir. Bu farklılık, AB-ABD arasında uzun süreli ticari anlaşmazlıklara neden olmuştur (Golan ve ark., 2004).

FDA, 2013 yılında Guidance for Industry #209 ve #213 ile hayvan yemlerinde tıbbi açıdan önemli antibiyotiklerin büyüme amaçlı kullanımını gönüllü olarak aşamalı olarak kaldırma politikası başlatmıştır (FDA, 2013). 2017 itibarıyla, bu politika önemli ölçüde uygulanmaya başlanmıştır.

USDA-FSIS, Ulusal Kalıntı Programı (NRP) çerçevesinde yıllık yaklaşık 100.000 hayvan dokusunda kalıntı analizi yapmaktadır (USDA-FSIS, 2020). Program, risk bazlı örnekleme yaklaşımı kullanmakta ve ihlal durumunda yaptırım uygulamaktadır.

3.4. Diğer Önemli İthalatçı Pazarlar

Çin: Dünya'nın en büyük et ithalatçılarından biri olan Çin, veteriner ilaç kalıntıları konusunda katı standartlar uygulamaktadır. GB 31650-2019 standardı, et ürünlerinde veteriner ilaç kalıntıları için MRL'leri belirlemektedir (China MARA, 2019). Çin, ractopamine kullanımına "sıfır tolerans" politikası uygulamakta, bu da bazı ülkelerin Çin pazarına erişimini zorlaştırmaktadır.

Japonya: Japonya, Gıda Sanitasyon Yasası kapsamında veteriner ilaç kalıntıları için pozitif liste sistemi uygulamaktadır. MRL belirlenmemiş herhangi bir maddenin varlığı, ürünün reddine neden olmaktadır (MHLW, 2006).

Güney Kore: Koreli tüketiciler gıda güvenliğine yüksek hassasiyet göstermekte ve ülke katı ithalat kontrolleri uygulamaktadır. Kore Gıda ve İlaç Dairesi (MFDS), düzenli olarak ithal et ürünlerinde kalıntı analizleri yapmaktadır (MFDS, 2021).

Körfez İşbirliği Konseyi (GCC) ülkeleri: Suudi Arabistan, BAE ve diğer GCC ülkeleri, helal standartlarının yanı sıra veteriner ilaç kalıntıları için de sıkı kontroller uygulamaktadır (Halal ve ark., 2014).

3.5. Düzenlemeler Arası Farklılıklar ve Harmonizasyon Zorlukları

Farklı ülkeler ve bölgeler arasında MRL'lerde önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, uluslararası ticaret için engel oluşturabilmektedir. Örneğin, ractopamine için ABD'de belirlenen MRL bulunurken, AB, Çin ve Rusya'da yasaklanmıştır (Hollis ve Ahmed, 2013). Bu durum, ABD et ihracatçıları için bu pazarlara erişimi engellemektedir.

Benzer şekilde, farklı ülkelerin analitik metodları, tespit limitleri ve örnekleme protokollerinde farklılıklar, teknik ticaret engelleri yaratabilmektedir. Dünya Ticaret Örgütü'nün Sanitasyon ve Fitosanitasyon (SPS) Anlaşması, standartların bilimsel temellere dayanmasını ve ayrımcı olmamasını gerektirmekte, ancak uygulamada anlaşmazlıklar devam etmektedir (WTO, 2021).

OIE (Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü), veteriner ilaç kullanımı ve kalıntı kontrolü için uluslararası standartlar geliştirerek harmonizasyona katkıda bulunmaktadır (OIE, 2019). Ancak, egemenlik hakları ve farklı risk algıları nedeniyle tam harmonizasyon zorlu olmaktadır.

4. Kalıntı İzleme ve Kontrol Sistemleri

4.1. Kalıntı Analiz Metodları

Modern kalıntı analizi, yüksek duyarlılık ve özgüllük gerektirmektedir. Çeşitli analitik teknikler kullanılmaktadır:

Mikrobiyolojik Tarama Testleri: Hızlı, ucuz ve tarama amaçlıdır. Antibiyotik varlığını bakteriyel büyüme inhibisyonu yoluyla tespit eder. Örnek olarak Premi Test, Delvotest ve Charm testleri verilebilir (Gaudin ve ark., 2010). Bu testler genellikle ilk tarama aşamasında kullanılır ancak özgüllük eksikliği nedeniyle pozitif sonuçlar doğrulama gerektirir.

İmmunolojik Metodlar: ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) gibi testler, spesifik antibiyotikler veya antibiyotik grupları için antikor bazlı tanımlama sağlar. Hızlı ve nispeten ucuzdur ancak çapraz reaksiyonlar olabilir (Wang ve ark., 2006).

Kromatografik Metodlar: En yaygın doğrulama metodu HPLC (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi) ve LC-MS/MS (Sıvı Kromatografisi-Tandem Kütle Spektrometrisi) dir. Bu metodlar, çok düşük konsantrasyonlarda bile birden fazla antibiyotiği aynı anda tespit edebilir (Kaufmann ve ark., 2014).

Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi (GC-MS): Uçucu ve yarı-uçucu bileşikler için kullanılır, ancak veteriner ilaçları için LC-MS/MS daha yaygındır (Peters ve ark., 2009).

Biyosensörler ve Hızlı Testler: Yeni teknolojiler, lateral akış testleri ve nanomateryal bazlı sensörler gibi saha kullanımına uygun hızlı testler geliştirmektedir (Liu ve ark., 2012). Bu teknolojiler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kaynak kısıtlamaları nedeniyle önem kazanmaktadır.

4.2. Ulusal Kalıntı İzleme Programları

Etkin kalıntı kontrolü, kapsamlı ulusal izleme programları gerektirir. Bu programlar genellikle şu bileşenleri içerir:

Risk Bazlı Örnekleme: Yüksek riskli hayvan kategorileri, üretim sistemleri ve coğrafi bölgelere odaklanma (Hoogenboom ve ark., 2003).

Çok Aşamalı Yaklaşım: Çiftlik düzeyinde, mezbahalarda ve perakende aşamasında örnekleme (Boobis ve ark., 2008).

Multi-Rezidü Analiz: Tek analizde birden fazla ilaç kalıntısının tespiti (Kaufmann, 2009).

Veri Yönetimi ve İzlenebilirlik: Pozitif sonuçların kaynağa kadar izlenmesi ve müdahale (Schwägele, 2005).

Düzeltilici Eylemler: İhlal durumunda ürün geri çekme, üretici yaptırımları ve iyileştirici önlemler (Donoghue, 2003).

AB üye ülkeleri, Commission Directive 96/23/EC uyarınca yıllık olarak kapsamlı ulusal kalıntı izleme planları uygulamakta ve sonuçları Komisyon'a raporlamaktadır (European Commission, 2019). Bu raporlar, AB'nin genel kalıntı durumunu ve trend analizlerini göstermektedir.

4.3. Üçüncü Ülke Kalıntı Kontrolleri ve Eşdeğerlik Değerlendirmesi

Uluslararası ticarete, ithalatçı ülkeler ihracatçı ülkelerin kalıntı kontrol sistemlerinin eşdeğerliğini değerlendirmektedir. AB, üçüncü ülkelere et ithalatı için onaylanmış ülke listesi tutmakta ve bu ülkelerin kontrol sistemlerini düzenli olarak denetlemektedir (Regulation EC 854/2004).

Eşdeğerlik değerlendirmesi şu unsurları içerir:

- Yasal çerçeve ve düzenleyici kapasite
- Ulusal kalıntı izleme programının yeterliliği
- Laboratuvar kapasitesi ve akreditasyonu
- Sertifikasyon ve izlenebilirlik sistemleri
- Sınır kontrolleri ve yaptırım mekanizmaları

Eşdeğerlik tanınmayan ülkelere ithalat ya tamamen yasaklanmakta ya da her sevkiyat için yoğun kontrollere tabi tutulmaktadır. Bu durum, gelişmekte olan ülkeler için önemli bir ticaret engeli oluşturmaktadır (Henson ve Jaffee, 2008).

4.4. Özel Sektör Kalite Güvence Sistemleri

Pek çok işletme, düzenleyici gereksinimlerin ötesinde gönüllü kalıntı kontrol programları uygulamaktadır. Bunlar şunları içerir:

Sertifikasyon Programları: GlobalGAP, BRC, IFS gibi standartlar, kalıntı kontrollerini gerektirmektedir (Henson ve Humphrey, 2010).

Antibiyotiksiz/Organik Programlar: “Raised Without Antibiotics” (RWA), “No Antibiotics Ever” (NAE) gibi etiketler, sıfır tolerans politikası uygulamakta ve yoğun testler yapmaktadır (Kijlstra ve Eijck, 2006).

Tedarik Zinciri Yönetimi: Entegre et şirketleri, kendi çiftliklerinde ve sözleşmeli üreticilerinde veteriner ilaç kullanımını sıkı şekilde kontrol etmektedir (Reardon ve ark., 2009).

Üçüncü Parti Testleri: Bağımsız laboratuvarlar tarafından periyodik doğrulama testleri (Lopes ve ark., 2012).

Bu gönüllü sistemler, pazar farklılaştırması ve tüketici güveni kazanma amacıyla uygulanmakta ve genellikle yasal gereksinimlerden daha katı standartlar içermektedir.

5. Kalıntı Kontrollerinin Maliyetleri ve Ekonomik Etkileri

5.1. Doğrudan Maliyet Bileşenleri

Antibiyotik kalıntı kontrollerinin maliyetleri, üretim zincirinin çeşitli aşamalarında ortaya çıkmaktadır:

Laboratuvar Analiz Maliyetleri: Kalıntı analizleri önemli maliyetler içermektedir. Temel tarama testleri örnekbaşına 5-15 ABD doları, LC-MS/MS gibi doğrulama testleri ise 50-200 ABD doları arasında değişmektedir (Stolker ve Brinkman, 2005). Multi-rezidü analizler daha maliyetlidir ancak birim başına maliyet avantajı sağlamaktadır.

Örnekleme ve Lojistik Maliyetler: Numune toplama, muhafaza, transport ve zincir yönetimi maliyetleri eklenmelidir (Reig ve Toldrá, 2008). Soğuk zincir gereksinimleri, özellikle geniş coğrafi alanlarda bu maliyetleri artırmaktadır.

Altyapı ve Ekipman Yatırımları: Akredite laboratuvar kurulumu, modern analitik ekipmanlar ve periyodik kalibrasyon önemli sermaye yatırımları gerektirmektedir. Tam donanımlı bir kalıntı analiz laboratuvarının kurulum maliyeti 500.000-2 milyon ABD doları arasında değişebilmektedir (Kantiani ve ark., 2010).

Personel ve Eğitim Maliyetleri: Kalifiye laboratuvar personeli, veterinerler, örnekleme görevlileri ve veri yönetimi uzmanları istihdamı sürekli maliyet oluşturmaktadır (Donoghue, 2003).

Kayıt Tutma ve İzlenebilirlik Sistemleri: Veteriner ilaç kullanım kayıtları, yem kayıtları, tedavi protokolleri ve izlenebilirlik yazılımları maliyetler içermektedir (Schwägele, 2005).

Samkange ve ark. (2010), Güney Afrika'daki mezbahalarda kalıntı izleme maliyetlerinin hayvan başına 2-5 ABD doları arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu maliyetler, işletme ölçeğine ve örnekleme yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

5.2. Dolaylı Maliyetler ve Üretim Değişiklikleri

Kalıntı kontrollerinin dolaylı maliyetleri de önemlidir:

Veteriner İlaç Maliyetleri: Onaylı ve izlenebilir ilaçların kullanımını, gayri resmi veya ucuz alternatiflere göre daha maliyetli olabilmektedir. Ancak, bu maliyet artışı güvenlik ve uyum açısından gereklidir (Lhermie ve ark., 2016).

Yoksunluk Süresi Yönetimi: Antibiyotik uygulanan hayvanların yoksunluk süresine uyması, pazarlama esnekliğini azaltır ve bazen ekonomik kayıplara neden olabilir (Baynes ve ark., 2016). Mitchell ve ark. (1998), yoksunluk süresi yönetiminin besicilikte hayvan başına 5-15 ABD doları maliyet ekleyebileceğini göstermiştir.

Hastalık Yönetimi Değişiklikleri: Antibiyotik kullanımını azaltma çabaları, alternatif hastalık önleme stratejilerine yatırım gerektirir. Aşılama programları, biyogüvenlik önlemleri ve geliştirilmiş yönetim uygulamaları ek maliyetler oluşturmaktadır (Aarestrup, 2015).

Üretim Verimliliği Etkileri: Özellikle büyüme yasaklarının ardından, üretim performansında kısa vadeli düşüşler gözlenebilmektedir. Graham ve ark. (2007), AB'de AGP yasakından sonra kanatlı ve domuz sektörlerinde yem dönüşüm oranlarında %2-5 kötüleşme bildirmişlerdir. Ancak, sığır besiciliğinde etki daha sınırlı olmuştur.

5.3. Uyumsuzluk Maliyetleri: Ürün Reddi ve Yaptırımlar

Kalıntı standartlarına uyumsuzluğun maliyetleri ağır olabilmektedir:

Ürün Geri Çekme ve İmha: Kalıntı tespit edilen partiler geri çekilir ve imha edilir, bu da doğrudan finansal kayba neden olur (Buzby ve ark., 2001).

İthalat Reddi: Uluslararası ticarete kalıntı ihlalleri, tüm sevkiyatın reddine ve nakliye maliyetlerinin kayıplarına yol açar (Otsuki ve ark., 2001). Bu kayıplar, ürün değerinin yanı sıra lojistik masrafları da içermektedir.

Pazar Yasakları: Tekrarlanan ihlaller, ülke veya işletme düzeyinde ihracat yasaklarına neden olabilir. Örneğin, 2002 yılında Çin'den AB'ye bal ihracatı, kloramphenikol kalıntıları nedeniyle yasaklanmış ve bu yasak yıllarca sürmüştür (Bolognesi ve Perrone, 2002).

İdari Yaptırımlar ve Cezalar: Düzenleyici ihlaller, para cezaları, lisans iptali ve hapis cezaları gibi yaptırımlar içerebilir (Donoghue, 2003).

İtibar Kaybı: Kalıntı skandalları, marka değerine ciddi zarar verebilir ve tüketicinin güvenini uzun süreli etkileyebilir. Teratanavat ve Hooker (2006), gıda güvenliği skandallarının şirket hisse değerlerinde önemli düşümlere neden olduğunu göstermiştir.

Buzby ve Chandran (2003), ABD'de gıda güvenliği kaynaklı ürün geri çekmelerinin et sektörüne yıllık ortalama 356 milyon dolar maliyete neden olduğunu tahmin etmişlerdir.

5.4. Maliyet-Fayda Analizi

Kalıntı kontrollerinin maliyetlerine rağmen, faydaları önemlidir:

Halk Sağlığı Kazanımları: Azalan gıda kaynaklı hastalıklar ve antimikrobiyal direncin yavaşlatılması, makroekonomik faydalar sağlamaktadır. Roberts ve ark. (2003), ABD'de kalıntı kontrol programlarının her yatırılan 1 dolar için 3-5 dolar sağlık kazancı sağladığını tahmin etmişlerdir.

Pazar Erişimi ve İhracat Gelirleri: Uluslararası standartlara uyum, ihracat pazarlarına erişim sağlamak ve prim fiyatlara olanak tanımaktadır (Jaffee ve Masakure, 2005).

Tüketici Güveni: Etkin kalıntı kontrolleri, tüketici güvenini artırarak iç pazar talebini desteklemektedir (Loureiro ve Umberger, 2007).

Uzun Vadeli Rekabet Avantajı: Proaktif kalıntı yönetimi, geleceğin daha katı düzenlemelerine hazırlık sağlamakta ve sürdürülebilir rekabet avantajı oluşturmaktadır (Porter ve van der Linde, 1995).

6. Kalıntı Kontrollerinin Rekabet Gücüne Etkileri

6.1. İşletme Düzeyinde Rekabet Dinamikleri

Antibiyotik kalıntı kontrollerinin işletme düzeyinde rekabet üzerinde asimetrik etkileri bulunmaktadır:

Ölçek Ekonomileri: Büyük entegre et üreticileri, kalıntı kontrol maliyetlerini daha iyi absorbe edebilmektedir. Laboratuvar altyapısı, uzman personel ve teknoloji yatırımları, büyük işletmelerde birim başına daha düşük maliyetle sonuçlanmaktadır (MacDonald ve McBride, 2009). Bu durum, sektörde konsolidasyona katkıda bulunabilmektedir.

Teknik Kapasite Avantajı: Modern tesisler ve iyi yönetim sistemlerine sahip işletmeler, kalıntı risklerini daha iyi yönetebilmekte ve uyum maliyetlerini minimize edebilmektedir (Meuwissen ve ark., 2007).

Marka Farklılaştırması: Kaliteli kalıntı kontrol sistemleri, premium marka oluşturma ve niş pazarlara erişim için kullanılabilir. “Antibiyotiksiz”, “organik” ve “doğal” etiketleri, yüksek fiyat primlerine erişim sağlamaktadır (Lusk ve Parker, 2009).

Tedarik Zinciri Kontrolü: Entegre üreticiler, çiftlikten sofraya tüm zinciri kontrol ederek kalıntı risklerini minimize edebilmektedir. Sözleşmeli üreticilerle çalışan şirketler, veteriner ilaç kullanımını protokoller ve denetimlerle düzenlemektedir (Martinez, 2002).

Öte yandan, küçük ve orta ölçekli üreticiler için zorluklar daha belirgindir:

Finansal Kısıtlar: Sınırlı sermaye ve nakit akışı, gerekli yatırımları ve testleri engelleyebilir (Humphrey ve Memedovic, 2006).

Teknik Bilgi Eksikliği: Veteriner ilaç kullanımı, yoksunluk süreleri ve kayıt tutma konusunda yetersiz bilgi, uyumsuzluk riskini artırmaktadır (Donoghue, 2003).

Pazarlık Gücü Eksikliği: Küçük üreticiler, kalıntı kontrol maliyetlerini alıcılara yansıtmakta zorlanmaktadır (Reardon ve Timmer, 2007).

6.2. Sektörel Rekabet ve Konsolidasyon

Katı kalıntı düzenlemeleri, et sektöründe yapısal değişikliklere katkıda bulunmaktadır:

Pazar Konsolidasyon Eğilimleri: Yüksek uyum maliyetleri, marjinal işletmeleri pazar dışına itmekte ve büyük firmaların pazar payını artırmak-

tadır. MacDonald ve ark. (2004), ABD sığır besiciliğinde konsolidasyonun bir kısmının gıda güvenliği düzenlemelerinden kaynaklandığını göstermiştir.

Değer Zinciri Reorganizasyonu: Modern perakende zincirleri, kalıntı kontrolü yapabilen sertifikalı tedarikçilerle çalışmayı tercih etmektedir. Bu durum, geleneksel üreticilerin modern değer zincirlerinden dışlanmasına neden olabilmektedir (Berdegué ve ark., 2005).

Uzmanlık ve İş Bölümü: Bazı bölgelerde, kalıntı testleri ve sertifikasyon hizmetleri sağlayan üçüncü parti kuruluşlar gelişmekte ve küçük üreticilere hizmet vermektedir (Fulponi, 2006).

6.3. Bölgesel ve Ülke Düzeyinde Rekabet

Kalıntı kontrol kapasitesi, ülkeler arasında rekabet avantajı belirlemektedir:

Gelişmiş Ülke Avantajları: İyi kurulmuş düzenleyici sistemler, laboratuvar altyapısı ve teknik uzmanlık, gelişmiş ülkelere rekabet avantajı sağlamaktadır. Avustralya, Yeni Zelanda, ABD, Brezilya, Arjantin ve bazı AB ülkeleri, güçlü kalıntı kontrol sistemleriyle tanınmaktadır (Garcia Martinez ve Poole, 2004).

Gelişmekte Olan Ülke Zorlukları: Zayıf düzenleyici kapasite, yetersiz laboratuvar altyapısı ve teknik bilgi eksikliği, birçok gelişmekte olan ülkenin uluslararası pazar erişimini sınırlamaktadır (Henson ve Jaffee, 2008). Bu ülkeler, genellikle düşük fiyatlı bölgesel pazarlara odaklanmak zorunda kalmaktadır.

Orta Gelir Tuzağı: Bazı gelişmekte olan ülkeler, düşük maliyetli üretim avantajlarını kaybetmekte ancak yüksek kaliteli pazarlara erişim için gerekli standartları henüz karşılayamamaktadır. Bu durum, rekabet gücü açısından zorlu bir konumlandırma yaratmaktadır (Humphrey ve Memedovic, 2006).

6.4. Teknoloji ve İnovasyon Kapasitesi

Kalıntı yönetiminde teknolojik kapasite, rekabet avantajı sağlamaktadır:

Hassas Hayvancılık Teknolojileri: Bireysel hayvan izleme, otomatik kayıt sistemleri ve veri analitiği, kalıntı risklerini minimize etmektedir (Wathes ve ark., 2008).

Hızlı Tanı Testleri: Saha kullanımına uygun hızlı testler, anlık karar almayı desteklemekte ve uyumsuzluk riskini azaltmaktadır (Liu ve ark., 2012).

Blockchain ve İzlenebilirlik: Dijital izlenebilirlik sistemleri, şeffaflık ve güven oluşturarak prim fiyatlara erişim sağlamaktadır (Tian, 2017).

Alternatif Hastalık Yönetim Araçları: Probiyotikler, aşılar, immuno-modülatörler ve hassas beslenme stratejileri, antibiyotik bağımlılığını azalt-

maktadır (Seal ve ark., 2013).

İnovasyona yatırım yapabilen ülkeler ve işletmeler, uzun vadeli rekabet avantajı elde etmektedir.

7. Kalıntı Kontrollerinin İhracat Performansına Etkileri

7.1. Pazar Erişimi ve Ticaret Akışları

Antibiyotik kalıntı kontrolleri, uluslararası et ticaretinde kritik bir belirleyicidir:

İhracat İzni ve Onaylar: Çoğu ithalatçı ülke, ihracatçı ülkelerin veteriner hizmetlerini ve kalıntı kontrol sistemlerini değerlendirmekte, onaylı ülkelerden ithalata izin vermektedir. AB'nin üçüncü ülke onay sistemi, bu yaklaşımın en kapsamlı örneğidir (European Commission, 2019).

Ticaret Akışlarının Yönlendirilmesi: Kalıntı düzenlemeleri, ticaret akışlarını şekillendirmektedir. Örneğin, ractopamine yasakları nedeniyle, ABD et ihracatının Çin ve Rusya yerine Japonya, Güney Kore (sınırlı) ve Meksika'ya yöneldiği görülmektedir (Hollis ve Ahmed, 2013).

Bölgesel Ticaret Bloklarının Oluşumu: Benzer standartlara sahip ülkeler arasında ticaret kolaylaşmaktadır. Mercosur ülkeleri (Brezilya, Arjantin, Uruguay, Paraguay) aralarında harmonize veteriner standartları uygulamaktadır (Vinholis ve Azevedo, 2018).

Otsuki ve ark. (2001), gıda güvenliği standartlarının gelişmekte olan ülkelere AB'ye gıda ihracatını önemli ölçüde etkilediğini, katı aflatoksin standartlarının Sahraaltı Afrika ülkelerinden AB'ye kuruyemiş ihracatını %64 azalttığını göstermiştir. Benzer etkiler, veteriner ilaç kalıntıları için de geçerlidir.

7.2. İhracat Performansı Üzerindeki Ampirik Kanıtlar

Çeşitli çalışmalar, kalıntı kontrollerinin ihracat performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir:

Pozitif Etkiler: Jaffee ve Masakure (2005), Zimbabwe'deki ihracatçı bahçecilik işletmelerinin EurepGAP (şimdi GlobalGAP) sertifikasyonu sonrasında ihracat gelirlerinde %38 artış yaşadığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Henson ve ark. (2005), Vietnam deniz ürünleri sektöründe HACCP sertifikasyonunun ihracat gelirlerini %30-50 artırdığını göstermiştir.

Dışlama Etkileri: Xiong ve Beghin (2014), sıkı gıda güvenliği standartlarının özellikle küçük ihracatçı ülkeler için sabit maliyet engelleri oluşturduğunu ve pazar giriş olasılığını azalttığını bulmuşlardır.

Firma Düzeyi Heterojenlik: Colen ve ark. (2012), Senegal'deki balık ihracatçıları arasında, AB standartlarını karşılayabilen büyük ve iyi yönetilen

firmaların ihracat performansının arttığını, ancak küçük firmalarının pazar dışına itildiğini göstermiştir.

Kırmızı et sektöründe özel olarak, Beghin ve Bureau (2001), AB'nin veteriner düzenlemelerinin gelişmekte olan ülkelerden et ithalatını önemli ölçüde sınırladığını ancak onaylı ihracatçılar için prim fiyatlar sağladığını tespit etmişlerdir.

7.3. Kalıntı Skandalları ve İhracat Yasaklarının Etkileri

Kalıntı skandalları, ihracat performansı üzerinde yıkıcı etkilere sahip olabilmektedir:

Çin Örnekleri: 2002 yılında Çin'den AB'ye bal ihracatı, kloramfenikol kalıntıları nedeniyle yasaklanmıştır. Bu yasa, Çin bal endüstrisine milyonlarca dolar kaybettirmiş ve sadece 2004 yılında kısmi olarak kaldırılabilmiştir (Bolognesi ve Perrone, 2002). Benzer şekilde, 2008 melamin skandalı, Çin süt ürünleri ihracatını uzun süre olumsuz etkilemiştir.

Hindistan Örneği: 2014 yılında AB, Hindistan'dan ithal edilen bazı deniz ürünleri sevkiyatlarında antibiyotik kalıntıları tespit etmiş ve kontrolleri yoğunlaştırmıştır. Bu durum, Hindistan deniz ürünleri ihracatının maliyetlerini artırmış ve pazar payında azalmalara neden olmuştur (Rajendran ve ark., 2016).

Brezilya Örneği: 2000'li yılların başında Brezilya tavuk etinde nitrofuran kalıntıları tespit edilmesi, AB'ye ihracatta geçici yasaklara ve sıkı denetimlere neden olmuştur. Brezilya, sıkı izleme programları uygulayarak güveni yeniden kazanmış ve ihracatını artırmıştır (Molento, 2005).

Bu örnekler, kalıntı yönetiminde proaktif yaklaşımın önemini ve kriz yönetimi kapasitesinin rekabet gücü için kritik olduğunu göstermektedir.

7.4. Fiyat Primleri ve Pazar Segmentasyonu

Etkin kalıntı kontrolleri, pazar segmentasyonu ve fiyat primleri yoluyla değer yaratabilmektedir:

Premium Pazarlar: AB, Japonya, Güney Kore gibi yüksek gelirli pazarlar, katı kalıntı standartlarını karşılayan ürünler için prim fiyatlar ödemektedir. Loureiro ve Umberger (2007), ABD tüketicilerinin antibiyotiksiz etiketli et için %13-26 daha fazla ödemeye istekli olduklarını bulmuşlardır.

Niş Pazarlar: Organik, antibiyotiksiz ve sertifikalı et ürünleri, geleneksel ürünlere göre %30-100 fiyat primlerine ulaşabilmektedir (Darby ve ark., 2008).

Helal ve Kosher Pazarlar: İslami ve Yahudi pazarlar, dini gereksinimlerin yanı sıra yüksek kalite ve güvenlik standartları talep etmektedir. Bu pazarlara erişim, hem standart uyumu hem de kültürel hassasiyetleri gerektir-

mektedir (Halal ve ark., 2014).

Kurumsal Alıcılar: Uluslararası fast-food zincirleri, süpermarket zincirleri ve gıda hizmeti şirketleri, tedarikçilerinden kapsamlı kalıntı güvenceleri talep etmektedir. Bu alıcılarla sözleşme yapmak, hacim ve fiyat stabilitesi sağlamaktadır (Reardon ve ark., 2009).

7.5. Ülke Örnek Çalışmaları

Brezilya: Dünyanın en büyük sığır eti ihracatçısı olan Brezilya, kapsamlı kalıntı izleme programı (PNCRC - Plano Nacional de Controle de Resíduos) uygulamaktadır. Program, yıllık yaklaşık 50.000 numune analizi yapmakta ve AB, ABD, Çin ve diğer pazarlara erişimi sağlamaktadır (MAPA, 2020). Brezilya'nın başarısı, federal hükümet, eyalet veteriner hizmetleri ve özel sektör arasındaki güçlü koordinasyona dayanmaktadır.

Avustralya: Avustralya, düşük antibiyotik kullanımı ve güçlü biyogüvenlik sistemleriyle tanınmaktadır. Ulusal Kalıntı Araştırma (NRS) programı, kapsamlı tarama yapmaktadır (Australian Government, 2020). Avustralya eti, "temiz ve yeşil" imajıyla yüksek fiyat primlerine erişmektedir.

Uruguay: Küçük bir ülke olan Uruguay, kalite odaklı ihracat stratejisi izlemektedir. %100 çayır besili sığır eti ve sıfır hormon/antibiyotik büyüme politikası, Avrupa ve Kuzey Amerika premium pazarlarına erişim sağlamaktadır (INAC, 2019).

Kenya: Kenya'nın et ihracatı, düzenleyici kapasite ve kalıntı kontrol zorlukları nedeniyle sınırlıdır. Henson ve Mitullah (2004), Kenya'nın AB pazarına erişiminin sınırlı olduğunu ve önemli yatırımlar gerektirdiğini göstermiştir.

8. Politika Boyutları ve Kapasite Geliştirme

8.1. Ulusal Politika Yaklaşımları

Etkin antibiyotik kalıntı yönetimi, kapsamlı ulusal politikalar gerektirir:

İhtiyatlı Antibiyotik Kullanım (Antimicrobial Stewardship) Programları: Veteriner sektöründe antibiyotik kullanımının izlenmesi, düzenlenmesi ve azaltılması. WHO, FAO ve OIE'nin Antimikrobiyal Dirençle Mücadelede Tek Sağlık (One Health) yaklaşımı, bu programların temelini oluşturmaktadır (WHO/FAO/OIE, 2018).

Reçete Gereksinimleri ve Veteriner Gözetimi: Birçok ülke, veteriner ilaçlarının sadece reçete ile verilmesini ve veteriner gözetimi altında kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak, gelişmekte olan ülkelerde reçetesiz satış ve kendi kendine tedavi hala yaygındır (Catry ve ark., 2003).

Büyüme Yasakları: AB, büyüme olarak antibiyotik kullanımını 2006'da yasaklamış, ABD 2017'de gönüllü aşamalı kaldırma uygulamış, Çin 2020'de

yasaklamıştır. Bu politikalar, kalıntı risklerini azaltmada önemli rol oynamaktadır (Tang ve ark., 2017).

Ulusal Kalıntı İzleme Altyapısı: Akredite laboratuvarlar, eğitimli personel ve veri yönetim sistemleri, etkin kontrol için gereklidir. Gelişmekte olan ülkelerde bu altyapının kurulması, önemli yatırım ve teknik destek gerektirir (Henson ve Jaffee, 2008).

8.2. Uluslararası İşbirliği ve Teknik Yardım

Kapasite geliştirme, uluslararası destek gerektirir:

Codex Alimentarius Güven Fonu (CTF): Gelişmekte olan ülkelerin Codex standart oluşturma süreçlerine katılımını desteklemektedir (Codex, 2019).

Standartlar ve Ticaret Geliştirme Programı (STDF): WTO, FAO, WHO, OIE ve Dünya Bankası ortaklığında, gelişmekte olan ülkelerin SPS kapasitesini geliştirmektedir (STDF, 2020).

İkili Teknik İşbirliği Programları: AB, ABD, Avustralya gibi gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkelere veteriner ve gıda güvenliği altyapısı geliştirme için teknik ve mali destek sağlamaktadır (Garcia Martinez ve Poole, 2004).

Bölgesel Laboratuvar Ağları: Afrika, Asya ve Latin Amerika'da bölgesel referans laboratuvarları kurulmuş, teknik destek ve kapasite geliştirme sağlamaktadır (Jaffee ve ark., 2005).

8.3. Özel Sektör Rolü ve Ortaklıklar

Özel sektör, kalıntı yönetiminde önemli rol oynamaktadır:

Tedarik Zinciri İnisyatifleri: Büyük et işleyicileri ve perakendeciler, tedarikçilerine teknik destek, eğitim ve izleme sistemi sağlamaktadır (Reardon ve ark., 2009).

Sektör Dernekleri: Et üreticileri birlikleri, en iyi uygulamaları paylaşmakta, eğitim programları düzenlemekte ve sektörün çıkarlarını temsil etmektedir (Hobbs ve Kerr, 2006).

Kamu-Özel Ortaklıklar: Bazı ülkelerde, düzenleyici otoriteler ve özel sektör, kalıntı izleme programlarında işbirliği yapmakta, maliyetleri paylaşmakta ve verimliliği artırmaktadır (Henson ve Humphrey, 2010).

8.4. Eğitim ve Kapasite Geliştirme Programları

İnsan kaynakları kapasitesi, etkin kalıntı kontrolü için kritiktir:

Veteriner Eğitimi: Veteriner fakültelerinde ihtiyatlı antibiyotik kullanımı, farmakokinetik, kalıntı yönetimi ve halk sağlığı konularında kapsamlı

eğitim verilmesi gerekmektedir (Guardabassi ve ark., 2018).

Çiftlik Personeli Eğitimi: Hayvan yetiştiricileri, besiciler ve çiftlik işçilerine veteriner ilaç uygulama, kayıt tutma ve yoksunluk süresi yönetimi konularında pratik eğitimler verilmelidir (Donoghue, 2003).

Laboratuvar Personeli Yeterliliği: Kalıntı analizlerinde çalışan teknisyenlerin, kalite güvence prosedürleri ve analitik metodolojiler konusunda sürekli eğitim alması gereklidir (Reig ve Toldrá, 2008).

Düzenleyici Personel Kapasitesi: Denetçiler, risk değerlendirme uzmanları ve politika yapımcıların, güncel bilimsel bilgi ve uluslararası standartlarla donanımlı olması gerekmektedir (Henson ve Jaffee, 2008).

9. Gelecek Trendler ve Yeni Zorluklar

9.1. Antimikrobiyal Direnç Krizinin Derinleşmesi

Antimikrobiyal direnç tehdidi giderek artmakta ve daha sıkı düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır:

Son Çare Antibiyotikler: Kolistin gibi insan tıbbında son çare olan antibiyotiklerin hayvancılıkta kullanımı, global endişe yaratmaktadır. Çin’de 2016 yılında keşfedilen mobil kolistin direnci geni (mcr-1), hayvancılık kökenli olup hızla yayılmıştır (Liu ve ark., 2016). Bu durum, hayvancılıkta kritik antibiyotik kullanımına daha katı kısıtlamalar getirilmesini hızlandırmaktadır.

Tek Sağlık (One Health) Yaklaşımının Güçlenmesi: İnsan, hayvan ve çevre sağlığını entegre eden Tek Sağlık yaklaşımı, politika oluşturmada ana çerçeve haline gelmektedir. Bu yaklaşım, sektörler arası koordinasyon ve kapsamlı izleme gerektirir (Rabinowitz ve Conti, 2013).

Küresel Eylem Planları: WHO’nun Antimikrobiyal Direnç Küresel Eylem Planı (2015), ülkelerin ulusal eylem planları geliştirmesini ve hayvancılıkta antibiyotik kullanımını azaltmasını teşvik etmektedir (WHO, 2015).

9.2. Tüketici Taleplerindeki Değişim

Tüketici tercihleri, sektörü dönüştürücü baskılar yaratmaktadır:

Antibiyotiksiz Ürün Talebi: Özellikle gelişmiş ülkelerde, tüketiciler antibiyotik kullanılmadan yetiştirilen hayvanlardan elde edilen et talebini artırmaktadır. ABD’de “Raised Without Antibiotics” (RWA) etiketli et satışları yıllık %20-30 büyümektedir (Tonsor ve Wolf, 2012).

Şeffaflık ve İzlenebilirlik Beklentileri: Tüketiciler, satın aldıkları etin üretim sürecini, antibiyotik kullanım geçmişini ve test sonuçlarını öğrenmek istemektedir. QR kod bazlı izlenebilirlik sistemleri yaygınlaşmaktadır (Sander ve ark., 2018).

Hayvan Refahı İle Entegrasyon: Tüketiciler, antibiyotik kullanımını hayvan refahı ile ilişkilendirmektedir. Daha iyi bakım koşullarının antibiyotik ihtiyacını azalttığı algısı güçlenmektedir (Karavolias ve ark., 2018).

9.3. Teknolojik Yenilikler

Yeni teknolojiler, kalıntı yönetiminde devrim yaratma potansiyeline sahiptir:

Hızlı Tanı Teknolojileri: Lateral akış testleri, nanobiyosensörler ve lab-on-chip teknolojileri, anlık saha testlerini mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler, özellikle kaynak kısıtlı ortamlarda erişilebilir kalıntı kontrolü sağlayabilir (Sharma ve ark., 2015).

Yapay Zeka ve Büyük Veri: Makine öğrenimi algoritmaları, kalıntı risk tahmininde, veteriner ilaç kullanım paternlerinin analizinde ve erken uyarı sistemlerinde kullanılmaktadır (Wolfert ve ark., 2017).

Hassas Hayvancılık: Giyilebilir sensörler, otomatik izleme sistemleri ve bireysel hayvan yönetimi, hastalıkların erken tespitini ve hedefe yönelik tedaviyi mümkün kılarak, antibiyotik kullanımını azaltmaktadır (Neethirajan, 2017).

Alternatif Tedavi Yöntemleri: Bakteriyofajlar, antimikrobiyal peptidler, probiyotikler, prebiyotikler ve immunomodülatörler, antibiyotik alternatifi olarak araştırılmaktadır (Allen ve ark., 2013). Bu teknolojilerin ticari uygulanması, kalıntı sorununu temelden azaltabilir.

Blockchain ve Dijital İzlenebilirlik: Blockchain teknolojisi, veteriner ilaç kullanımından test sonuçlarına kadar tüm zincirin şeffaf ve değiştirilemez kaydını sağlayarak, güveni artırmaktadır (Tian, 2017).

9.4. Düzenleyici Ortamın Evrimi

Düzenleyici çerçeve dinamik şekilde gelişmektedir:

Daha Düşük MRL'ler ve Genişleyen Kapsam: Analitik metodların gelişmesiyle birlikte, tespit limitleri düşmekte ve düzenleyiciler daha düşük MRL'ler belirlemeye eğilim göstermektedir. Ayrıca, daha fazla madde düzenleme kapsamına girmektedir (Kantiani ve ark., 2010).

Risk Bazlı Yaklaşımların Güçlenmesi: Düzenleyiciler, tüm maddelere eşit odaklanmak yerine, halk sağlığı riski yüksek maddelere ve AMR gelişimine katkıda bulunan ajanlara öncelik vermektedir (FAO/WHO, 2019).

Bölgesel Harmonizasyon Çabaları: Bölgesel ekonomik bloklarda (AB, Mercosur, ASEAN) standart harmonizasyonu ilerlemektedir. Bu, ticaret kolaylaştırıcı etki yaratmaktadır (Vinholis ve Azevedo, 2018).

Özel Standartların Yükselişi: Perakende zincirleri ve gıda şirketleri, ya-

sal gereksinimleri aşan özel standartlar uygulamakta ve tedarikçilerden sıfır tolerans veya organik sertifikasyonlar talep etmektedir (Fulponi, 2006).

9.5. İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik Entegrasyonu

Gıda sistemlerinde sürdürülebilirlik, kalıntı yönetimiyle entegre olmaktadır:

Düşük Yoğunluklu Üretim Sistemleri: Çayır besili ve organik sistemler, düşük antibiyotik kullanımı ve çevresel faydalarla pazarlanmaktadır (Kijlstra ve Eijck, 2006).

Döngüsel Ekonomi Prensipleri: Hayvan atıklarında antibiyotik kalıntılarının çevreye salınımının azaltılması ve gübre yönetimi, sürdürülebilirlik gündeminde yer almaktadır (Manyi-Loh ve ark., 2018).

Karbon Ayak İzi ve Gıda Güvenliği Entegrasyonu: Tüketiciler ve politika yapımcılar, düşük karbon ve yüksek güvenlik standartlarını birlikte talep etmektedir. Bu, üretim sistemlerinde kapsamlı dönüşümler gerektirmektedir (de Boer ve ark., 2011).

10. Sonuç ve Öneriler

Antibiyotik kalıntı kontrolü, kırmızı et sektöründe rekabet gücü ve ihracat performansını belirleyen kritik bir faktör haline gelmiştir. Bu derleme çalışma, kalıntı yönetiminin çok boyutlu doğasını ve sektörel etkileri kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur.

10.1. Ana Bulgular

Küresel Sağlık Tehdidi: Antimikrobiyal direnç krizi, antibiyotik kalıntılarını teknik bir gıda güvenliği konusunun ötesine taşımış, küresel sağlık tehdidi olarak konumlandırmıştır. Bu durum, giderek artan düzenleyici baskılar ve tüketici duyarlılığı yaratmaktadır.

Asimetrik Rekabet Etkileri: Kalıntı kontrol gereksinimleri, işletmeler ve ülkeler arasında asimetrik etkilere sahiptir. Büyük, iyi yönetilen ve teknik kapasiteye sahip üreticiler, bu gereksinimleri karşılayarak rekabet avantajı elde ederken, küçük ve kaynak kısıtlı üreticiler zorluklarla karşılaşmaktadır.

İhracat Belirleyicisi: Uluslararası et ticaretinde, kalıntı kontrol sistemlerinin kalitesi ve güvenilirliği, pazar erişimini doğrudan belirlemektedir. Etkin sistemlere sahip ülkeler, yüksek değerli pazarlara erişim ve prim fiyatlar elde ederken, zayıf sistemlere sahip ülkeler dışlanma riskiyle karşı karşıyadır.

Maliyet-Fayda Dengesi: Kalıntı kontrollerinin önemli maliyetlerine rağmen, uzun vadeli faydaları (halk sağlığı, pazar erişimi, marka değeri) maliyetleri gerekçelendirmektedir. Ancak, bu faydaların dağılımı eşit değildir ve politika desteği gerektirir.

Teknoloji ve İnovasyonun Önemi: Hızlı testler, dijital izlenebilirlik, alternatif tedavi yöntemleri ve hassas hayvancılık teknolojileri, kalıntı yönetiminin maliyetlerini azaltma ve etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir.

10.2. Politika Önerileri

Ulusal Düzeyde:

1. Kapsamlı Antimikrobiyal Yönetim Programları: Ülkeler, Tek Sağlık yaklaşımını benimseyerek veteriner sektörde ihtiyatlı antibiyotik kullanım politikaları geliştirmelidir. Büyüme kullanımının yasaklanması, reçete gereksinimleri ve izleme sistemlerinin kurulması önceliklendirilmelidir.

2. Kalıntı İzleme Altyapısına Yatırım: Akredite laboratuvarlar, eğitimli personel ve modern analitik ekipmanlar için kamu yatırımları yapılmalıdır. Bölgesel laboratuvar ağları, maliyet etkinliği sağlayabilir.

3. Risk Bazlı ve Esneklik İçeren Düzenlemeler: Düzenleyici sistemler, işletme büyüklüğü ve risk profiline göre farklılaştırılmış yaklaşımlar benimsemeli, küçük üreticilere orantılı yükler getirmelidir.

4. Teknik Destek ve Mali İnsentifler: Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için, kalıntı kontrol yatırımlarına hibe, düşük faizli kredi ve teknik danışmanlık desteği sağlanmalıdır.

5. Eğitim ve Kapasite Geliştirme: Veterinerler, çiftçiler, laboratuvar personeli ve düzenleyiciler için kapsamlı ve sürekli eğitim programları uygulanmalıdır.

Uluslararası İşbirliği:

6. Standart Harmonizasyonu: Codex Alimentarius ve OIE standartlarının benimsenmesi ve bölgesel harmonizasyon çabaları desteklenmelidir. Bu, ticaret engellerini azaltacaktır.

7. Teknik Yardım ve Teknoloji Transferi: Gelişmiş ülkeler ve uluslararası kuruluşlar, gelişmekte olan ülkelere kalıntı kontrol kapasitesi oluşturma konusunda daha fazla teknik ve mali destek sağlamalıdır.

8. Eşdeğerlik Değerlendirmelerinde Esneklik: İthalatçı ülkeler, farklı ülkelerin sistemlerini değerlendirirken, risk bazlı ve sonuç odaklı yaklaşımlar benimsemeli, aşırı teknik engeller yaratmamalıdır.

Özel Sektör İçin:

9. Proaktif Kalıntı Yönetimi: İşletmeler, düzenleyici gereksinimlerden önce, proaktif kalıntı kontrol sistemleri kurmalı, bu sistemleri pazarlama avantajına dönüştürmelidir.

10. Tedarik Zinciri Sorumluluğu: Büyük et işleyicileri ve perakendeciler, tedarikçilerine teknik destek, eğitim ve en iyi uygulamaları paylaşarak,

tüm zincirde kalite yükseltilmesine katkıda bulunmalıdır.

11. Teknoloji ve İnovasyona Yatırım: Şirketler, hızlı testler, dijital izlenebilirlik ve alternatif hastalık yönetim araçlarına yatırım yapmalı, Ar-Ge işbirliklerine katılmalıdır.

12. Şeffaflık ve İletişim: Tüketicilere antibiyotik kullanımı, kalıntı kontrolleri ve güvenlik güvenceleri hakkında açık ve anlaşılır iletişim kurulmalıdır.

Araştırma ve Geliştirme:

13. Alternatif Tedavi Yöntemleri: Bakteriyofajlar, probiyotikler, immunomodulatörler gibi antibiyotik alternatiflerinin araştırılması ve ticari uygulanmasına destek verilmelidir.

14. Uygun Maliyetli Hızlı Testler: Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanılabilecek, uygun maliyetli, saha kullanımına uygun hızlı test teknolojileri geliştirilmelidir.

15. Ekonomik Etki Araştırmaları: Kalıntı kontrollerinin maliyet-fayda analizleri, farklı üretim sistemlerinde etkileri ve politika seçeneklerinin karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmalıdır.

10.3. Gelecek Perspektifi

Kırmızı et sektöründe antibiyotik kalıntı yönetimi, önümüzdeki yıllarda daha da kritik hale gelecektir. Antimikrobiyal direnç krizinin derinleşmesi, tüketici taleplerindeki değişim ve düzenleyici ortamın sıkılaşması, sektörü dönüştürücü baskılar yaratacaktır.

Bu zorluklar, aynı zamanda fırsatlar sunmaktadır. Proaktif yaklaşım benimseyen, teknolojiye yatırım yapan ve sürdürülebilir üretim sistemlerine geçiş yapan üreticiler ve ülkeler, uzun vadeli rekabet avantajı elde edeceklerdir. Antibiyotiksiz ve düşük kalıntılı üretim, niş pazar olmaktan çıkıp, ana akım beklenti haline gelmektedir.

Başarı, sadece düzenleyici uyumun ötesinde, tüm sektörün—hükümetler, özel sektör, araştırma kurumları ve uluslararası toplumun—koordineli çabalarını gerektirecektir. Tek Sağlık yaklaşımı, bu koordinasyonun çerçevesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, antibiyotik kalıntı kontrolü, kırmızı et sektöründe rekabet gücü ve ihracat performansını belirleyen stratejik bir faktördür. Bu alanda başarılı olan ülkeler ve işletmeler, 21. yüzyılın küresel et pazarında liderlik pozisyonlarını güçlendireceklerdir.

KAYNAKÇA

- Aarestrup, F. M. (2015). The livestock reservoir for antimicrobial resistance: a personal view on changing patterns of risks, effects of interventions and the way forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1670), 20140085.
- Allen, H. K., Levine, U. Y., Looft, T., Bandrick, M., & Casey, T. A. (2013). Treatment, promotion, commotion: antibiotic alternatives in food-producing animals. *Trends in Microbiology*, 21(3), 114-119.
- Australian Government, Department of Agriculture, Water and the Environment. (2020). *National Residue Survey (NRS) Annual Report 2019-20*. Canberra: Australian Government.
- Baynes, R. E., Dedonder, K., Kissell, L., Mzyk, D., Marmulak, T., Smith, G., Tell, L., Gehring, R., Davis, J., & Riviere, J. E. (2016). Health concerns and management of select veterinary drug residues. *Food and Chemical Toxicology*, 88, 112-122.
- Beghin, J. C., & Bureau, J. C. (2001). Quantitative policy analysis of sanitary, phytosanitary and technical barriers to trade. *Economie Internationale*, (87), 107-130.
- Berdegúe, J. A., Balsevich, F., Flores, L., & Reardon, T. (2005). Central American supermarkets' private standards of quality and safety in procurement of fresh fruits and vegetables. *Food Policy*, 30(3), 254-269.
- Beyene, T. (2016). Veterinary drug residues in food-animal products: its risk factors and potential effects on public health. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 7(1), 1-7.
- Blaser, M. J. (2016). Antibiotic use and its consequences for the normal microbiome. *Science*, 352(6285), 544-545.
- Bolognesi, C., & Perrone, E. (2002). Genotoxic effects of chloramphenicol on laboratory animals. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 512(2-3), 203-218.
- Boobis, A. R., Ossendorp, B. C., Banasiak, U., Hamey, P. Y., Sebestyen, I., & Moretto, A. (2008). Cumulative risk assessment of pesticide residues in food. *Toxicology Letters*, 180(2), 137-150.
- Buzby, J. C., & Chandran, R. (2003). *Valuing Consumer Losses from Unsafe Food Products* (Economic Information Bulletin No. 1). USDA Economic Research Service.
- Buzby, J. C., Frenzen, P. D., & Rasco, B. (2001). Product liability and microbial food-borne illness. *Agricultural Economic Report*, 799.
- Casewell, M., Friis, C., Marco, E., McMullin, P., & Phillips, I. (2003). The European ban on growth-promoting antibiotics and emerging consequences for human and animal health. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52(2), 159-161.
- Cassini, A., Högberg, L. D., Plachouras, D., Quattrocchi, A., Hoxha, A., Simonsen, G. S., Colomb-Cotinat, M., Kretzschmar, M. E., Devleeschauwer, B., Cecchini,

- M., Ouakrim, D. A., Oliveira, T. C., Struelens, M. J., Suetens, C., & Monnet, D. L. (2019). Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis. *The Lancet Infectious Diseases*, 19(1), 56-66.
- Castanon, J. I. (2007). History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Science*, 86(11), 2466-2471.
- Catry, B., Laevens, H., Devriese, L. A., Opsomer, G., & De Kruif, A. (2003). Antimicrobial resistance in livestock. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 26(2), 81-93.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2019). *Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2019*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Chambers, H. F. (2006). General considerations of antimicrobial therapy. In L. Brunton, J. Lazo, & K. Parker (Eds.), *Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics* (11th ed., pp. 1095-1110). McGraw-Hill.
- China MARA (Ministry of Agriculture and Rural Affairs). (2019). *National Food Safety Standard - Maximum Residue Limits for Veterinary Drugs in Foods* (GB 31650-2019). Beijing: China Standards Press.
- Chopra, I., & Roberts, M. (2001). Tetracycline antibiotics: mode of action, applications, molecular biology, and epidemiology of bacterial resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 65(2), 232-260.
- Codex Alimentarius Commission. (2018). *Codex Alimentarius: Maximum Residue Limits (MRLs) and Risk Management Recommendations (RMRs) for Residues of Veterinary Drugs in Foods* (CAC/MRL 2). Rome: FAO/WHO.
- Codex Alimentarius Commission. (2019). *Codex Trust Fund: Progress Report*. 42nd Session of the Codex Alimentarius Commission. Rome: FAO/WHO.
- Codex Alimentarius Commission. (2023). *Updated Maximum Residue Limits for Veterinary Drugs in Foods*. Rome: FAO/WHO.
- Colen, L., Maertens, M., & Swinnen, J. (2012). Private standards, trade and poverty: GlobalGAP and horticultural employment in Senegal. *The World Economy*, 35(8), 1073-1088.
- Collignon, P., Powers, J. H., Chiller, T. M., Aidara-Kane, A., & Aarestrup, F. M. (2009). World Health Organization ranking of antimicrobials according to their importance in human medicine: a critical step for developing risk management strategies for the use of antimicrobials in food production animals. *Clinical Infectious Diseases*, 49(1), 132-141.
- Darby, K., Batte, M. T., Ernst, S., & Roe, B. (2008). Decomposing local: a conjoint analysis of locally produced foods. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(2), 476-486.
- de Boer, I. J., Cederberg, C., Eady, S., Gollnow, S., Kristensen, T., Macleod, M., Meul,

- M., Nemecek, T., Phong, L. T., Thoma, G., van der Werf, H. M. G., Williams, A. G., & Zonderland-Thomassen, M. A. (2011). Greenhouse gas mitigation in animal production: towards an integrated life cycle sustainability assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5), 423-431.
- Dewdney, J. M., Maes, L., Raynaud, J. P., Blanc, F., Scheid, J. P., Jackson, T., Lens, S., & Verschueren, C. (1991). Risk assessment of antibiotic residues of β -lactams and macrolides in food products with regard to their immuno-allergic potential. *Food and Chemical Toxicology*, 29(7), 477-483.
- Dibner, J. J., & Richards, J. D. (2005). Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poultry Science*, 84(4), 634-643.
- Donoghue, D. J. (2003). Antibiotic residues in poultry tissues and eggs: human health concerns? *Poultry Science*, 82(4), 618-621.
- Economou, V., & Gousia, P. (2015). Agriculture and food animals as a source of anti-microbial-resistant bacteria. *Infection and Drug Resistance*, 8, 49-61.
- European Commission. (1996). *Council Directive 96/23/EC on measures to monitor certain substances and residues thereof in live animals and animal products*. Official Journal of the European Communities, L 125/10.
- European Commission. (2010). *Commission Regulation (EU) No 37/2010 on pharmacologically active substances and their classification regarding maximum residue limits in foodstuffs of animal origin*. Official Journal of the European Union, L 15/1.
- European Commission. (2019). *Report on the results of residue monitoring in live animals and animal products in the EU 2017*. Brussels: European Commission.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). *FAOSTAT: Livestock Primary Statistics*. Rome: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat>
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization). (2019). *Risk-based examples and approach for control of Trichinella spp. and Taenia saginata in meat*. Microbiological Risk Assessment Series No. 33. Rome: FAO.
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2013). *Guidance for Industry #213: New Animal Drugs and New Animal Drug Combination Products Administered in or on Medicated Feed or Drinking Water of Food-Producing Animals: Recommendations for Drug Sponsors for Voluntarily Aligning Product Use Conditions with GFI #209*. Rockville, MD: FDA.
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2018). *Tolerances for Residues of New Animal Drugs in Food*. 21 CFR Part 556. Washington, DC: FDA.
- Fulponi, L. (2006). Private voluntary standards in the food system: The perspective of major food retailers in OECD countries. *Food Policy*, 31(1), 1-13.
- Garcia Martinez, M., & Poole, N. (2004). The development of private fresh produce safety standards: implications for developing Mediterranean exporting countries. *Food Policy*, 29(3), 229-255.
- Gaudin, V., Fontaine, J., & Maris, P. (2010). Screening of penicillin residues in milk by

- a surface plasmon resonance-based biosensor assay: comparison of chemical and enzymatic sample pre-treatment. *Analytica Chimica Acta*, 436(2), 191-198.
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the US Food Supply: Economic Theory and Industry Studies* (Agricultural Economic Report No. 830). USDA Economic Research Service.
- Graham, J. P., Boland, J. J., & Silbergeld, E. (2007). Growth promoting antibiotics in food animal production: an economic analysis. *Public Health Reports*, 122(1), 79-87.
- Guardabassi, L., Jensen, L. B., & Kruse, H. (2018). *Guide to Antimicrobial Use in Animals*. Wiley-Blackwell.
- Halal, M. M., Syed, J. H., Ali, U., Li, J., Zhang, G., Katsoyiannis, I. A., Syed, S., Malik, R. N., & Jones, K. C. (2014). Pesticide residues in milk, soil and water from the Soan River Basin, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(2), 1130-1139.
- Henson, S., & Humphrey, J. (2010). Understanding the complexities of private standards in global agri-food chains as they impact developing countries. *Journal of Development Studies*, 46(9), 1628-1646.
- Henson, S., & Jaffee, S. (2008). Understanding developing country strategic responses to the enhancement of food safety standards. *The World Economy*, 31(4), 548-568.
- Henson, S., & Mitullah, W. (2004). Kenyan exports of Nile perch: Impact of food safety standards on an export-oriented supply chain. *World Bank Policy Research Working Paper*, 3349.
- Henson, S., Masakure, O., & Boselie, D. (2005). Private food safety and quality standards for fresh produce exporters: the case of Hortico Agrisystems, Zimbabwe. *Food Policy*, 30(4), 371-384.
- Hobbs, J. E., & Kerr, W. A. (2006). Consumer information, labeling and international trade in agri-food products. *Food Policy*, 31(1), 78-89.
- Hollis, A., & Ahmed, Z. (2013). Preserving antibiotics, rationally. *New England Journal of Medicine*, 369(26), 2474-2476.
- Hoogenboom, L. A., Bovee, T. F., Traag, W. A., R. L., Kuiper, H. A., Zomer, P., van Rhijn, J. A., & Laser Reuvers, C. B. (2003). The use of the DR CALUX bioassay and indicator polychlorinated biphenyls for screening of elevated levels of dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls in eel. *Molecular Nutrition & Food Research*, 48(5), 369-377.
- Humphrey, J., & Memedovic, O. (2006). *Global Value Chains in the Agrifood Sector*. UNIDO Working Paper. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- Idsoe, O., Guthe, T., Willcox, R. R., & De Weck, A. L. (1968). Nature and extent of penicillin side-reactions, with particular reference to fatalities from anaphylactic shock. *Bulletin of the World Health Organization*, 38(2), 159-188.

- INAC (Instituto Nacional de Carnes - Uruguay). (2019). *Anuario Estadístico 2019*. Montevideo: INAC.
- Jaffee, S., & Masakure, O. (2005). Strategic use of private standards to enhance international competitiveness: Vegetable exports from Kenya and elsewhere. *Food Policy*, 30(3), 316-333.
- Jaffee, S., Henson, S., Unnevehr, L., Grace, D., & Cassou, E. (2019). *The Safe Food Imperative: Accelerating Progress in Low- and Middle-Income Countries*. Washington, DC: World Bank.
- Jaffee, S., Meer, K. V., Henson, S., de Haan, C., Sewadeh, M., & Ignacio, L. (2005). *Food Safety and Agricultural Health Standards: Challenges and Opportunities for Developing Country Exports* (World Bank Report No. 31207). Washington, DC: World Bank.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (2019). *Residue Evaluation of Certain Veterinary Drugs*. 87th Meeting. Rome: FAO/WHO.
- Kantiani, L., Farré, M., & Barceló, D. (2010). Analytical methodologies for the detection of β -lactam antibiotics in milk and feed samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(6), 729-744.
- Karavolias, J., Salois, M. J., Baker, K. T., & Watkins, K. (2018). Raised without antibiotics: impact on animal welfare and implications for food policy. *Translational Animal Science*, 2(4), 337-348.
- Kaufmann, A. (2009). The current role of high-resolution mass spectrometry in food analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 403(5), 1233-1249.
- Kaufmann, A., Butcher, P., Maden, K., & Widmer, M. (2014). Comprehensive comparison of liquid chromatography selectivity as provided by two types of liquid chromatography detectors (high resolution mass spectrometry and tandem mass spectrometry): "where is the crossover point?" *Analytica Chimica Acta*, 673(1), 60-72.
- Kijlstra, A., & Eijck, I. A. (2006). Animal health in organic livestock production systems: a review. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(1), 77-94.
- Lhermie, G., Gröhn, Y. T., & Raboisson, D. (2017). Addressing antimicrobial resistance: an overview of priority actions to prevent suboptimal antimicrobial use in food-animal production. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2114.
- Liu, L., Luo, L., Suryoprabowo, S., Peng, J., & Kuang, H. (2012). Development of an immunochromatographic strip test for rapid detection of ciprofloxacin in milk samples. *Sensors*, 14(9), 16785-16798.
- Liu, Y. Y., Wang, Y., Walsh, T. R., Yi, L. X., Zhang, R., Spencer, J., Doi, Y., Tian, G., Dong, B., Huang, X., Yu, L. F., Gu, D., Ren, H., Chen, X., Lv, L., He, D., Zhou, H., Liang, Z., Liu, J. H., & Shen, J. (2016). Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism MCR-1 in animals and human beings in China: a microbiological and molecular biological study. *The Lancet Infectious Diseases*, 16(2), 161-168.

- Lopes, R. P., Reyes, R. C., Romero-González, R., Frenich, A. G., & Vidal, J. L. (2012). Development and validation of a multiclass method for the determination of veterinary drug residues in chicken by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*, 89, 201-208.
- Loureiro, M. L., & Umberger, W. J. (2007). A choice experiment model for beef: What US consumer responses tell us about relative preferences for food safety, country-of-origin labeling and traceability. *Food Policy*, 32(4), 496-514.
- Lusk, J. L., & Parker, N. (2009). Consumer preferences for amount and type of fat in ground beef. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(1), 75-90.
- MacDonald, J. M., & McBride, W. D. (2009). *The Transformation of U.S. Livestock Agriculture: Scale, Efficiency, and Risks* (Economic Information Bulletin No. 43). USDA Economic Research Service.
- MacDonald, J. M., O'Donoghue, E. J., McBride, W. D., Nehring, R. F., Sandretto, C. L., & Mosheim, R. (2004). *Profits, Costs, and the Changing Structure of Dairy Farming* (Economic Research Report No. 47). USDA Economic Research Service.
- Manyi-Loh, C., Mamphweli, S., Meyer, E., & Okoh, A. (2018). Antibiotic use in agriculture and its consequential resistance in environmental sources: potential public health implications. *Molecules*, 23(4), 795.
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Brazil). (2020). *Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC) - Relatório 2019*. Brasília: MAPA.
- Marshall, B. M., & Levy, S. B. (2011). Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clinical Microbiology Reviews*, 24(4), 718-733.
- Martinez, S. W. (2002). *Vertical Coordination of Marketing Systems: Lessons from the Poultry, Egg, and Pork Industries* (Agricultural Economic Report No. 807). USDA Economic Research Service.
- Meuwissen, M. P., Velthuis, A. G., Hogeveen, H., & Huirne, R. B. (2007). Technical and economic considerations about traceability and certification in livestock production chains. In J. Smulders & J. D. Collins (Eds.), *Food Safety Assurance and Veterinary Public Health, Volume 1: Food Safety Assurance in the Pre-Harvest Phase* (pp. 41-54). Wageningen Academic Publishers.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety - South Korea). (2021). *Annual Report on Imported Food Safety Management 2020*. Cheongju: MFDS.
- MHLW (Ministry of Health, Labour and Welfare - Japan). (2006). *Positive List System for Agricultural Chemical Residues in Foods*. Tokyo: MHLW.
- Mitchell, J. M., Griffiths, M. W., McEwen, S. A., McNab, W. B., & Yee, A. J. (1998). Antimicrobial drug residues in milk and meat: causes, concerns, prevalence, regulations, tests, and test performance. *Journal of Food Protection*, 61(6), 742-756.
- Molento, M. B. (2005). Resistência de helmintos em ovinos e caprinos. In *XIII Congresso Brasileiro de Parasitologia Veterinária e I Simpósio Latino-Americano de Rickettsioses* (Vol. 29, Supl. 1, pp. 89-94).

- Neethirajan, S. (2017). Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 12, 15-29.
- OIE (World Organisation for Animal Health). (2019). *OIE Standards, Guidelines and Resolution on Antimicrobial Resistance and the Use of Antimicrobial Agents*. Paris: OIE.
- O'Neill, J. (2016). *Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations*. The Review on Antimicrobial Resistance. London: HM Government.
- Otsuki, T., Wilson, J. S., & Sewadeh, M. (2001). Saving two in a billion: quantifying the trade effect of European food safety standards on African exports. *Food Policy*, 26(5), 495-514.
- Peters, R. J., Bolck, Y. J., Rutgers, P., Stolker, A. A., & Nielen, M. W. (2009). Multi-residue screening of veterinary drugs in egg, fish and meat using high-resolution liquid chromatography accurate mass time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1216(46), 8206-8216.
- Phillips, I., Casewell, M., Cox, T., De Groot, B., Friis, C., Jones, R., Nightingale, C., Preston, R., & Waddell, J. (2004). Does the use of antibiotics in food animals pose a risk to human health? A critical review of published data. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 53(1), 28-52.
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Pyörälä, S., Baptiste, K. E., Catry, B., van Duijkeren, E., Greko, C., Moreno, M. A., Pomba, M. C. M. F., Rantala, M., Ružauskas, M., Sanders, P., Threlfall, E. J., Torren-Edo, J., & Törneke, K. (2014). Macrolides and lincosamides in cattle and pigs: use and development of antimicrobial resistance. *The Veterinary Journal*, 200(2), 230-239.
- Rabinowitz, P. M., & Conti, L. A. (2013). *Human-Animal Medicine: Clinical Approaches to Zoonoses, Toxicants and Other Shared Health Risks*. Maryland Heights, MO: Elsevier Saunders.
- Rajendran, S., Afrad, S. I., Haji-Babaei, M., & Lem, A. (2016). *Technical Guidelines for Responsible Fish Trade*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 585. Rome: FAO.
- Reardon, T., Barrett, C. B., Berdegue, J. A., & Swinnen, J. F. (2009). Agrifood industry transformation and small farmers in developing countries. *World Development*, 37(11), 1717-1727.
- Reardon, T., & Timmer, C. P. (2007). Transformation of markets for agricultural output in developing countries since 1950: How has thinking changed? In R. Evenson & P. Pingali (Eds.), *Handbook of Agricultural Economics* (Vol. 3, pp. 2807-2855). Elsevier.
- Reig, M., & Toldrá, F. (2008). Veterinary drug residues in meat: Concerns and rapid

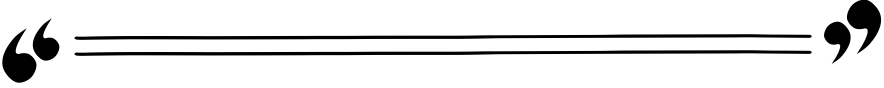
methods for detection. *Meat Science*, 78(1-2), 60-67.

- Roberts, T., Buzz, J., & Ollinger, M. (2003). *Judging Food Safety Risk: A Project Report on the Use of Risk Communication in FSIS Salmonella Rulemaking*. Project Report commissioned by USDA/FSIS/OPHS.
- Samkange, A., Katsande, S., Chishawa, N., & Mduluzi, T. (2010). A survey of oxy-tetracycline, penicillin G benzathine and sulfadimidine residues in slaughter cattle in Zimbabwe. *Journal of the South African Veterinary Association*, 81(4), 215-218.
- Sander, F., Semeijn, J., & Mahr, D. (2018). The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, 120(9), 2066-2079.
- Schwägele, F. (2005). Traceability from a European perspective. *Meat Science*, 71(1), 164-173.
- Schwarz, S., Kehrenberg, C., & Walsh, T. R. (2001). Use of antimicrobial agents in veterinary medicine and food animal production. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 17(6), 431-437.
- Seal, B. S., Lillehoj, H. S., Donovan, D. M., & Gay, C. G. (2013). Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal production. *Animal Health Research Reviews*, 14(1), 78-87.
- Shalaby, A. R., Salama, N. A., Abou-Raya, S. H., Emam, W. H., & Mehaya, F. M. (2005). Validation of HPLC method for determination of tetracycline residues in chicken meat and liver. *Food Chemistry*, 124(4), 1660-1666.
- Sharma, A., Goud, D. R., Satyanarayana, M., Gopal, S. V., & Mathai, A. (2015). Recent advances in nanobiosensors for detection of antibiotic residues and microorganisms. In A. M. Grumezescu (Ed.), *Nanobiosensors in Disease Diagnosis* (pp. 169-203). Elsevier.
- Silbergeld, E. K., Graham, J., & Price, L. B. (2008). Industrial food animal production, antimicrobial resistance, and human health. *Annual Review of Public Health*, 29, 151-169.
- STDF (Standards and Trade Development Facility). (2020). *Annual Report 2019*. Geneva: STDF.
- Stolker, A. A. M., & Brinkman, U. A. T. (2005). Analytical strategies for residue analysis of veterinary drugs and growth-promoting agents in food-producing animals—a review. *Journal of Chromatography A*, 1067(1-2), 15-53.
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W., Polachek, A. J., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J. D., & Ghali, W. A. (2017). Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(8), e316-e327.
- Teratanavat, R., & Hooker, N. H. (2006). Consumer valuations and preference heterogeneity for a novel functional food. *Journal of Food Science*, 71(7), S533-S541.

- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of Things. In *2017 International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1-6). IEEE.
- Timmerman, T., Dewulf, J., Catry, B., Feyen, B., Opsomer, G., de Kruif, A., & Maes, D. (2006). Quantification and evaluation of antimicrobial drug use in group treatments for fattening pigs in Belgium. *Preventive Veterinary Medicine*, 74(4), 251-263.
- Tonsor, G. T., & Wolf, C. A. (2012). On mandatory labeling of animal welfare attributes. *Food Policy*, 37(6), 721-728.
- USDA-FSIS (United States Department of Agriculture - Food Safety and Inspection Service). (2020). *National Residue Program for Meat, Poultry, and Egg Products: 2019 Residue Sample Results*. Washington, DC: USDA.
- Vinholis, M. M., & Azevedo, P. F. (2018). Assessing the effects of non-tariff measures on Brazilian beef exports. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(1), 51-66.
- Wang, S., Zhang, C., & Zhang, Y. (2006). Development of a fluorescence polarization immunoassay for the detection of melamine in milk and milk powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 6080-6084.
- Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J. M., & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 2-10.
- WHO (World Health Organization). (2015). *Global Action Plan on Antimicrobial Resistance*. Geneva: WHO.
- WHO (World Health Organization). (2017). *WHO Guidelines on Use of Medically Important Antimicrobials in Food-Producing Animals*. Geneva: WHO.
- WHO/FAO/OIE (World Health Organization/Food and Agriculture Organization/World Organisation for Animal Health). (2018). *Monitoring and Evaluation of the Global Action Plan on Antimicrobial Resistance: Framework and Recommended Indicators*. Geneva: WHO.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- WTO (World Trade Organization). (2021). *Report on Sanitary and Phytosanitary Measures*. Geneva: WTO.
- Xiong, B., & Beghin, J. (2014). Disentangling demand-enhancing and trade-cost effects of maximum residue regulations. *Economic Inquiry*, 52(3), 1190-1203.



19. YÜZYIL OSMANLI DEVLETİ ZAMANI VETERİNER HEKİMLİK



Samet Taştan¹
Mustafa Taştan²

1 İntörn Veteriner Hekim, Kırıkkale Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Veteriner Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, e-mail: samet.tastan3838@hotmail.com , ORCID: 0009-0007-7416-7013
2 Dr. Öğr. Üyesi, Kapatokya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Nevşehir, Türkiye, e-mail: mustafa.tastan@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-1465-3681

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE VETERİNER HEKİMLER

Kökenleri insanlık tarihinin en eski dönemlerine uzanan veteriner hekimlik, bilhassa 18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kurumsallaşarak büyük bir bilimsel ivme kazanmış ve bu süreçte beşerî tıbbın gelişimine de derin katkılar sunmuştur. 19. yüzyılın ikinci yarısına gelindiğinde ise Louis Pasteur'ün ortaya koyduğu 'mikrop (germ) teorisi', her iki tıp disiplini için de yeni bir çığır açmıştır. Pasteur'ün özellikle koyunlarda şarbon (*antraks*) ve kanatlılarda tavuk kolerası (*Pasteurella multocida*) enfeksiyonları üzerine yürüttüğü öncü deneysel araştırmalar, modern immünolojinin temellerini atmış ve enfeksiyöz hastalıklara karşı ilk spesifik aşuların geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Yılmaz & Aksın, 2024).

Osmanlı Devleti'nde bilimsel temellere dayalı veteriner hekimliğin kurumsallaşmasına kadar geçen süreçte; hayvanların beslenmesi, sağlığı, refahı ve yetiştirilmesi gibi alanlarda deneyime dayalı (ampirik) uygulamalar yapan geleneksel meslek erbapları söz sahibi olmuştur. Bu dönemde sivil sahada mesleği icra edenler genel olarak 'baytar' sıfatıyla anılırken, saray teşkilatı bünyesinde hayvan sağlığıyla ilgilenen uzmanlar 'nalbant' zümresi çatısı altında toplanmıştır (Özlu, 2012).

Günümüzde ise modern veteriner hekimlik; yalnızca hayvan hastalıklarının teşhis ve sağaltımını gerçekleştirmekle kalmayıp, hayvan refahının standartlara bağlanması ve hayvansal gıdaların üretimden tüketime kadar uzanan tedarik zincirinde denetlenmesi gibi kritik misyonlar üstlenmiştir. Ayrıca veteriner hekimler, zoonoz (hayvandan insana bulaşabilen) hastalıkların epidemiyolojisi ve kontrolü üzerine yürüttükleri bilimsel araştırmalarla, 'Tek Sağlık' konsepti çerçevesinde hem veteriner hem de beşerî tıp bilimine paha biçilmez katkılar sunmaktadır (Özgür, 1997; Yılmaz & Aksın, 2024).

EĞİTİM

Tarihsel süreçte dünya genelinde baş gösteren epizootik (salgın) hayvan hastalıkları, ağır sosyoekonomik kayıplara yol açmıştır. Nitekim modern veteriner hekimliği eğitiminin temelleri de bu yıkıcı salgınlarla sistematik bir şekilde mücadele edebilmek amacıyla 1762 yılında Fransa'nın Lyon kentinde açılan ilk veteriner okulu ile atılmıştır. Veteriner hekimlik tarihi açısından bir dönüm noktası teşkil eden bu salgın hastalıkların en mühimi sığır vebasıdır (*veba-i bakari*). 19. yüzyıldan itibaren Osmanlı Devleti'nde şiddetli epizootiler hâlinde seyreden bu hastalık, imparatorluğu hem iş gücü hem de ekonomik gelir bağlamında derinden sarsmıştır. Salgın nedeniyle binlerce taslak hayvanının telef olması neticesinde çiftçiler tarım arazilerini işleyememiş ve tarımsal rekoltede ciddi düşüşler yaşanmıştır (Ak, 2016)

Başlıca sığır, öküz ve manda gibi büyükbaş hayvanları enfekte eden viral etyolojili sığır vebası; Anadolu halkı arasında *sığır öleti*, *mal ağrısı*, *malkıran*

ve *çor* gibi yöresel isimlerle de anılmıştır. Virüsün vücuda girmesini takiben asemptomatik bir inkübasyon (kuluçka) süresi yaşanır. Hastalığın ilk klinik bulgusu, vücut ısısının 42°C 'ye kadar yükselmesidir. Başlangıç evresinde iştahsızlık (anoreksi), apati (başın öne eğik tutulması ve halsizlik) ile deri kuruluğu gözlemlenir. İlerleyen süreçte sıklaşan öksürük krizleri ve artan iştahsızlık, şiddetli kaşeksiye (kilo kaybı) neden olur. Hastalığın sonraki safhalarında lokomotor hareketlerde yavaşlama, ishal (diyare), ruminasyonun (geviş getirme) tamamen durması ve kas titremeleri (tremor) ortaya çıkar. Terminal (son) evrede ise terlemede artış ve hipersalivasyonla birlikte ağızdan kötü kokulu bir akıntı gelir. Enfekte hayvanların büyük bir kısmında, klinik semptomların başlamasından itibaren 3 ila 7 gün içerisinde mortalite (ölüm) şekillenir; direnci en yüksek olan bireylerin dahi hayatta kalma süresi azami iki haftadır (Ak, 2016; Şimşek, 2020).

Avrupa kıtasında baş gösteren yıkıcı sığır vebası (*veba-i bakari*) salgınları, modern veteriner hekimlik biliminin temellerinin atılmasında adeta bir katalizör işlevi görmüş ve ilk veteriner okullarının tesis edilmesinde birincil itici güç olmuştur (Şimşek, 2020).

19. yüzyıldan itibaren Osmanlı Devleti'nde tıp alanında Batı referans alınarak modernleşme adımları atılmaya başlanmıştır. Geleneksel sağlık teşkilatının zirvesi olan Hekimbaşılık kurumunun dönemin artan ve karmaşıklaşan sağlık ihtiyaçlarına cevap verememesi, modern sağlık idarelerine duyulan gereksinimi hızlandırmıştır. Bu kurumsal dönüşümün bir neticesi olarak, Hekimbaşılık makamının uhdesinde bulunan yetki ve sorumlulukların bir kısmı; 1837 yılında Harbiye Nezareti bünyesinde tesis edilen Sıhhiye Dairesi ile yeni kurulan Karantina İdaresi'ne devredilmiştir (Özlu, 2012).

Osmanlı Devleti'nde ilk modern veteriner hekimlik okulu, dünyadaki öncülü olan Fransa'dan (Lyon, 1762) tam seksen yıl sonra, 19.yüzyılda II. Mahmud döneminde tesis edilmiş olmasına rağmen; imparatorlukta hayvan sağlığına ve veterinerlik pratiklerine tarihsel süreçte her daim ehemmiyet atfedilmiştir. Dönemin diğer küresel aktörlerinde gözlemlendiği üzere, Osmanlı idaresi de veteriner hekimlik hizmetlerinin temel misyonunu ordunun lojistik ve askerî gücünün bel kemiği olan atların sağlığı olarak belirlemiş ve kurumsal önceliklerini at hekimliği ekseninde şekillendirmiştir (Özlu, 2012; Yılmaz & Aksın, 2024).

ASKERİ VETERİNER HEKİMLİK

Osmanlı Devleti'nde modern anlamda veteriner hekimlik eğitiminin temelleri, ilk defa 1842 yılında Prusyalı veteriner hekim Godlewsky'nin öncülüğünde kurulan askerî veteriner hekimlik yapılanması ile atılmıştır (Tan, 2017).

Veteriner hekimlik eğitiminin ilk aşamasında, öğrenci kaynağı olarak

okuma yazma dahi bilmeyen erlerin tercih edilmesi, sistemin hedeflenen başarıya ulaşmasını engellemiştir. Bu başarısız girişimin ardından, Sultan Abdülmecid döneminde Mekteb-i Harbiye bünyesinde özel bir sınıf ihdas edilerek eğitim faaliyetleri yeniden yapılandırılmıştır. Söz konusu askerî eğitim modeli altındaki ilk mezunlar 1853 yılında verilmiş ve yetişen bu hekimler doğrudan kurumun öğretim kadrosuna dâhil edilmişlerdir. Öte yandan, Mekteb-i Harbiye menşeli veteriner hekimlerin askerî hiyerarşide yükselebilecekleri en üst makam binbaşı rütbesi ile sınırlandırılmış olup; daha üst rütbelere terfi edebilmeleri ancak süvari sınıfına geçiş yapmaları şartına bağlanmıştır (Dinçer, 1979; Özlü, 2012).

SİVİL VETERİNER HEKİMLİK

Osmanlı Devleti'nde sivil (mülki) veteriner hekimlik eğitiminin başlanışta askerî kurumların bünyesinde şekillenmesinin temel nedeni, bu eğitimi verebilecek yeterli sivil öğretim kadrosunun bulunmamasıdır. 19. yüzyılın ikinci yarısında sivil eğitim kurumlarında genel bir artış gözlemlense de, veteriner hekimlik alanındaki sivil kurumsallaşma askerî sahadaki gelişmelerin ardından ivme kazanabilmiştir. Askerî öğretimden bağımsız, müstakil ilk sivil veteriner hekimlik eğitiminin temelleri ise ancak 1880'lerin sonlarına doğru atılabilmektedir (Tan, 2017).

1881 yılında, bünyesinde dönemin öğretim elemanlarını barındıran bir komisyon teşkil edilerek ilk defa sivil veteriner hekim adaylarının seçimi yapılmıştır. Ancak bu teşebbüs, 1889 senesine kadar somut bir kurumsal yapıya dönüşmemiştir. Nihayet 1889 yılında, Yarbay Baytar Mehmed Ali Bey'in öncülüğünde Nâfia Nezâreti'ne bağlı olarak ilk sivil veteriner okulu (Mülkiye Baytar Mektebi) tesis edilmiş ve kurumun idaresine yine Mehmed Ali Bey tayin edilmiştir. Genel hatlarıyla değerlendirildiğinde, Osmanlı Devleti'nde veteriner hekimlik eğitiminin ve mesleki icrasının, askerî ve mülkî (sivil) olmak üzere iki temel mecrada yürütüldüğü anlaşılmaktadır (Özlü, 2012)



Şekil 2: Veteriner hekim öğrencilerinin operasyona hazırladığı hayvan (Yılmaz & Aksın, 2024).



Şekil 3: Halkalı Ziraat ve Veteriner Okulu (Yılmaz & Aksın, 2024).

MEZUN ÖĞRENCİLER VE DİPLOMALARI

Veteriner hekim adaylarının mezuniyete hak kazanabilmeleri için öncelikle bitirme sınavlarında başarılı olmaları şart koşulmuştur. Bu sınavları

başarıyla tamamlayan öğrencilere, günümüzdeki diplomanın karşılığı olan *icazetname* veya *şehadetname* takdim edilmiştir. Askerî veteriner okulu diplomalarından farklı olarak, mülkî (sivil) veteriner hekimlerin şehadetnamele-ri Türkçe ve Fransızca olmak üzere çift dilli tanzim edilmiştir. Mezunlar, bu belgeler vasıtasıyla atandıkları bölgelerde mesleklerini resmî olarak icra etme yetkisi kazanmışlardır (Özlü, 2012; Polat, 2013).

Sivil veteriner hekimlik eğitiminin merkezi olan Mülkiye Baytar Mektebi, ilk mezunlarını 1893 yılında 16 hekim ile vermiş ve 1913 senesine kadar kesintisiz olarak mezun vermeyi sürdürmüştür. Ancak 1913 yılında patlak veren Balkan Savaşı nedeniyle eğitime bir yıl ara verilmiş; kurum faaliyetlerine 1914 yılında yeniden başlayabilmiştir. Ardından I. Dünya Savaşı'nın (Harb-i Umumî) zorlu koşulları sebebiyle 1915-1918 yılları arasında mektep üç yıl boyunca kapalı kalmıştır. 1918 yılında eğitimin tekrar başlamasıyla birlikte, daha önceki yıllarda 5 ila 28 arasında değişen mezun sayısı, geçmiş yılların da birikmesiyle rekor bir seviyeye ulaşarak 46 olmuştur. 1919 yılında eğitim faaliyetleri sürdürülmüş olmasına rağmen o seneye mahsus mezun verilmemiştir. 1921 yılına gelindiğinde ise askerî ve sivil veteriner okulları (Baytar Mekteb-i Âlisi çatısı altında) birleştirilmiş ve bu tarihten itibaren mezun sayıları yeniden istikrarlı bir seyir izlemeye başlamıştır (Polat, 2013).



Şekil 4: Osmanlı Devleti son dönemi bazı veteriner hekimler 1-2) Fahri Yaveran-ı Hazret-i Şehriyarilerinden Baytar Kolağası, 3) İkinci Fıkra-i Hümayunu Süvari Dördüncü Alayı Baytar Kaymakamı, 4) İkinci Fıkra-i Hümayunu Süvari Dördüncü Alayı Baytar Miralayı. (Nizamoğlu vd., 2025)

BAKTERİYOLOJİHÂNE-İ BAYTARİ

1901 yılında Bakteriyojîhâne-i Baytarî'nin tesisi, Osmanlı İmparatorluğu'nda veteriner hekimlik bilimi açısından tarihsel bir dönüm noktası teşkil etmiştir. Bu kurumun faaliyete geçmesiyle birlikte veteriner hekimlik alanındaki kurumsal gelişim ivme kazanmış; bilhassa zoonoz hastalıklarla mücadelede ve hayvan sağlığının korunmasında bilimsel temellere dayalı stratejiler üretilmeye başlanmıştır. Kurumun müdürlüğüne Adil Bey tayin edilmiştir. Bakteriyojîhâne bünyesinde yürütülen laboratuvar çalışmaları neticesinde, 1902 senesinde ilk etapta sınırlı miktarda sığır vebası (*veba-i bakarî*) serumu elde edilmiş; bununla eş zamanlı olarak ruam hastalığının teşhisinde kul-

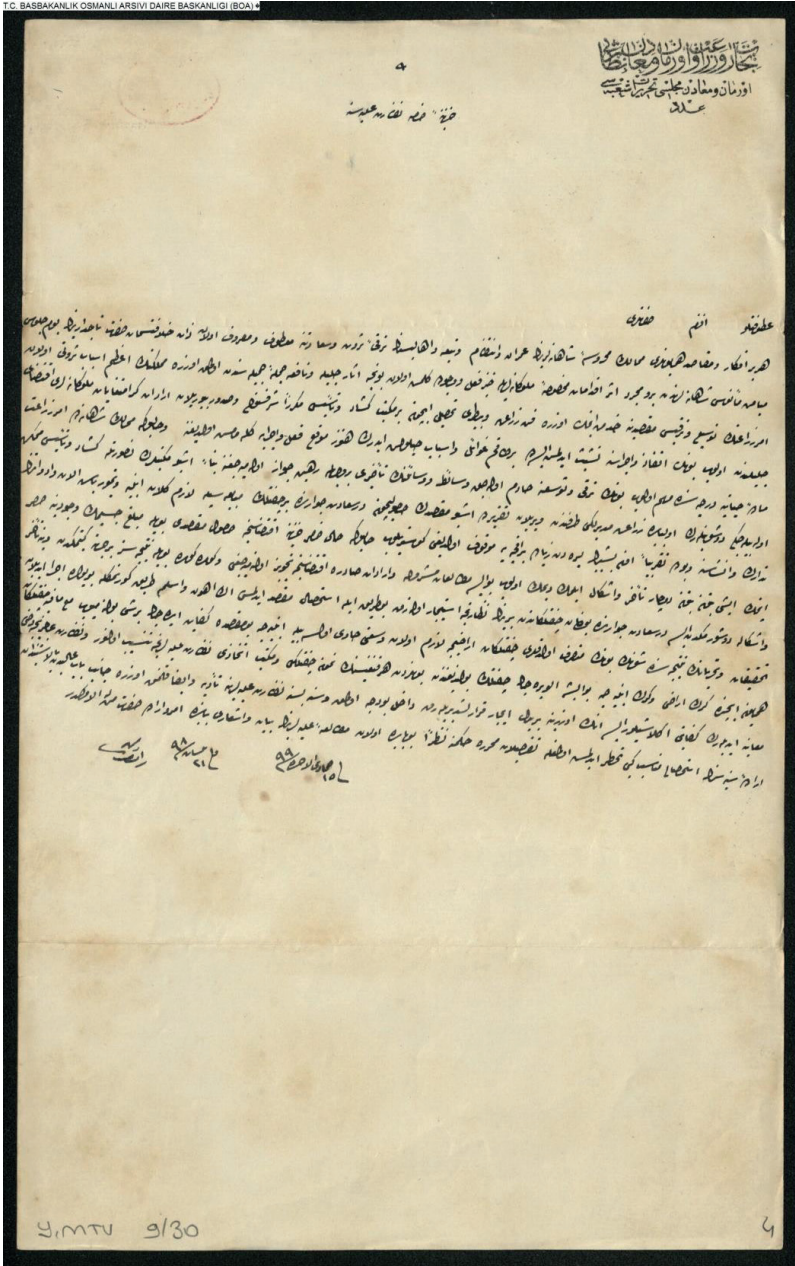
lanılan mallein ayracının üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir (Kabil, t.y.; Özlü, 2012).

Osmanlı Devleti, Bakteriyolojihâne-i Baytarî'nin bilimsel altyapısını güçlendirmek ve kurumsal kapasitesini artırmak amacıyla Batı'dan uzman celbi politikası izlemiştir. Bu doğrultuda, Paris Erkân-ı Harbiyesi'nde görevli askerî veteriner hekimlerden Mösyö Forjo (*Forgeot*) ile üç yıllık bir sözleşme imzalanarak kendisi İstanbul'a davet edilmiştir. Yapılan mukavele uyarınca, Mösyö Forjo'nun hizmetleri mukabilinde kendisine yıllık 12.000 Frank (54.000 Kuruş) maaş tahsis edilmiştir (Özlü, 2012).

VETERİNER HEKİM MAAŞLARI

1980 senesinde mezun olan veteriner hekimlerin tayin işlemlerine dair Orman, Maden ve Ziraat Nezareti bünyesinde bir lâyiha kaleme alınmıştır. İlgili lâyihada, taşradaki veteriner hekim ihtiyacının karşılanması maksadıyla yapılacak atamalar planlanmış; personele ödenecek maaş ve harcırah miktarları tespit edilerek Sadaret'e arz edilmiştir. Ancak Sadaret makamı, lâyihada talep edilen 1.000 kuruşluk maaş ve 3.000 kuruşluk harcırah miktarını fahiş bularak reddetmiş ve veteriner hekim maaşlarını 500 kuruş olarak sabitlemiştir (BOA, Y.MTV., 9/30; Özlü, 2012; Polat, 2013; Yılmaz & Aksın, 2024).

Bu gelişmenin neticesinde, veteriner hekim kadroları hiyerarşik olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Yeni düzenlemeye göre mesleğe ilk adımı atan dördüncü sınıf veteriner hekimler, *rütbe-i râbia* derecesiyle göreve başlamış ve maaşları 500 kuruş olarak belirlenmiştir. Bir üst kademeyi temsil eden üçüncü sınıf veteriner hekimler *rütbe-i sâlise* derecesine sahip olup 1.000 kuruş maaş almışlardır. İkinci sınıf veteriner hekimler ise *rütbe-i sâniye* derecesiyle tayin edilerek 1.500 kuruş maaş ile ücretlendirilmişlerdir. Hiyerarşinin en üst basamağında yer alan ve 'veteriner müfettişi' statüsünde görev yapan birinci sınıf veteriner hekimler ise *rütbe-i sâniye sınıf-ı mütemâyezisi* ile taltif edilmiş ve maaşları 2.000 kuruş olarak tayin edilmiştir (Polat, 2013).



Şekil 5: “Sadaret makamı, taslakta her bir veteriner hekim için öngörülen 1.000 kuruşluk aylık maaş ile 3.000 kuruşluk harcırah bedelini yüksek bulmuş; nihayetinde veteriner hekim maaşlarının 500 kuruş olarak tayin edilmesine karar verilmiştir.” (BOA, Y.MTV., 9/30; Özlü, 2012; Yılmaz & Aksın, 2024)

BATI'NIN GÖZETLENMESİ

Osmanlı Devleti, hayvan hastalıkları ve epizootilerle mücadelede yalnızca yerel bilim insanlarının tecrübeleriyle yetinmemiş; aynı zamanda Avrupa'daki güncel tıbbi gelişmeleri eşzamanlı olarak takip etme ve transfer etme stratejisi izlemiştir. Bu bağlamda, Louis Pasteur'ün geliştirdiği kuduz aşısı uygulamasını yerinde incelemek ve tatbikini öğrenmek amacıyla Zoeros (Zoyiros) Paşa başkanlığındaki bir heyet Paris'e gönderilmiştir. Heyetin ihtisasını tamamlayarak yurda dönmesinin akabinde, 1887 yılında Osmanlı'nın ilk kuduz tedavi merkezi olan *Dau'l-Kelb Ameliyathanesi* tesis edilmiştir (Özlu, 2012).



Şekil 6: *Dau'l-Kelb Tedavihanesi* (<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.fikriyat.com/galeri/tarih/dogunun-ilk-kuduz-tedavi-merkezi-drul-kelb-tedavihanesi&ved=2ahUKEwiY1M2SpeWSAxUIQfEDHQwyHGMQjRx6BAgEEBY&opi=89978449&usg=AOvVaw33xaM-3oTsfQBBMt3-6VDZ3> Erişim tarihi: 19.02.2026)

VETERİNER HEKİM MÜFETTİŞİ

Salgın hastalık ihbarı yapılan bölgelerde veteriner hekim ihtiyacının tespit edilerek atama süreçlerinin planlanması; sahada görevli hekimlerin mesai nizamına uyup uymadıkları ve mesleki sorumluluklarını layıkıyla yerine getirip getirmediği gibi hususlar dönemin veteriner müfettişlerinin denetimi altındadır. Müfettişler ayrıca; ortaya çıkan enfeksiyonun şiddeti ile yayılma hızını saptamak, alınması gereken epidemiyolojik tedbirleri raporlamak ve sahadaki veteriner hekimlerin yetki suistimaline başvurup başvurmadıklarını tahkik etmekle yükümlü kılınmışlardır. Ne var ki denetim mekanizmasının her zaman şeffaf ve tavizsiz işlemediği; bazı müfettişlerin sahada tespit ettikleri mesleki ihlalleri ve yetki aşımalarını görmezden gelerek kusurlu veteriner hekimleri korudukları da müşahade edilmektedir.(Özlu, 2012)

OSMANLI DEVLETİ DÖNEMİ YAYGIN VETERİNER HASTALIKLAR

1. Sığır Vebası (*Veba-i Bakari*)

Söz konusu salgın, dönemin tarım ve hayvancılık ekonomisini derinden sarsan felaketlerin başında gelmektedir. Enfekte hayvanlarda yüksek mortalite (ölüm) oranıyla seyreden ve o günün şartlarında spesifik bir tedavisi bulunmayan bu hastalık, veteriner hekimlik tarihi açısından stratejik bir kırılma noktası teşkil etmiştir. Salgının yarattığı kitlesel yıkım, devleti ve toplumu veteriner hekimlik hizmetlerinin hayatiyetini kavramaya sevk etmiş; mesleğin kurumsal prestijini ve saygınlığını önemli ölçüde artırmıştır. Diğer taraftan, tarımsal iş gücünün temelini oluşturan hayvanların telef olması, kırsal kesimdeki üreticileri ağır bir mağduriyete sürüklemiş ve tarımsal gelirlerde dramatik düşüslere yol açmıştır (Ak, 2016).

2. Ruam

Bilhassa atlar başta olmak üzere tek tırnaklıları etkileyen ve insanlara da bulaşabilen ölümcül bir bakteriyel enfeksiyon olan ruam, veteriner hekimlik tarihinin en kritik hastalıklarından biridir. Küresel çapta yıkıcı etkilere sahip olan bu etken, I. Dünya Savaşı yıllarında tarihin ilk modern biyolojik silah materyallerinden biri olarak kullanılmıştır. Osmanlı Devleti'nin kendisine yönelik bu biyolojik harp stratejisinden haberdar olup olmadığı hususu literatürde kesinlik kazanmamış olsa da, savaş koşullarında ordu hayvanları arasındaki ruam vakalarının epidemiyolojik bir zirveye ulaştığı bilinmektedir. 19. yüzyıldan itibaren hastalığın etyolojisi ve teşhisine yönelik ilmi araştırmalar hız kazanmış; ancak etkenin laboratuvar ortamındaki yüksek bulaştırıcılığı nedeniyle bu alanda çalışan pek çok bilim insanı mesleki maruziyet sonucu hayatını kaybetmiştir. Osmanlı İmparatorluğu'nda ruam üzerine yürütülen bilimsel çalışmaların en somut çıktılarından biri, Rıza İsmail tarafından 1917 yılında neşredilen *Ruam'da Teşhis-i Masli Usulleri* adlı eserdir. Hastalığın saha ve laboratuvar teşhisinde hayati bir role sahip olan 'mallein' ayracının yerel istihsaline ise Askerî Veteriner Hekim ve Bakteriolog Osman Nuri Eralp öncülük etmiştir (Kabil, t.y.; Torba, 2020)



Şekil 7: Osman Nuri Eralp (https://en.wikipedia.org/wiki/Osman_Nuri_Eralp Erişim tarihi: 23.02.2026)

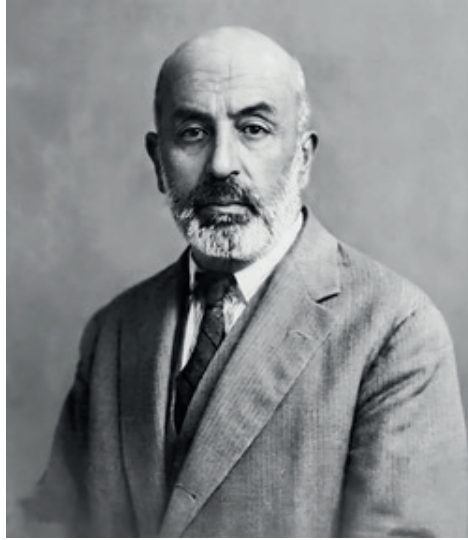
3. Kuduz

Kuduz (*rabies*) enfekte bir hayvanın ısırması, nadiren tırmalaması veya aerolizasyon yoluyla bulaşabilen zoonotik bir enfeksiyondur. Virüsün insanlara transmisyonunda birincil vektör rolünü köpek popülasyonu üstlenmektedir. RNA yapısındaki bu virüs, yüksek nörotropizm göstererek periferik sinir sistemi üzerinden doğrudan beyne ulaşır ve klinik tablonun belirmesiyle birlikte %100'e yakın mortalite ile sonuçlanır. Tarihsel süreçte insanlık için ciddi bir tehdit unsuru olan bu ölümcül hastalıkla mücadele, Osmanlı tıp literatüründe de geniş yer bulmuştur. Nitekim klasik dönem tıp metinlerinden Hafız Mehmed'in *Kavânîn-i Cerrâhîn* adlı eserinde hastalığın tablosuna değinilmiştir. Modern tıp normlarına uygun ilk kapsamlı telif eser ise, bizzat Paris Pasteur Enstitüsü'ndeki gözlem ve tetkiklere dayanarak hastalığın teşhis ve sağaltım protokollerini sistematik biçimde aktaran Dr. Hüseyin Remzi Bey'in *Kuduz İleti ve Tedâvisi* isimli çalışmasıdır. Çağdaşı olan diğer devletler gibi Osmanlı Devleti de bu yıkıcı hastalıkla hem sahada hem de ilmi literatür düzeyinde yoğun bir kurumsal mücadele yürütmüştür (İMREN, 1983; KARACAOĞLU, 2015).

MEHMET ÂKİF ERSOY

Türk edebiyatının abidevi şahsiyetlerinden Mehmet Âkif Ersoy, milli şair kimliğinin ötesinde; Osmanlı Devleti'nde 1889 senesinde tesis edilen Mülkiye Baytar Mektebi 1893 yılında birincilik derecesiyle mezun olmuş müstesna bir bilim ve meslek insanıdır. Kurumda aldığı nitelikli eğitimin yanı sıra bilhassa Dr. Rıfat Hüsamettin gibi akademisyenlerden tevarüs ettiği 'Pasteur'

ekolü ve mikrobiyoloji formasyonu, onun müspet bilimlere duyduğu derin inancın temellerini atmıştır. Mezuniyetini müteakip Orman, Maden ve Ziraat Nezareti bünyesinde ifa ettiği yaklaşık yirmi yıllık bürokratik görevinde merkez teşkilatıyla sınırlı kalmamış; epizootiler ile fiili mücadele maksadıyla Rumeli, Anadolu ve Arabistan coğrafyalarını kapsayan geniş bir sahada aktif görevler üstlenmiştir. Bu yoğun saha çalışmaları, Ersoy'a imparatorluğun kırsal kesimindeki sosyoekonomik buhranları, yoksulluğu ve toplumsal travmaları doğrudan müşahede etme imkânı sunmuştur. Nitekim veteriner hekimlik pratiğinin, Mehmet Âkif'in edebi ve fikri tekâmülü üzerindeki etkisi yadsınamaz bir gerçektir. Dönemin meslektaşlarının ve araştırmacıların da teyit ettiği üzere; Ersoy'un Anadolu sathında halkla kurduğu organik temas ve edindiği ampirik gözlemler olmasaydı, *Çanakkale Destanı* ve *İstiklal Marşı* gibi eserlerdeki o derin toplumsal şuurun inşası mümkün olamayabilirdi. Sonuç olarak, aldığı rasyonel fen eğitimi ve saha tecrübesi, onun analitik muhakeme yeteneğini geliştirerek sanatını eşsiz bir biçimde beslemiştir (SİNMEZ & YAŞAR, 2011).



Şekil 8: Mehmet Âkif ERSOY (https://tr.wikipedia.org/wiki/Mehmet_%C3%82kif_Ersoy Erişim tarihi: 23.02.2026)

Sonuç:

Osmanlı Devleti'nde veteriner hekimlik mesleğinin kurumsal bir ihtisas alanına dönüşmesi, Tanzimat'ın ilanıyla ivme kazanmıştır. Bu doğrultuda, Prusyalı uzman Godlewsky'nin öncülüğünde 1842 yılında ordu bünyesinde ilk veteriner sınıfı teşkil edilmiştir. Avrupa'daki ilk veteriner okulunun 1762'de tesis edildiği göz önüne alındığında, Osmanlı idaresinin bu alandaki modernleşme hamlelerini yaklaşık seksen yıllık bir gecikmeyle takip ettiği

görülmektedir. 19. yüzyılın ikinci yarısında meslek mektepli bir yapıya kavuşturulmuş olsa da, yetişen veteriner hekim sayısı ülke sathındaki ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalmıştır. Bu yetersizliğin temel nedenleri arasında; mezun sayısının azlığı, savaş dönemlerindeki askeri istihdam zorunlulukları ve taşra idarelerinin (vilayetlerin) veteriner hekim maaşlarını karşılamada yaşadığı mali darboğazlar yer almaktadır. Oluşan bu idari boşluk, zaruri durumlarda belediye tabiplerinin veteriner hekimlik görevlerini vekâleten üstlenmelerine müsaade edilerek doldurulmaya çalışılmıştır. Öte yandan devlet, sahada yaşanan bilimsel açığı kapatmak amacıyla çok yönlü bir strateji izlemiştir; Avrupa'dan mütehassıs getirtilmesi, yurtdışına eğitim için talebe gönderilmesi, uluslararası bilimsel eser ve dergilerin komisyonlar marifetiyle tercüme edilerek taşraya dağıtılması ve hekimlerin uluslararası kongrelere katılımlarının sağlanması bu modernizasyon politikasının başlıca araçları olmuştur.

Kaynakça

- Ak, M. (2016). Osmanlı Devleti'nde veba-i bakarî sığır vebası. *OTAM Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, (39), 215-240.
- Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Osmanlı Arşivi (BOA). *Maarif Nezareti Mektubî Kalemi (MF.MKT.)*. Dosya No: 102, Gömlek No: 93, Belge No: 1.
- Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Osmanlı Arşivi (BOA). *Yıldız Mütenevvi Evrakı (Y.MTV.)*. Dosya No: 9, Gömlek No: 30.
- Dinçer, F. (1979). TÜRKİYE'DE ASKERİ VETERİNER HEKİMLİK TARİHİ ÜZERİNDE ARAŞTIRMALAR. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(03.04), 1-13.
- Doğu'nun ilk kuduz tedavi merkezi; Dârü'l-kelb Tedavihanesi, (2019), <https://www.google.com/imgres?q=osmanl%C4%B1%20ilk%20kuduz%20merkezi%20Da%C3%BCI%20Kelb&imgurl=https%3A%2F%2Fia.tmgrup.com.tr%2Ffa6fa4%2F1200%2F627%2F0%2F73%2F660%2F418%3Fu%3Dhttps%3A%2F%2Fi.tmgrup.com.tr%2Ffikriyat%2Falbum%2F2019%2F09%2F03%2Fdogunun-ilk-kuduz-tedavi-merkezi-drul-kelb-tedavihanesi-1567490810143.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.fikriyat.com%2Fgaleri%2Ftarih%2Fdogunun-ilk-kuduz-tedavi-merkezi-drul-kelb-tedavihanesi&docid=LYRRbL5YVTWWhM&tbid=Ti8LGCvLvLXd5M&vet=12ahUKEwi1pseLpeWSAxViRPEDHVBWNNgQnPAOegQIERAB..i&w=1200&h=627&hcb=2&ved=2ahUKEwi1pseLpeWSAxViRPEDHVBWNNgQnPAOegQIERAB> Erişim tarihi: 19.02.2026
- İmren, H. Y. (1983). Kuduz.
- Kabil, E., & kontrol Enstitüsü, P. V. I. DÜNYA SAVAŞI'NDA SİLAH OLARAK KULLANILAN HASTALIK; RUAM.
- Karacaoğlu, E. (2015). Kuduz Hastalığına Dâir İlk Kitabımız: Kuduz İlleti ve Tedâvisi. *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Ethics-Law and History*, 23(3), 73-85.
- Mehmet Âkif Ersoy, https://tr.wikipedia.org/wiki/Mehmet_%C3%82kif_Ersoy Erişim tarihi: 23.02.2026
- Nizamoğlu, A., Aslım, G., & Köken, A. H. (2025). Osmanlı Devleti'nde Taltif Edilen Veteriner Hekimler (1842-1914). *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(2), 99-108. Doi: <https://doi.org/10.47027/DUVETFD.1687504>
- Osman Nuri Eralp, https://en.wikipedia.org/wiki/Osman_Nuri_Eralp Erişim tarihi: 23.02.2026
- Özgür, A. (1997). VETERİNER HEKİM TERİMİ ÜZERİNE TARİHSEL BİR ARAŞTIRMA. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 44(01).
- Özlu, Z. (2012). 19. Yüzyıl Sonlarında Osmanlı Devletinde Veterinerlik Mesleği ile İlgili Bir Değerlendirme. *Bellekten*, 76(275), 239-260. Doi: <https://doi.org/10.37879/BELLETTEN.2012.239>

- Polat, H. (2013). *Mülkiye Baytar Mektebi (1894-1922)* (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Sinmez, Ç. Ç., & Yaşar, A. (2011). Veteriner hekimliği yönüyle Mehmet Akif Ersoy. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 20(2), 143-149.
- Şimşek, K. (2020). OSMANLI DEVRİ DENİZLİ'DE SIĞIR VEBASI: VEBÂ-YI BAKARÎ. *Belgi Dergisi*, 2(19), 2068-2080. Doi: <https://doi.org/10.33431/BELGI.652755>
- Tan, S. (2017). Türkiye'de sivil veteriner hekimliği eğitiminin başlangıcı konusunda bazı tespitler. *Osmanlı Bilimi Arastirmalari (Studies in Ottoman Science)*, 19(1), 43-53.
- Torba, T. A. (2020). Burkholderia Mallei: Ruam Hastalığı/Burkholderia Mallei: Glanders. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2), 353-361.
- Yılmaz, H., & Aksın, N. (2024). Osmanlı Devleti'nde veterinerlik eğitimi: Halkalı Ziraat ve Baytar Mektebi'nin kuruluşu. *Firat University Journal of Social Sciences*, 35(1), 223-234. Doi: <https://doi.org/10.18069/FIRATSBED.1560025>



HALK SAĞLIĞI PERSPEKTİFİNDEN SÜT KAYNAKLI BİYOAKTİF PEPTİTLERİN ÖNEMİ

“

”

Halil YALÇIN¹

¹ Prof. Dr. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, ORCID: 0000-0003-2162-2418

1. Süt ve Süt Proteinleri

Süt, memeli dişi hayvanların yavrularının büyüme ve gelişmesini desteklemek amacıyla süt bezlerinden salgılanan, besin öğeleri açısından dengeli bir biyolojik sıvıdır. İçeriğinde protein, yağ, laktoz, vitaminler ve mineraller gibi temel besin öğelerini barındırması nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Fox ve McSweeney, 2015; Walstra ve ark., 2020).

Sütün kimyasal bileşimi; hayvan türü, beslenme şekli, laktasyon dönemi, çevresel faktörler ve işleme koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genel olarak süt yaklaşık %87 su ve %13 kuru madde oluşur. Kuru madde fraksiyonunda süt yağı, proteinler, laktoz ve mineral maddeler yer almaktadır. Ortalama olarak süt bileşimi %3–4 yağ, %3–3.5 protein, %4.5–5 laktoz ve yaklaşık %0.7 mineral maddelerden oluşmaktadır (Walstra ve ark., 2020; Guetouache ve ark., 2014).

Süt proteinleri, yüksek biyolojik değere sahip olmaları ve tüm esansiyel amino asitleri içermeleri nedeniyle insan beslenmesi açısından önemli protein kaynakları arasında yer almaktadır (Korhonen ve Pihlanto, 2006; Nongonierma ve FitzGerald, 2015). Sütte bulunan proteinler iki ana fraksiyona ayrılmaktadır: kazeinler (%75–80) ve peynir altı suyu (serum) proteinleri (%20–25). Bu protein fraksiyonları hem besleyici özellikleri hem de çeşitli biyolojik aktiviteleri nedeniyle fonksiyonel gıda araştırmalarında önemli bir yere sahiptir (Fox ve McSweeney, 2015).

1.1.Kazein

Kazeinler süte özgü proteinler olup sütte koloidal yapıda **miseller** halinde bulunurlar. Kazein miselleri temel olarak α_1 -, α_2 -, β - ve κ -kazein olmak üzere dört ana fraksiyondan oluşmaktadır. Bu yapı, kalsiyum ve fosfat iyonları ile stabil hale gelen kompleks bir sistemdir (Walstra ve ark., 2020).

Kazein proteinleri, özellikle fosfor bakımından zengin fosfoproteinler olup kalsiyum ve fosfatın biyoyararlanımını artırmada önemli rol oynamaktadır. Ayrıca sindirim sırasında açığa çıkan peptitler sayesinde antihipertansif, antimikrobiyal ve immünomodülatör etkiler gösterebilen biyoaktif bileşenlerin önemli bir kaynağını oluşturmaktadır (Korhonen, 2009; Nongonierma ve FitzGerald, 2015).

1.2.Peynir Altı Suyu (Serum) Proteinleri

Serum proteinleri toplam süt proteinlerinin yaklaşık %20–25'ini oluşturmakta olup peynir üretimi sırasında peynir altı suyuna geçmektedir. Bu proteinler yüksek biyolojik değerleri, esansiyel amino asit içerikleri ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle beslenme ve gıda teknolojisi açısından büyük önem taşımaktadır (Smithers, 2008; Dullius ve ark., 2018).

Serum proteinleri özellikle lösin, izölösün ve valin gibi dallanmış zincir-

li amino asitler bakımından zengindir. Bu özellikleri nedeniyle kas protein sentezinin desteklenmesi, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi ve metabolik fonksiyonların düzenlenmesi gibi birçok fizyolojik süreçte rol oynadığı bildirilmektedir (Nongonierma ve FitzGerald, 2015).

1.2.1. β -Laktoglobulin

β -laktoglobulin, peynir altı suyu proteinleri arasında en yüksek orana sahip olan proteindir ve ruminant sütlerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Bu protein esansiyel amino asitler bakımından zengindir ve lipid bağlayıcı özelliklere sahiptir. Ayrıca β -laktoglobulinin proteolitik parçalanması sonucu oluşan bazı peptitlerin **anjyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörü** etkisi gösterdiği ve bu nedenle kan basıncının düzenlenmesinde rol oynayabileceği bildirilmektedir (Chatterton ve ark., 2006; Nongonierma ve FitzGerald, 2015).

1.2.2. α -Laktalbumin

α -laktalbumin serum proteinlerinin yaklaşık %20–25'ini oluşturur ve laktoz sentezinde önemli rol oynayan bir proteindir. Bu protein yüksek miktarda triptofan içermesi nedeniyle nörolojik fonksiyonlar ve bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir. Ayrıca α -laktalbuminden türetilen peptitlerin antimikrobiyal, antihipertansif ve antikanserojen potansiyel aktiviteler sergilediği bildirilmektedir (Nongonierma ve FitzGerald, 2015; Kamau ve ark., 2010).

1.3. Serum Albümin

Siğir serum albümini, peynir altı suyu proteinlerinin yaklaşık %10–15'ini oluşturan büyük molekülü bir proteindir. Bu protein lipid ve serbest yağ asitlerini bağlama kapasitesine sahip olup amino asit kaynağı olarak beslenme açısından önem taşımaktadır (De Wit, 1998; Walstra ve ark., 2020).

1.4. İmmüoglobulinler

İmmüoglobulinler süt proteinlerinin küçük bir kısmını oluşturmakla birlikte bağışıklık sisteminin desteklenmesinde önemli rol oynar. Özellikle IgA, IgG ve IgM gibi immüoglobulinler yeni doğanlarda pasif bağışıklığın sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (Walstra ve ark., 2020).

1.5. Laktoferrin

Laktoferrin demir bağlayıcı bir glikoprotein olup doğal bağışıklık sisteminin önemli bileşenlerinden biridir. Antibakteriyel, antiviral, antifungal ve antioksidan özellikler gösterebildiği bildirilmektedir. Laktoferrin demir iyonlarını bağlayarak patojen mikroorganizmaların gelişimini sınırlayabilmekte ve bağışıklık sistemini destekleyebilmektedir (Wang ve ark., 2019; Drago-Serrano ve ark., 2018).

1.6. Laktoperoksidaz

Laktoperoksidaz süt kaynaklı doğal bir enzim olup **laktoperoksidaz sistemi** olarak bilinen antimikrobiyal mekanizmanın önemli bir bileşenidir. Bu sistem hidrojen peroksit ve tiyosiyanat varlığında antibakteriyel özellik gösteren oksidatif ürünler oluşturarak mikroorganizmaların gelişimini baskılayabilmektedir (Magaz ve ark., 2019).

1.7. Lizozim

Lizozim bakteriyel hücre duvarında bulunan peptidoglikan yapısını hidrolize ederek antimikrobiyal etki gösteren bir enzimdir. Bu özellik nedeniyle süt ve süt ürünlerinde doğal bir antimikrobiyal savunma faktörü olarak görev yapmaktadır (Tenovuo, 2002).

1.8. Glikomakropeptid

Glikomakropeptid (GMP), κ -kazeinin kimozin enzimi ile hidrolizi sonucu oluşan bir peptittir ve peynir altı suyunda bulunur. Fenilalanin içermemesi nedeniyle fenilketonüri hastaları için uygun bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bazı enterotoksinlerin bağlanmasını engelleyerek gastrointestinal sistemde koruyucu etki gösterebildiği bildirilmektedir (Kawasaki ve ark., 1992; Silva ve Malcata, 2005).

1. BİYOAKTİF PEPTİTLER

Biyoaktif maddeler, “biyolojik süreçler veya substratlara etki ederek vücut fonksiyonu üzerinde etkili olan” besin bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (Bougle ve Bouhallab, 2017). Biyoaktif peptitler, gıda proteinlerinin yapısında şifrelenmiş halde bulunan ve sindirim, enzimatik hidroliz veya mikrobiyal fermantasyon sonrasında açığa çıkarak fizyolojik etki gösterebilen kısa amino asit dizileridir. Süt proteinleri, özellikle kazein ve peynir altı suyu proteinleri, bu peptitlerin en iyi tanımlanmış kaynakları arasında yer almaktadır. Güncel literatürde süt kaynaklı peptitlerin antihipertansif, antimikrobiyal, antioksidan, immünomodülatör, antitrombotik ve metabolik düzenleyici etkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır (Nielsen ve ark., 2024; Singh & Gaur, 2024). Süt proteinleri kaynaklı biyoaktif peptitlerin oranları şöyledir: %36 β -kazein, %13 α ₁-kazein, %11 β -laktoglobulin, %10 α -kazein, %8 α ₂-kazein, %5 α -laktalbumin, %15 laktoferrin ve %1 serum albüminidir (Nielsen ve ark., 2017; Otağ ve Hayta, 2013).

Süt kaynaklı biyoaktif peptitler genellikle 2–20 amino asit uzunluğundadır. Bu peptitlerin biyolojik aktivitesi; amino asit kompozisyonu, dizilim, hidrofobisite, yük dağılımı ve terminal bölgelerde yer alan amino asitlere bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca aynı peptit birden fazla biyolojik etki gösterebilir. Bununla birlikte deneysel etkinliğin klinik etkiyle her zaman örtüşmediği; biyoyararlanım, gastrointestinal stabilite ve hedef dokuda yeterli

konsantrasyona ulaşma gibi faktörlerin belirleyici olduğu vurgulanmaktadır (Nielsen ve ark., 2024). Biyoaktif besin peptitleri genellikle, beklenen besin değerinin üzerinde biyolojik aktiviteleri olan kısa peptitlerdir (3-20 amino asit). Bu peptitler çoğunlukla doğal proteinler içinde işlevsel olarak etkisizdir ve “biyoaktif” rollerine ulaşmak için proteoliz (*in vivo* sindirim, *in vitro* enzimatik hidroliz) veya bakteriyel fermantasyon ile izole olması gerekmektedir (Chakrabarti ve ark., 2014). Ayrıca biyoaktif peptitlerin biyolojik aktiviteleri, aminoasit çeşidine ve dizilimine bağlıdır (Beermann ve Hartung, 2013).

1.1. Biyoaktif Peptitlerin Oluşumu ve Üretimi

Süt proteinlerinden biyoaktif peptit oluşumu başlıca gastrointestinal sindirim, kontrollü enzimatik hidroliz ve fermantasyon yoluyla gerçekleşmektedir. Enzimatik hidroliz, peptit üretiminde en sık kullanılan yöntemlerden biridir ve pepsin, tripsin, kimotripsin, alcalase, thermolysin ve pancreatin gibi enzimlerle farklı biyolojik aktivite profillerine sahip peptitler elde edilebilmektedir. Son yıllarda klasik hidroliz yöntemlerine ek olarak peptidomik yaklaşımlar, *in silico* modelleme ve yapay zekâ destekli tahmin sistemleri de peptit keşfinde kullanılmaya başlanmıştır (Singh & Gaur, 2024). Bilinen biyoaktif peptitlerin çoğu pepsin, tripsin ve kimotripsin gibi gastrointestinal enzimlerin etkisiyle salınmaktadır (Panchaud ve ark., 2012). Kimotripsin, alkalaz termolisin, pankreatin gibi farklı orijinli çoklu enzimler de biyoaktif peptitleri üretmek için kullanılır (Sultan ve ark., 2018). Fermantasyon da biyoaktif peptit oluşumunda önemli bir biyoteknolojik yaklaşımdır. Özellikle *Lactobacillus*, *Lactocaseibacillus* ve *Lactococcus* türleri, süt proteinlerini hidrolize ederek antioksidan, antimikrobiyal, ACE inhibitörü ve immünomodülatör peptitlerin açığa çıkmasına katkı sağlayabilmektedir. Ancak peptit profili; kullanılan starter kültür, fermantasyon süresi, pH ve işleme koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Peres Fabbri ve ark., 2024).

2.2. Biyoaktif Peptitlerin Sağlık Üzerine Etkileri

Süt kaynaklı biyoaktif peptitlerin sağlık üzerindeki etkileri çok yönlüdür; ancak bu etkilerin kanıt düzeyi her etki alanı için aynı değildir. Güncel derlemeler, antihipertansif etkinin insan çalışmalarında en fazla araştırılan alanlardan biri olduğunu; antioksidan, antimikrobiyal, antidiyabetik, immünomodülatör ve antikanser potansiyelin ise çoğunlukla *in vitro* ve hayvan modeli çalışmalarıyla desteklendiğini bildirmektedir. Bu nedenle süt kaynaklı peptitler, mevcut kanıtlar ışığında tedavi edici ajanlardan çok fonksiyonel gıda ve destekleyici beslenme bileşenleri olarak değerlendirilmektedir (Ciccero ve ark., 2017; Nielsen ve ark., 2024; Singh & Gaur, 2024).

2.2.1. Antioksidatif Etki

Bazı kazein, laktoferrin ve peynir altı suyu proteini türevli peptitlerin serbest radikal süpürücü özellik gösterdiği, lipid peroksidasyonunu baskıla-

dığı ve hücrel antioksidan savunmayı destekleyebildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte güncel değerlendirmeler, doğrudan izole süt peptitlerinin insanlarda belirgin antioksidan etki oluşturduğunu gösteren klinik kanıtların halen sınırlı olduğunu vurgulamaktadır (Nielsen ve ark., 2024). İbrahim ve ark. (2018), yaptıkları bir çalışmaya göre deve sütü kazeini ve peynir altı suyundan elde edilen peptitler, maya hücrelerinin peroksit kaynaklı oksidatif strese karşı toleransını önemli ölçüde arttırmıştır. Sonuçlar, deve sütü kazeini ve PAS proteinlerinin önemli radikal giderici aktiviteleri olan biyoaktif peptitlere sahip olduğunu ve böylece oksidatif stresle ilişkili hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için potansiyel peptitler olabileceklerini göstermiştir.

2.2.2. Antimikrobiyal Etki

Süt kaynaklı antimikrobiyal peptitler; bakteri hücre zarının bütünlüğünü bozma, membran geçirgenliğini artırma, metal iyonlarını bağlama veya mikrobiyal metabolik süreçleri baskılama gibi mekanizmalarla etki gösterebilir. Özellikle laktoferrin türevleri ile bazı kazein kaynaklı peptitlerin Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı inhibitör etki gösterebildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte etkinliğin gıda matriksi içinde korunması, doz standardizasyonu ve klinik güvenilirlik verileri hâlen geliştirilme aşamasındadır (Singh & Gaur, 2024).

Pei ve ark. (2017), pepsin hidroliziyle elde edilen atık Tibet sığır sütü protein hidrolizatlarının antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmada Arg-Val-Met-Phe-Lys-Trp-Ala ve Lys-Val-Ile-Ser-Met-Ile olmak üzere iki adet antimikrobiyal peptit elde edilmiş ve aminoasit dizileri belirlenmiştir. Ayrıca, Arg-Val-Met-Phe-Lys-Trp-Ala'nın *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae* ve *Salmonella paratyphi*'e karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği, Lys-Val-Ile-Ser-Met-Ile'nin ise sadece bakterilerin değil aynı zamanda mantarların da gelişmesini inhibe ettiği çalışma sonucunda belirtilmiştir. Sütte bulunan antimikrobiyal etkili bazı peptitler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kazeinin primer yapısında bulunan antimikrobiyal peptitler (Silva ve Malcata, 2005).

Protein	Peptit dizisi	Amino asit segmenti
α 1-kazein (sığıır)	1-23	RPKHPIKHQGLPQEVLNENLILRF
α 2-kazein (sığıır)	164-179	LKKISQRYQKFALPQY
	165-203	KKISQRYQKFALPQYLKTVYQHQAAMKWPWIKTKVIPY
	183-207	VYQHQAAMKWPWIKTKVIPYVRYL
β -kazein (sığıır)	193-209	YQEPVLGPVRGPFPIIV

2.2.3. Mineral Bağlayıcı Etki

Kazein fosfopeptitleri, kalsiyum ve fosfor başta olmak üzere bazı minerallerin çözünürlüğünü artırarak intestinal emilimlerini destekleyebilen bileşiklerdir. Bu nedenle kemik sağlığı, büyüme-gelişme ve mineral yetersizliklerinin önlenmesine yönelik beslenme stratejilerinde potansiyel öneme sahiptir. Ancak bu alandaki klinik verilerin standardize insan çalışmalarıyla daha da güçlendirilmesi gerekmektedir (Nielsen ve ark., 2024).

2.2.4. Opioid Benzeri Etki

Süt doğal opioid benzeri aktiviteye sahip peptitler içerir (Tablo 2). Bu peptitler aynı zamanda *in vitro* fermentasyon sürecinde, peynir olgunlaşması sırasında veya *in vivo* sindirim sırasında da oluşabilir (Nguyen ve ark., 2015). Kazein ve peynir altı suyundan türetilen peptitler hem agonist hem de antagonist opioid reseptör aktivitesi göstermiştir (Mohanty ve ark., 2016). Süt proteinlerinden türeyen bazı peptitler opioid reseptörlerle etkileşime girebilmekte ve gastrointestinal motilite, tokluk, stres yanıtı ve ağrı modülasyonu gibi süreçlerde rol oynayabilmektedir. Bununla birlikte bu etkinin büyük oranda deneysel modellerde gösterildiği, insanlarda biyoyararlanım ve klinik anlamlılık açısından halen belirsizlikler bulunduğu bildirilmektedir (Nielsen ve ark., 2024; Singh & Gaur, 2024).

Tablo 2. Kazeinin primer yapısındaki opioid peptitler (Silva ve Malcata, 2005).

Protein	Peptit dizisi	Amino asit segmenti
α ₁ -kazein (sığır)	Agonistik peptitler	
	90-95	RYLGYL
	90-96	RYLGYLE
	91-95	YLGYL
β-kazein (insan)	41-44	YPSFQ
κ-kazein (sığır)	Antagonistik peptitler	
	35-41	YPSYGLN
	58-61	YPPY
	25-34	YIPIQYYLSR
	158-164	EINTVQV

2.2.5. Antihipertansif Etki

ACE, kan basıncının düzenlenmesinde önemli bir enzimdir. ACE, anjiyotensin-I'in anjiyotensin-II'ye dönüşümünü katalizleyerek kan basıncını arttıran damar daraltıcı etki yaratır. Bu nedenle ACE aktivitesinin inhibe edilmesi kan basıncının düzenlenmesinde önemli bir adımdır (Zhuo ve ark., 2013). Süt kaynaklı biyoaktif peptitler içinde klinik olarak en çok incelenen grup ACE inhibitörü peptitlerdir. Bu peptitler, renin-anjiyotensin sistemini modüle ederek kan basıncının düzenlenmesine katkı sağlayabilmektedir. Özellikle Ile-Pro-Pro (IPP) ve Val-Pro-Pro (VPP) gibi fermentasyon kökenli tripeptitler bu alanda öne çıkmaktadır. Güncel çalışmalar, bazı fermente süt ürünlerinde hafif düzeyde kan basıncı düşürücü etki bildirildiğini; ancak etkinliğin ürün bileşimi, doz, kullanım süresi ve bireysel farklılıklara göre değişebildiğini göstermektedir (Yao ve ark., 2024; Nielsen ve ark., 2024). Lin ve ark. (2018), Tibet sığırı sütünden elde edilen Qula kazeinini iki farklı kombinasyon ile hidrolize etmişler ve elde ettikleri hidrolizatların ACE inhibisyonunu araştırmışlardır. Alkalaz termolizin ve termolizin proteinaz K enzim kombinasyonları ile elde edilen hidrolizatların (<3 kDa) en yüksek ACE inhibe edici aktiviteye sahip olduğunu saptanmışlardır. Sütte bulunan hipertansif etkili bazı peptitler Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Sığır kazeinin primer yapısındaki antihipertansif peptitler (Silva ve Malcata, 2005).

Protein	Peptit dizisi	Amino asit segmenti
αs1-kazein	23-24	FF
	23-27	FFVAP
	102-109	KKYKVOQ
	142-147	LAYFYFP
	157-164	DAYPSGAW
	194-199	TTMPLW
αs2-kazein	174-179	FALPQY
	174-181	FALPQYLK
	189-197	AMKPQIQPK
	189-193	AMKPW
	190-197	MKPWIIQPK
	198-202	TKVIP
β-kazein	74-76	IPP
	84-86	VPP
	108-113	EMPFPK
	177-183	AVPYPQR
	193-202	YQEPVLPVIRGPFPI
	193-198	YQEPVL
	199-204	GPVIRGPFPIIV
κ-kazein	108-110	IPP
γ-kazein	108-113	EMPFPK
	114-121	YPVEPFTE

2.2.6. Antitrombotik Etki

Bazı κ-kazein kaynaklı peptitlerin trombosit agregasyonunu azaltabileceği ve fibrinojen-trombosit etkileşimini sınırlayabileceği öne sürülmektedir. Bu etkiler kardiyovasküler riskin azaltılmasına yönelik fonksiyonel bileşen geliştirme açısından önem taşımaktadır; ancak mevcut kanıtların büyük bölümü prelinik düzeydedir (Singh & Gaur, 2024). Sütte bulunan antimikrobiyal etkili bazı peptitler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sığır κ -kazeinin primer yapısındaki antitrombotik peptitler (Silva ve Malcata, 2005).

Protein	Peptit dizisi	Aminoasit segmenti
κ -kazein (sığır)	103-111	LSFMAIPPK
	106-116	MAIPPKKNQDDK
	106-112	MAIPPKK
	113-116	NQDK

2.2.7. İmmünomodülatör Etki

Süt peptitlerinin makrofaj aktivasyonu, sitokin yanıtı ve bağırsak mukozal bağışıklığı üzerinde düzenleyici etkileri olabileceği bildirilmektedir. Özellikle laktoferrin ve bazı kazein türevli peptitler, inflamatuvar yanıtın modülasyonu ve konağın savunma mekanizmalarının desteklenmesi açısından dikkat çekmektedir. Bununla birlikte klinik kullanıma yönelik güvenlik ve doz-cevap verileri henüz sınırlıdır (Peres Fabbri ve ark., 2024; Nielsen ve ark., 2024). Kazeinin yapısında bulunan immünomodülatör peptitler Tablo 5'da görülmektedir.

Tablo 5. Kazeinin primer yapısındaki immünomodülatör peptitler (Silva ve Malcata, 2005).

Protein	Peptit dizisi	Aminoasit segmenti
α_s -kazein (sığır)	1-23	RPKHPIKHQGLPQEVLNENLLRF
	194-199	TTMPLW
β -kazein (sığır)	1-28	RELEELNVPGEIVESLSSEESITRINK
	63-68	PGPIPN
	191-193	LLY
	193-209	LLYQEPVLGPVRGPFPIIV
α_s -kazein (sığır)	1-32	KNTMEHVSSEESIISQETYKQEKMAINPSK
β -kazein (insan)	54-59	VEPIPY

2.2.8. Antidiyabetik Etki

Süt proteinlerinden türeyen bazı peptitlerin DPP-IV ve α -glukozidaz gibi glukoz homeostazında görev alan enzimleri inhibe edebildiği, ayrıca insülin duyarlılığı ve inkretin yanıtı üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir. Güncel derlemeler bu peptitlerin özellikle insülin direnci ve tip 2 diyabet açısından umut verici olduğunu; ancak mevcut kanıtların büyük bölümünün hücre kültürü, hayvan modeli ve sınırlı sayıda insan çalışmasına dayandığını göstermektedir (Ramezan ve ark., 2025).

2.2.9. Hipokolesterolemik ve Antiobezite Etki

Bazı süt peptitlerinin tokluk hormonları, lipid metabolizması, safra asidi bağlanması ve kolesterol emilimi üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle antiobezite ve hipokolesterolemik etki potansiyeli taşıdıkları

öne sürülmektedir. Bununla birlikte bu alandaki verilerin çoğu deneysel düzeydedir ve klinik yararın netleştirilmesi için daha güçlü insan çalışmalarına gereksinim vardır (Singh & Gaur, 2024; Ramezan ve ark., 2025).

Süt kaynaklı biyoaktif peptitler, fonksiyonel gıda, tıbbi beslenme ve halk sağlığı uygulamaları açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Güncel kanıtlar, en güçlü translasyonel verinin antihipertansif etki için bulunduğunu; diğer etkilerin ise büyük ölçüde prelinik düzeyde desteklendiğini göstermektedir. Bu nedenle süt kaynaklı peptitler, mevcut durumda tedavi edici ilaçlardan çok, uygun formülasyon ve biyoyararlanım stratejileri ile geliştirilebilecek biyofonksiyonel beslenme bileşenleri olarak değerlendirilmelidir (Nielsen ve ark., 2024; Yao ve ark., 2024; Ramezan ve ark., 2025).

3. Çeşitli Hayvan Türlerinin Sütleri ve Biyoaktif Peptit İçeriği

Farklı hayvan türlerinden elde edilen sütler, protein kompozisyonu ve biyolojik aktivite açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, söz konusu sütlerden türeyen biyoaktif peptitlerin türünü ve biyolojik etkilerini de doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, koyun, keçi, deve ve eşek sütlerinin antihipertansif, antioksidan, antimikrobiyal ve immünomodülatör etkiler gösterebilen çeşitli biyoaktif peptitler içerdiğini ortaya koymuştur (Guha ve ark., 2021; Singh & Gaur, 2024).

3.1. Koyun Sütü

Koyun sütü, yüksek protein ve kazein içeriği nedeniyle biyoaktif peptitlerin oluşumu açısından önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda koyun kazeininin enzimatik hidrolizi sonucu elde edilen bazı peptitlerin antimikrobiyal özellik gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin *Bacillus* türlerinden elde edilen proteazlar ile hidrolize edilen koyun kazeininden elde edilen peptitlerin *Corynebacterium fimi*, *Bacillus cereus*, *Aspergillus fumigatus* ve *Penicillium expansum* gibi mikroorganizmalara karşı inhibitör etki gösterdiği bildirilmiştir (Correa ve ark., 2011). Bu durum koyun sütünden elde edilen peptitlerin doğal antimikrobiyal bileşenler olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

3.2. Keçi Sütü

Keçi sütü, protein yapısının farklılığı nedeniyle inek sütüne kıyasla daha düşük alerjenik potansiyele sahip olup sindirilebilirliği daha yüksektir. Bu özellikler, keçi sütünü fonksiyonel gıda araştırmaları açısından önemli bir kaynak haline getirmektedir (Verruck ve ark., 2019).

Fermantasyon ve enzimatik hidroliz yoluyla keçi sütünden çeşitli biyoaktif peptitler elde edilebilmektedir. Örneğin *Lactobacillus casei* kullanılarak fermente edilen keçi sütünden antioksidan aktiviteye sahip peptitlerin izole edildiği bildirilmiştir (Shu ve ark., 2018). Ayrıca keçi sütü proteinlerinden

elde edilen bazı peptitlerin anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörü özellik göstererek antihipertansif etki potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu peptitler arasında özellikle β -kazein ve α 1-kazein türevli bazı peptit dizilerinin ACE inhibitör aktivite gösterdiği rapor edilmiştir (İbrahim ve ark., 2017).

Bunun yanı sıra, keçi sütünden elde edilen bazı biyoaktif peptitlerin glukoz metabolizması üzerinde düzenleyici etki gösterebildiği ve bu nedenle potansiyel antidiyabetik özellikler taşıdığı bildirilmektedir (Gong ve ark., 2020).

3.3. Deve Sütü

Deve sütü, son yıllarda fonksiyonel gıda ve tıbbi beslenme alanlarında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Deve sütü proteinlerinden elde edilen biyoaktif peptitlerin antioksidan, antimikrobiyal, antihipertansif ve antidiyabetik potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Mudgil ve ark., 2019).

Deve sütü ayrıca bağışıklık sistemini destekleyebilen çeşitli biyolojik bileşenler içermektedir. Laktoferrin, lizozim ve laktoperoksidaz gibi antimikrobiyal proteinlerin yanı sıra, patojen mikroorganizmaların hücre duvarındaki peptidoglikan yapılarına bağlanabilen peptidoglikan tanıma proteinleri (PGRP) gibi özgün proteinler de deve sütünde bulunabilmektedir (El-Salam & El-Shibiny, 2018).

Fermantasyon çalışmaları, deve sütü protein hidrolizatlarının *Staphylococcus*, *Shigella* ve *Escherichia coli* gibi patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite gösterebildiğini ortaya koymuştur (Jrad ve ark., 2014).

3.4. Eşek Sütü

Eşek sütü, protein kompozisyonunun insan sütüne benzerliği nedeniyle özellikle bebek beslenmesi ve hipoalerjenik ürün geliştirme açısından dikkat çekmektedir (Martini ve ark., 2018). Bu süt türü aynı zamanda çeşitli biyolojik aktivitelere sahip peptitlerin önemli bir kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Yapılan çalışmalar, eşek sütünden elde edilen bazı peptitlerin antimikrobiyal, antiproliferatif ve antihipertansif özellikler gösterebildiğini ortaya koymuştur. Özellikle β -kazeinden türeyen bazı peptit fragmentlerinin hem antimikrobiyal hem de ACE inhibitör aktivite sergilediği bildirilmiştir (Aspır ve ark., 2018).

Ayrıca eşek sütünün antioksidan kapasitesinin diğer bazı süt türleriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu ve özellikle keçi sütünden sonra yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu belirtilmektedir (Öztürk-Budak & Gürsel, 2012).

KAYNAKLAR

- Aspri, M., Leni, G., Galaverna, G., & Papademas, P. (2018). Bioactive properties of fermented donkey milk before and after in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 268, 476–484. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.119>
- Beermann, C., & Hartung, J. (2013). Physiological properties of milk ingredients released by fermentation. *Food & Function*, 4(2), 185–199. <https://doi.org/10.1039/C2FO30103G>
- Bouglé, D., & Bouhallab, S. (2017). Dietary bioactive peptides: Human studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 335–343. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939447>
- Chakrabarti, S., Jahandideh, F., & Wu, J. (2014). Food-derived bioactive peptides on inflammation and oxidative stress. *BioMed Research International*, 2014, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/608979>
- Chatterton, D. E. W., Rasmussen, J. T., Heegaard, C. W., Sørensen, E. S., & Petersen, T. E. (2006). In vitro digestion of novel milk protein ingredients for use in infant formula: Research on biological functions. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.02.003>
- Cicero, A. F. G., Fogacci, F., & Colletti, A. (2017). Potential role of bioactive peptides in prevention and treatment of chronic diseases: A narrative review. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1378–1394. <https://doi.org/10.1111/bph.13608>
- Correa, A. P. F., Daroit, D. J., Coelho, J., Meira, S. M., Lopes, F. C., Segalin, J., & Brandelli, A. (2011). Antioxidant, antihypertensive and antimicrobial properties of ovine milk caseinate hydrolyzed with a microbial protease. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(12), 2247–2254. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4430>
- De Wit, J. N. (1998). Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, 81(3), 597–608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75613-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75613-9)
- Drago-Serrano, M. E., Campos-Rodríguez, R., Carrero, J. C., & De La Garza, M. (2018). Lactoferrin and peptide derivatives: Antimicrobial agents with potential use in nonspecific immunity modulation. *Current Pharmaceutical Design*, 24(10), 1067–1078. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180305122622>
- Dullius, A., Goettert, M. I., & de Souza, C. F. V. (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods – Biotechnological facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*, 42, 58–74. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.063>
- El-Salam, M. H. A., & El-Shibiny, S. (2018). Bioactive peptides of buffalo, camel, goat, sheep, mare and yak milks and milk products. *Food Reviews International*, 34(6), 589–623. <https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1384869>

- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2015). *Dairy chemistry and biochemistry* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2>
- Gong, H., Gao, J., Wang, Y., Luo, Q., Guo, K., Ren, F., & Mao, X. (2020). Identification of novel peptides from goat milk casein that ameliorate insulin resistance. *Journal of Dairy Science*, *103*(6), 4907–4918. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17670>
- Guetouache, M., Guessas, B., & Medjekal, S. (2014). Composition and nutritional value of raw milk. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, *2*(10), 115–122.
- Guha, S., Sharma, H., Deshwal, G. K., & Rao, P. S. (2021). A comprehensive review on bioactive peptides derived from milk and milk products of minor dairy species. *Food Production, Processing and Nutrition*, *3*, 1–21. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00062-7>
- Ibrahim, H. R., Ahmed, A. S., & Miyata, T. (2017). Novel angiotensin converting enzyme inhibitory peptides from caseins and whey proteins of goat milk. *Journal of Advanced Research*, *8*(1), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.11.002>
- Ibrahim, H. R., Isono, H., & Miyata, T. (2018). Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins. *Animal Nutrition*, *4*(3), 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.05.002>
- Jrad, Z., El Hatmi, H., Adt, I., Girardet, J. M., Cakir-Kiefer, C., Jardin, J., & Oulahal, N. (2014). Effect of digestive enzymes on antimicrobial, radical scavenging and ACE inhibitory activities of camel milk proteins. *Dairy Science & Technology*, *94*(3), 205–224. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0151-9>
- Kamau, S. M., Lu, R. R., Chen, W., Liu, X. M., Tian, F. W., Shen, Y., & Gao, T. (2010). Functional significance of bioactive peptides derived from milk proteins. *Food Reviews International*, *26*(4), 386–401. <https://doi.org/10.1080/87559129.2010.496722>
- Kawasaki, Y., Isoda, H., Tanimoto, M., Dosako, S., Idota, T., & Ahiko, K. (1992). Inhibition by lactoferrin and κ -casein glycomacropeptide of binding of cholera toxin to its receptor. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *56*(2), 195–198. <https://doi.org/10.1271/bbb.56.195>
- Korhonen, H. (2009). Milk-derived bioactive peptides: From science to applications. *Journal of Functional Foods*, *1*(2), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.01.007>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, *16*(9), 945–960. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012>
- Lin, K., Zhang, L., Han, X., Meng, Z., Zhang, J., Wu, Y., & Cheng, D. (2018). Quantitative structure–activity relationship modeling coupled with molecular docking analysis in screening of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides from qula casein hydrolysates obtained by two enzyme combination hydrolysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(12), 3221–3228. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00000>

org/10.1021/acs.jafc.7b05840

- Magacz, M., Kędziora, K., Sapa, J., & Krzyściak, W. (2019). The significance of lactoperoxidase system in oral health: Application and efficacy in oral hygiene products. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6), 1443. <https://doi.org/10.3390/ijms20061443>
- Martini, M., Altomonte, I., Licitra, R., & Salari, F. (2018). Nutritional and nutraceutical quality of donkey milk. *Journal of Equine Veterinary Science*, 65, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.12.020>
- Mohanty, D., Jena, R., Choudhury, P. K., Pattnaik, R., Mohapatra, S., & Saini, M. R. (2016). Milk derived antimicrobial bioactive peptides: A review. *International Journal of Food Properties*, 19(4), 837–846. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1048358>
- Mudgil, P., Kamal, H., Yuen, G. C., & Maqsood, S. (2019). Characterization and identification of novel bioactive peptides from camel milk proteins. *Food Chemistry*, 259, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.110>
- Nguyen, D. D., Johnson, S. K., Busetti, F., & Solah, V. A. (2015). Formation and degradation of β -casomorphins in dairy processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(14), 1955–1967. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.746841>
- Nielsen, S. D., Beverly, R. L., Qu, Y., & Dallas, D. C. (2017). Milk bioactive peptide database: A comprehensive database of milk protein-derived bioactive peptides and novel visualization. *Food Chemistry*, 232, 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.056>
- Nielsen, S. D.-H., Liang, N., Rathish, H., Kim, B. J., Lueangsakulthai, J., Koh, J., Qu, Y., Schulz, H.-J., & Dallas, D. C. (2024). Bioactive milk peptides: An updated comprehensive overview and database. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2240396>
- Nongonierma, A. B., & FitzGerald, R. J. (2015). Bioactive properties of milk proteins in humans: A review. *Peptides*, 73, 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2015.08.008>
- Otağ, F. B., & Hayta, M. (2013). Gıdalarda biyoaktif peptit oluşumu ve aktivitesi üzerine ısıl işlem ve fermentasyonun etkileri. *Gıda*, 38(5), 307–324.
- Panchaud, A., Affolter, M., & Kussmann, M. (2012). Mass spectrometry for nutritional peptidomics: How to analyze food bioactives and their healthy effects. *Journal of Proteomics*, 75(12), 3546–3559. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.02.032>
- Pei, J., Jiang, H., Li, X., Jin, W., & Tao, Y. (2017). Antimicrobial peptides sourced from post butter processing waste yak milk protein hydrolysates. *AMB Express*, 7, 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0476-6>
- Peres Fabbri, L., Cavallero, A., Vidotto, F., & Gabriele, M. (2024). Bioactive peptides from fermented foods: Production approaches, sources, and potential health

- benefits. *Foods*, 13(21), 3369. <https://doi.org/10.3390/foods13213369>
- Ramezan, M., Arzhang, P., & Shin, A. C. (2025). Milk-derived bioactive peptides in insulin resistance and type 2 diabetes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 138, 109849. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2025.109849>
- Shu, G., Shi, X., Chen, L., Kou, J., Meng, J., & Chen, H. (2018). Antioxidant peptides from goat milk fermented by *Lactobacillus casei* L61: Preparation, optimization, and stability evaluation in simulated gastrointestinal fluid. *Nutrients*, 10(6), 797. <https://doi.org/10.3390/nu10060797>
- Singh, N., & Gaur, S. (2024). New insights into multifunctional aspects of milk derived bioactive peptides: A review. *Food Chemistry Advances*, 4, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100628>
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Sultan, S., Huma, N., Butt, M. S., Aleem, M., & Abbas, M. (2018). Therapeutic potential of dairy bioactive peptides: A contemporary perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1), 105–115. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123761>
- Tenovuo, J. (2002). Clinical applications of antimicrobial host proteins lactoperoxidase, lysozyme and lactoferrin in xerostomia: Efficacy and safety. *Oral Diseases*, 8(1), 23–29. <https://doi.org/10.1034/j.1601-0825.2002.10836.x>
- Verruck, S., Dantas, A., & Prudêncio, E. S. (2019). Functionality of goat milk components and their implications in human health. *Journal of Functional Foods*, 52, 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.005>
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2020). *Dairy science and technology* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429289756>
- Wang, B., Timilsena, Y. P., Blanch, E., & Adhikari, B. (2019). Lactoferrin: Structure, function, denaturation and digestion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(4), 580–596. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1381583>
- Yao, X., Cao, X., Chen, L., & Liao, W. (2024). Research progress of food-derived antihypertensive peptides in regulating the key factors of the renin–angiotensin system. *Nutrients*, 17(1), 97. <https://doi.org/10.3390/nu17010097>
- Zhuo, J. L., Ferrao, F. M., Zheng, Y., & Li, X. C. (2013). New frontiers in the intrarenal renin–angiotensin system: A critical review of classical and new paradigms. *Frontiers in Endocrinology*, 4, 166. <https://doi.org/10.3389/fendo.2013.00166>



HAYVANSAL GIDALARDA GIDA GÜVENLİĞİ UYGULAMALARININ ÜRETİM MALİYETLERİ VE TÜKETİCİ FİYATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

“ ”

Onur Korkmaz¹

Serap Korkmaz²

¹ Öğr. Gör.Erciyes Üniversitesi, Rektörlük ORCID: 0000-0003-1712-2015

² Öğr. Gör. Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu,Veterinerlik BölümüORCID: 0000- 0002-8119-8471

1. Giriş

Hayvansal gıdalar, yüksek protein içerikleri ve besin değerleri nedeniyle insan beslenmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Ancak, bu ürünlerin doğası gereği mikrobiyal kontaminasyon, zoonotik hastalıklar, antibiyotik kalıntıları ve diğer gıda güvenliği risklerine karşı hassas olmaları, üretim süreçlerinde katı güvenlik standartlarının uygulanmasını zorunlu kılmaktadır (Newell ve ark., 2010). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, güvenli olmayan gıdalardan kaynaklanan hastalıklar her yıl yaklaşık 600 milyon insanı etkilemekte ve 420.000 ölüme neden olmaktadır (WHO, 2015).

Gıda güvenliği uygulamalarının yaygınlaşması, özellikle 1990'lı yıllardan itibaren küresel ticarete bir gereklilik haline gelmiştir. Avrupa Birliği'nin Genel Gıda Kanunu (Regulation EC 178/2002), Amerika Birleşik Devletleri'nin Gıda Güvenliği Modernizasyon Yasası (FSMA) ve Codex Alimentarius standartları gibi uluslararası düzenlemeler, gıda üreticileri için yeni sorumluluklar ve maliyetler getirmiştir (European Commission, 2002; FDA, 2011).

Bu düzenlemelerin ekonomik etkileri, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki küçük ve orta ölçekli işletmeler için önemli bir tartışma konusudur. Gıda güvenliği sistemlerinin kurulumu, sürdürülmesi ve sertifikasyonu önemli yatırımlar gerektirmekte ve bu maliyetler doğrudan veya dolaylı olarak tüketici fiyatlarına yansiyabilmektedir (Henson ve Reardon, 2005). Öte yandan, bu uygulamaların uzun vadeli faydaları, azalan hastalık yükleri, artan tüketici güveni ve ihracat fırsatları şeklinde kendini göstermektedir (Unnevehr, 2000).

2. Hayvansal Gıdalarda Gıda Güvenliği Riskleri ve Kontrol Sistemleri

2.1. Başlıca Gıda Güvenliği Riskleri

Hayvansal gıdalar, çeşitli biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeler içerebilmektedir. Salmonella, Campylobacter, Listeria monocytogenes ve Escherichia coli O157:H7 gibi patojen mikroorganizmalar, et, süt ve yumurta ürünlerinde en yaygın kontaminasyon kaynaklarıdır (Sofos, 2008). Ayrıca, hayvan yetiştiriciliğinde kullanılan veteriner ilaçları, pestisitler, hormonlar ve ağır metaller gibi kimyasal kalıntılar da önemli sağlık riskleri oluşturmaktadır (Baynes ve ark., 2016).

Antimikrobiyal direnç, modern gıda güvenliğinin en kritik küresel sağlık tehditleri arasında yer almaktadır. Hayvancılıkta antibiyotiklerin aşırı ve yanlış kullanımı, dirençli bakterilerin gelişmesine ve bu bakterilerin gıda zinciri yoluyla insanlara aktarılmasına neden olmaktadır (Laxminarayan ve ark., 2013). Dünya Sağlık Örgütü, antimikrobiyal direncin 2050 yılına kadar yılda 10 milyon ölüme neden olabileceğini öngörmektedir (O'Neill, 2016).

2.2. Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri

HACCP sistemi, 1960'larda NASA tarafından geliştirilen ve günümüzde uluslararası standart haline gelen risk tabanlı bir kontrol sistemidir (Morimore ve Wallace, 2013). HACCP'nin yedi temel prensibi (tehlike analizi, kritik kontrol noktalarının belirlenmesi, kritik limitlerin saptanması, izleme prosedürlerinin oluşturulması, düzeltici faaliyetlerin belirlenmesi, doğrulama prosedürlerinin geliştirilmesi ve dokümantasyon), gıda üretiminde sistematik bir güvenlik yaklaşımı sağlamaktadır (Codex Alimentarius Commission, 2003).

ISO 22000 standardı, HACCP prensiplerini ISO 9001 kalite yönetim sistemi ile entegre ederek daha kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (ISO, 2018). Bu standart, organizasyonların gıda güvenliği yönetim sistemlerini uluslararası kabul gören bir formatta belgelemesine ve sertifikalandırmasına olanak tanımaktadır.

Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi (GFSI), farklı sertifikasyon şemalarının (BRC, IFS, FSSC 22000, SQF gibi) karşılaştırılabilirliğini sağlayan bir kıyaslama platformu olarak önemli bir rol oynamaktadır (GFSI, 2020). Büyük perakende zincirleri ve gıda hizmeti şirketleri, tedarikçilerinden GFSI onaylı sertifikasyonlar talep etmekte, bu da özellikle uluslararası ticarete bir gereklilik haline gelmektedir.

3. Gıda Güvenliği Uygulamalarının Üretim Maliyetlerine Etkileri

3.1. Doğrudan Maliyetler

Gıda güvenliği sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi önemli doğrudan maliyetler içermektedir. Bu maliyetler, fiziksel altyapı yatırımları, ekipman modernizasyonu, personel eğitimi, sertifikasyon ücretleri, laboratuvar analizleri ve dokümantasyon sistemleri gibi unsurları kapsamaktadır (Jensen ve Unnevehr, 2000).

Yapılan araştırmalar, HACCP sisteminin uygulanmasının küçük et işleme tesislerinde başlangıç yatırımlarının 10.000 ila 50.000 ABD doları arasında değişebileceğini göstermektedir (Nganje ve ark., 2007). Anodou ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, Yunanistan'daki süt işleme tesislerinde HACCP uygulamasının ortalama 41.000 Euro maliyetle sonuçlandığı belirtilmiştir. Bu maliyetler, işletme büyüklüğü, mevcut altyapı durumu ve üretim karmaşıklığı gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir.

Altyapı modernizasyonu maliyetleri özellikle önemlidir. Soğuk zincir ekipmanları, hijyenik tasarımlı işleme ekipmanları, otomatik temizleme sistemleri (CIP - Clean-in-Place), sterilizasyon üniteleri ve atık yönetim sistemleri gibi yatırımlar, özellikle eski tesisler için önemli finansal yükler oluşturmaktadır (Henson ve Holt, 2000).

3.2. Sürekli İşletme Maliyetleri

Gıda güvenliği sistemlerinin sürdürülmesi, kalıcı işletme maliyetleri gerektirmektedir. Bu maliyetler arasında rutin laboratuvar testleri, mikrobiyolojik ve kimyasal analizler, periyodik denetimler, kayıt tutma, izlenebilirlik sistemlerinin işletilmesi ve personel eğitim programları yer almaktadır (Cato ve Lima dos Santos, 2000).

Maldonado ve ark. (2005), Brezilya'daki et ve süt işletmelerinde yıllık HACCP işletme maliyetlerinin toplam üretim maliyetlerinin %2-5'i arasında değiştiğini bulmuşlardır. Bu oran, işletme büyüklüğü arttıkça azalma eğilimi göstermekte, ölçek ekonomileri nedeniyle büyük işletmeler birim başına daha düşük maliyet yükü ile karşılaşmaktadır.

Temizlik ve sanitasyon maliyetleri de önemli bir kalem oluşturmaktadır. Dezenfektan kimyasallar, temizlik ekipmanları, koruyucu giysiler ve bu faaliyetlere ayrılan işgücü saatleri, sürekli işletme maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Todd, 1989). Hovey ve ark. (2009), kanatlı et işletme tesislerinde sanitasyon maliyetlerinin toplam işletme maliyetlerinin %3-4'üne ulaştığını bildirmiştir.

3.3. İzlenebilirlik ve Dokümantasyon Maliyetleri

Modern gıda güvenliği sistemleri, "çiftlikten çatala" izlenebilirlik gerektirmektedir. Bu, tüm üretim aşamalarında detaylı kayıtların tutulmasını, ürün kodlama sistemlerinin uygulanmasını ve dijital veri yönetim sistemlerinin kurulmasını içermektedir (Golan ve ark., 2004). Avrupa Birliği'nin 178/2002 sayılı Genel Gıda Kanunu, gıda işletmelerinin ürünlerinin menşeyini ve dağıtım zincirini tam olarak izleyebilmelerini zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2002).

İzlenebilirlik sistemlerinin kurulumu, özellikle barcode, RFID (Radio Frequency Identification) veya blockchain gibi teknolojilerin entegrasyonu önemli yatırımlar gerektirmektedir (Badia-Melis ve ark., 2015). Acar ve Günlü (2020), Türkiye'deki süt işletmelerinde izlenebilirlik sistemlerinin kurulum maliyetlerinin 15.000-75.000 TL arasında değiştiğini ve yıllık işletme maliyetlerinin ek olarak 5.000-20.000 TL'ye ulaştığını bildirmişlerdir.

3.4. Sertifikasyon ve Denetim Maliyetleri

Gıda güvenliği sertifikasyonları, hem başlangıç hem de periyodik yenileme maliyetleri içermektedir. ISO 22000, BRC, IFS gibi uluslararası standartların sertifikasyonu, akredite belgelendirme kuruluşları tarafından yapılmakta ve önemli ücretler gerektirmektedir (Henson ve Humphrey, 2010).

Schiefer ve Deiters (2007), Avrupa'daki gıda işletmelerinde sertifikasyon maliyetlerinin 5.000-30.000 Euro arasında değiştiğini ve yıllık denetim maliyetlerinin ek olarak 2.000-10.000 Euro'ya ulaştığını rapor etmişlerdir. Bu ma-

liyetler, işletme büyüklüğü, ürün çeşitliliği ve sertifikasyon kapsamına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelerdeki küçük ve orta ölçekli işletmeler için bu sertifikasyon maliyetleri, uluslararası pazarlara erişimde önemli bir engel oluşturmaktadır (Henson ve ark., 2011). Ancak, bu yatırımların ihracat fırsatları ve prim fiyatlara erişim açısından önemli getiriler sağlayabileceği de vurgulanmaktadır (Jaffee ve Henson, 2004).

3.5. Personel Eğitimi ve İnsan Kaynakları Maliyetleri

Gıda güvenliği sistemlerinin etkin uygulanması, sürekli personel eğitimini gerektirmektedir. İşçilerin hijyen prensipleri, HACCP uygulamaları, doğru işleme teknikleri ve acil durum prosedürleri konularında eğitilmesi zorunludur (Egan ve ark., 2007). Bu eğitimlerin maliyetleri, eğitim programlarının hazırlanması, eğitmenler, eğitim materyalleri ve üretim duruşu süreçlerini içermektedir.

Mortlock ve ark. (2000), Yeni Zelanda'daki gıda işletmelerinde personel eğitim maliyetlerinin çalışan başına yıllık 200-500 ABD doları arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, gıda güvenliği uzmanlarının (gıda mühendisleri, kalite kontrol personeli) istihdamı da sürekli maliyet yükü oluşturmaktadır.

İşgücü devir hızının yüksek olduğu sektörlerde, sürekli eğitim gereksinimleri maliyetleri daha da artırmaktadır. Powell ve ark. (2011), restoran sektöründe yüksek personel değişim oranlarının gıda güvenliği eğitim maliyetlerini önemli ölçüde artırdığını ve bu durumun gıda güvenliği performansını olumsuz etkilediğini göstermişlerdir.

4. Gıda Güvenliği Uygulamalarının Ekonomik Faydaları

4.1. Hastalık Yükü Azalması ve Halk Sağlığı Kazanımları

Gıda kaynaklı hastalıkların toplumsal maliyetleri oldukça yüksektir. Sccharff (2012), ABD'de gıda kaynaklı hastalıkların yıllık ekonomik maliyetinin 77.7 milyar dolar olduğunu tahmin etmiştir. Bu maliyetler, tıbbi tedavi giderleri, iş gücü kayıpları, çocuk bakımı maliyetleri ve erken ölümler nedeniyle kaybedilen yaşam yıllarını içermektedir.

Etkili gıda güvenliği sistemleri, bu hastalık yükünü önemli ölçüde azaltabilmektedir. Hoffmann ve Scallan (2017), gelişmiş gıda güvenliği müdahalelerinin ABD'de gıda kaynaklı hastalık vakalarını %10 azaltmasının yıllık 7.7 milyar dolar tasarruf sağlayabileceğini hesaplamışlardır. Bu makroekonomik faydalar, gıda güvenliği yatırımlarının sosyal getirilerini göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde, gıda güvenliği iyileştirmelerinin sağlık kazanımları daha da önemli olabilmektedir. Havelaar ve ark. (2015), düşük ve orta gelirli ülkelerde gıda kaynaklı hastalıkların yükünün gelişmiş ülkelere göre

çok daha yüksek olduğunu ve bu ülkelerdeki gıda güvenliği yatırımlarının özellikle yüksek getiri potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir.

4.2. Üretim Verimliliği ve Atık Azalması

Gıda güvenliği sistemleri, üretim süreçlerinin standardizasyonunu ve verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. İyi uygulama prensipleri, süreç kontrolü ve kalite yönetimi, ürün kayıplarını, yeniden işleme ihtiyacını ve atıkları azaltmaktadır (Luning ve ark., 2008).

Psomas ve ark. (2011), ISO 22000 sertifikasyonu alan Yunan gıda işletmelerinde ürün kusur oranlarının ortalama %23 azaldığını ve bu durumun önemli maliyet tasarrufları sağladığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Kafetzopoulos ve ark. (2013), HACCP uygulayan işletmelerde üretim verimliliğinin %8-15 arasında arttığını göstermişlerdir.

Soğuk zincir yönetiminin iyileştirilmesi, ürün raf ömrünün uzaması ve fire oranlarının azalması da önemli ekonomik faydalar sağlamaktadır. Mercier ve ark. (2017), et tedarik zincirinde geliştirilmiş soğuk zincir uygulamalarının ürün kayıplarını %20-30 oranında azaltabileceğini bildirmişlerdir.

4.3. Pazar Erişimi ve İhracat Fırsatları

Uluslararası gıda güvenliği standartlarına uyum, özellikle gelişmiş ülke pazarlarına erişim için kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Avrupa Birliği, ABD, Japonya gibi büyük ithalatçı pazarlar, katı gıda güvenliği standartları uygulamakta ve bu standartları karşılamayan ülkelerden ithalatı kısıtlamaktadır (Garcia Martinez ve Poole, 2004).

Jaffee ve Henson (2004), Kenya'daki küçük ölçekli sebze üreticilerinin Avrupa pazarlarına erişim için HACCP ve EurepGAP (şu anki GlobalGAP) standartlarını karşılamalarının ihracat gelirlerini önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir. Benzer şekilde, Henson ve ark. (2005), Vietnam'daki deniz ürünleri işletmelerinin HACCP sertifikasyonu sonrasında ihracat gelirlerinin %30-50 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Sertifikasyonların prim fiyatlara erişim sağladığı da birçok çalışmada belgelenmiştir. Fulponi (2006), organik ve sertifikalı ürünlerin geleneksel ürünlere göre %10-40 daha yüksek fiyatlarla satılabildiğini göstermiştir. Bu prim fiyatlar, gıda güvenliği yatırımlarının geri dönüşünü hızlandırabilmektedir.

4.4. Marka İtibarı ve Tüketici Güveni

Gıda güvenliği problemleri, işletmelerin marka değerine ciddi zararlar verebilmektedir. Ürün geri çağırımları, hastalık salgınları ve medya skandalları, tüketici güvenini sarsabilmekte ve uzun vadeli satış kayıplarına neden olabilmektedir (Thomsen ve McKenzie, 2001).

Teratanavat ve Hooker (2006), ABD'deki çeşitli gıda güvenliği skandalalarının ilgili şirketlerin hisse değerlerinde ortalama %5-20 arasında düşüşlere neden olduğunu göstermişlerdir. Piggott ve Marsh (2004), BSE (deli dana hastalığı) krizinin İngiltere'deki sığır eti endüstrisine verdiği zararı milyarlarca pound olarak hesaplamışlardır.

Öte yandan, güçlü gıda güvenliği uygulamaları ve sertifikasyonlar, tüketici güvenini artırmakta ve marka değerini yükseltmektedir. Grunert (2005), Avrupa tüketicilerinin gıda güvenliği sertifikalarına önem verdiklerini ve bu tür ürünler için daha fazla ödemeye istekli olduklarını göstermiştir.

5. Maliyetlerin Tüketici Fiyatlarına Yansımaları

5.1. Fiyat İletim Mekanizmaları

Gıda güvenliği maliyetlerinin tüketici fiyatlarına yansımaya derecesi, pazar yapısı, rekabet düzeyi, tüketici talep esnekliği ve tedarik zinciri organizasyonu gibi faktörlere bağlıdır (McCluskey, 2000). Yüksek rekabet ortamında, işletmelerin artan maliyetleri doğrudan tüketicilere yansıtma kapasiteleri sınırlıdır ve maliyetlerin bir kısmını absorbe etmek durumunda kalabilirler.

Loader ve Hobbs (1999), Birleşik Krallık'ta gıda güvenliği düzenlemelerinin et fiyatlarına etkisini inceledikleri çalışmada, artan üretim maliyetlerinin ortalama %60-70'inin tüketici fiyatlarına yansıdığını bulmuşlardır. Bu oran, ürün türüne, pazar konsantrasyonuna ve tüketici fiyat duyarlılığına göre değişiklik göstermektedir.

Perakende zincirlerinin gücü de fiyat iletiminde önemli bir faktördür. Güçlü perakendeciler, tedarikçilere baskı yaparak gıda güvenliği maliyetlerinin bir kısmını absorbe etmelerini isteyebilmektedir (Dobson, 2005). Bu durum, özellikle küçük üreticiler için kar marjlarının baskı altına girmesine neden olabilmektedir.

5.2. Farklılaştırılmış Ürün Pazarları

Organik, serbest gezinmeli, antibiyotiksiz ve sertifikalı gibi farklılaştırılmış ürün kategorilerinde, tüketiciler gıda güvenliği ve kalite için prim fiyatlar ödemeye daha isteklidir (Lusk ve Briggeman, 2009). Bu pazarlarda, gıda güvenliği yatırımlarının maliyetleri daha kolay bir şekilde tüketici fiyatlarına yansıtılabilmektedir.

Darby ve ark. (2008), ABD'de farklı et ürünlerinin fiyat primlerini inceledikleri çalışmada, organik sertifikalı etlerin geleneksel etlere göre %50-200, serbest gezinmeli tavuk ürünlerinin ise %30-80 daha yüksek fiyatlarla satıldığını bildirmişlerdir. Bu primler, artan üretim maliyetlerini karşılamanın yanı sıra, üreticilere ek kar marjları da sağlamaktadır.

McCluskey ve Loureiro (2003), tüketicilerin gıda güvenliği sertifikasyonları için ödeme istekliliğini araştırdıkları çalışmada, tüketicilerin sertifikalı

ürünler için %10-20 daha fazla ödemeye hazır olduklarını göstermişlerdir. Bu bulgular, gıda güvenliği yatırımlarının pazar farklılaştırması yoluyla geri kazanılabileceğini göstermektedir.

5.3. Gelir Düzeyi ve Tüketici Tercihleri

Tüketicilerin gelir düzeyi, gıda güvenliği için ödeme istekliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek gelirli tüketiciler, gıda güvenliği ve kalitesine daha fazla değer vermekte ve bu özellikler için prim fiyatlar ödemeye daha istekli olmaktadır (Angulo ve Gil, 2007).

Ortega ve ark. (2011), Çin’de süt ürünleri güvenliği için tüketici ödeme istekliliğini araştırdıkları çalışmada, orta ve üst gelir grubundaki tüketicilerin güvenilir sertifikasyonlara sahip ürünler için %50-100 daha fazla ödemeye hazır olduklarını bulmuşlardır. Bu bulgular, gıda güvenliği skandallarının ardından tüketici talebindeki değişiklikleri yansıtmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde, düşük gelirli tüketiciler için gıda güvenliği maliyetlerinin fiyatlara yansımaları, gıda erişilebilirliği konusunda endişeler yaratabilmektedir (Unnevehr ve Hirschhorn, 2000). Bu durum, gıda güvenliği politikalarının tasarımında sosyal adalet ve kapsayıcılık boyutlarının dikkate alınmasını gerektirmektedir.

5.4. Pazar Segmentasyonu ve İki Katmanlı Sistemler

Birçok ülkede, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde, farklı gıda güvenliği standartlarına sahip paralel pazar sistemleri bulunmaktadır. Modern perakende zincirleri ve ihracat odaklı üreticiler yüksek standartları uygularken, geleneksel pazarlar ve küçük işletmeler daha düşük standartlarla çalışabilmektedir (Reardon ve Timmer, 2007).

Maertens ve Swinnen (2009), Afrika’daki gıda sistemlerinde bu “iki katmanlı” yapının yaygınlaştığını ve yüksek gelirli tüketicilerin süpermarketlerden güvenli ve sertifikalı ürünleri tercih ederken, düşük gelirli tüketicilerin geleneksel pazarlardan daha ucuz ancak potansiyel olarak daha az güvenli ürünler satın aldığını göstermişlerdir.

Bu pazar segmentasyonu, gıda güvenliği açısından eşitsizliklere yol açabilmektedir. Dünya Bankası (2019) raporunda, gelişmekte olan ülkelerde düşük gelirli tüketicilerin gıda kaynaklı hastalıklara maruz kalma riskinin yüksek gelirli tüketicilere göre 3-5 kat daha yüksek olduğu belirtilmektedir.

6. Sektörel Farklılıklar ve Özel Durumlar

6.1. Süt Ürünleri Sektörü

Süt ürünleri, yüksek bozulabilirlik ve mikrobiyolojik risk profili nedeniyle özellikle katı gıda güvenliği uygulamaları gerektirmektedir. Pastörizasyon, soğuk zincir yönetimi, hijyenik sağım ve mikrobiyolojik testler, süt

sektöründe temel güvenlik gereksinimleridir (Claeys ve ark., 2013).

Uçar ve Gönülalan (2015), Türkiye'deki süt işleme tesislerinde gıda güvenliği sistemlerinin maliyetlerini analiz ettikleri çalışmada, küçük ölçekli tesislerde (günlük 5-10 ton) toplam üretim maliyetlerinin %3-5'inin, büyük ölçekli tesislerde ise (günlük 100+ ton) %1-2'sinin gıda güvenliği uygulamalarına harcandığını bildirmişlerdir.

Avrupa Birliği'nin süt hijyeni düzenlemeleri (Regulation EC 853/2004), özellikle küçük ölçekli geleneksel peynir üreticileri için önemli zorluklar yaratmıştır. Meunier-Goddik ve ark. (2002), bu düzenlemelerin küçük üreticileri pazar dışına itebileceği endişelerini dile getirmiş, ancak uygun destek ve esnek düzenlemelerle bu işletmelerin de standartları karşılayabileceğini göstermiştir.

6.2. Et ve Et Ürünleri Sektörü

Et sektörü, Salmonella, E. coli, Listeria gibi patojenler ve BSE, Trichinella gibi zoonotik hastalıklar nedeniyle yoğun düzenleme altındadır. Mezbahalarda veteriner kontrolleri, HACCP uygulamaları, soğuk zincir yönetimi ve test gereksinimleri önemli maliyetler oluşturmaktadır (Sofos, 2008).

Ollinger ve ark. (2005), ABD et işleme sektöründe HACCP uygulamasının etkilerini analiz ettikleri kapsamlı çalışmada, küçük tesislerde (yıllık 50-100 milyon dolar ciro) HACCP maliyetlerinin üretim maliyetlerinin %2.5-3'üne ulaştığını, büyük tesislerde (yıllık 1+ milyar dolar) ise bu oranın %0.5-1'e düştüğünü göstermişlerdir.

Bu maliyet farklılıkları, sektörde konsolidasyona katkıda bulunmuştur. MacDonald ve ark. (2000), ABD et endüstrisinde küçük mezbaha sayısının HACCP uygulamasından sonra önemli ölçüde azaldığını ve pazar payının büyük tesislerde yoğunlaştığını bildirmişlerdir.

6.3. Kanatlı Eti ve Yumurta Sektörü

Kanatlı eti ve yumurta üretimi, Salmonella kontaminasyonu riski nedeniyle özel kontrol programları gerektirmektedir. Avrupa Birliği ve ABD, Salmonella prevalansını azaltmak için kapsamlı kontrol programları uygulamaktadır (EFSA, 2019).

Sumner ve ark. (2011), ABD'de Salmonella Enteritidis kontrolü için uygulanan yeni düzenlemelerin yumurta üretim maliyetlerini düzine başına 2-4 cent artırdığını, bu artışın ise tüketici fiyatlarına büyük ölçüde yansındığını göstermişlerdir. Ancak, hastalık vakalarındaki azalmanın sağlık sistemi için yıllık 1.4 milyar dolar tasarruf sağladığı hesaplanmıştır.

Avrupa Birliği'nde Salmonella kontrol programları, üretim maliyetlerini artırmasına rağmen, hastalık prevalansını önemli ölçüde azaltmıştır. EFSA (2019) raporuna göre, AB ülkelerinde tavuk kümeslerinde Salmonella preva-

lansı 2007’de %30’dan 2018’de %2’nin altına düşmüştür.

6.4. Balık ve Su Ürünleri Sektörü

Su ürünleri, histamin oluşumu, ağır metal kontaminasyonu, parazitler ve mikrobiyolojik riskler gibi çeşitli güvenlik sorunları içermektedir. Bu sektörde HACCP uygulaması, özellikle hasat sonrası soğutma, işleme ve dağıtım aşamalarında kritik öneme sahiptir (Huss ve ark., 2000).

Cato ve Lima dos Santos (2000), Brezilya’daki balık işleme tesislerinde HACCP uygulamasının maliyetlerini ve faydalarını analiz ettikleri çalışmada, başlangıç yatırımının ortalama 15.000-40.000 ABD doları olduğunu, ancak bu yatırımın ihracat gelirlerindeki artış ve ürün reddi oranlarındaki azalma yoluyla 2-3 yıl içinde geri kazanıldığını bildirmişlerdir.

AB’nin balık ürünleri ithalatı için katı gıda güvenliği gereksinimleri, birçok gelişmekte olan ülke için önemli bir engel oluşturmuştur. Henson ve Mitullah (2004), Kenya’daki balık ihracatçılarının bu standartları karşılamak için önemli yatırımlar yapmak zorunda kaldıklarını, ancak bu yatırımların pazar erişimi ve fiyat primleri açısından önemli getiriler sağladığını göstermişlerdir.

7. Politika Boyutları ve Destek Mekanizmaları

7.1. Kamu Sektörü Desteği

Gıda güvenliği yatırımlarının yüksek maliyetleri, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için, kamu desteği ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Birçok ülke, gıda güvenliği sistemlerinin kurulumu için mali destek, teknik yardım ve eğitim programları sunmaktadır (Humphrey, 2012).

Avrupa Birliği, Kırsal Kalkınma Programları çerçevesinde, gıda güvenliği ve kalite yatırımları için hibe programları uygulamaktadır. Bu programlar, HACCP sertifikasyonu, ekipman modernizasyonu ve eğitim maliyetlerinin %30-60’ına kadar mali destek sağlamaktadır (European Commission, 2014).

Gelişmekte olan ülkelerde, uluslararası kuruluşlar da gıda güvenliği kapasitesi oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır. Dünya Bankası, FAO, WHO ve çeşitli donör ajanslar, teknik yardım, eğitim ve altyapı yatırımları için önemli kaynaklar sağlamaktadır (World Bank, 2019).

7.2. Risk Bazlı Düzenleyici Yaklaşımlar

Modern gıda güvenliği politikaları, “tek beden herkese uyar” yaklaşımından uzaklaşarak, risk bazlı ve esneklik içeren düzenlemelere doğru evrilmektedir. Bu yaklaşım, kaynakların en yüksek riskli alanlara tahsis edilmesini ve küçük, düşük riskli işletmeler için aşırı yüklerin azaltılmasını amaçlamaktadır (FAO/WHO, 2003).

Avrupa Birliği'nin gıda hijyeni paketinde (Regulations 852/853/854/2004), "esneklik" prensibi, küçük ölçekli ve geleneksel üretim yöntemlerinin standartları karşılama alternatif yollar kullanabilmesine olanak tanımaktadır (European Commission, 2004). Bu yaklaşım, geleneksel gıda üretiminin korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Risk bazlı denetim sistemleri, düzenleyici kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Yüksek riskli işletmelere daha sık denetim yapılırken, düşük riskli ve iyi performans gösteren işletmelere daha az sıklıkta denetim uygulanması, hem kamu sektörü hem de özel sektör maliyetlerini azaltmaktadır (Garcia Martinez ve Poole, 2004).

7.3. Özel Sektör İşbirlikleri ve Kolektif Eylem

Sektör dernekleri, kooperatifler ve ortak pazarlama organizasyonları, gıda güvenliği yatırımlarının maliyetlerini paylaşmak ve ölçek ekonomilerinden yararlanmak için önemli platformlar sağlamaktadır. Kolektif sertifikasyon programları, ortak laboratuvar kullanımı ve paylaşılan eğitim programları, bireysel işletmelerin maliyetlerini azaltabilmektedir (Reardon ve ark., 2009).

Bignebat ve ark. (2009), Fransa'daki et sektöründe kooperatiflerin HACCP sertifikasyonu maliyetlerini bireysel işletmelere göre %30-40 daha düşük tuttuklarını göstermiştir. Bu avantaj, merkezi teknik personel, paylaşılan altyapı ve toplu sertifikasyon ücretlerinden kaynaklanmaktadır.

Özel standart organizasyonları (BRC, IFS, FSSC 22000 gibi), gıda güvenliği standartlarının harmonizasyonuna ve sertifikasyonların karşılıklı tanınmasına katkıda bulunmaktadır. Bu harmonizasyon, özellikle uluslararası ticarete tekrarlanan sertifikasyon maliyetlerini azaltmaktadır (Henson ve Humphrey, 2010).

7.4. Teknoloji ve İnovasyon Desteği

Teknolojik gelişmeler, gıda güvenliği uygulamalarının maliyetlerini azaltma potansiyeline sahiptir. Hızlı tanı testleri, otomatik izleme sistemleri, dijital izlenebilirlik platformları ve yapay zeka destekli risk değerlendirme araçları, gıda güvenliği yönetiminde verimliliği artırmaktadır (Badia-Melis ve ark., 2015).

Blockchain teknolojisi, izlenebilirlik sistemlerinin maliyetlerini potansiyel olarak azaltabilir ve şeffaflığı artırabilir. Tian (2016), blockchain tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin geleneksel sistemlere göre %20-30 daha düşük işletme maliyetleriyle çalışabileceğini öngörmüştür.

Kamu-özel sektör araştırma işbirlikleri, gıda güvenliği teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. ABD'nin Gıda Güvenliği Modernizasyon Yasası, araştırma ve teknoloji geliştirme için önemli kaynaklar ayır-

mış ve bu yatırımların endüstri genelinde fayda sağlaması beklenmektedir (FDA, 2011).

8. Küresel Perspektif ve Uluslararası Ticaret

8.1. Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Zorluklar

Gelişmekte olan ülkeler, gıda güvenliği standartlarını karşılamada önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Sınırlı altyapı, yetersiz teknik kapasite, zayıf düzenleyici sistemler ve mali kısıtlamalar, bu ülkelerdeki işletmelerin uluslararası pazarlara erişimini engelleyebilmektedir (Jaffee ve ark., 2005).

Henson ve Jaffee (2008), Afrika ülkelerinin AB pazarına ihracat yapabilmek için karşılaştıkları gıda güvenliği gereksinimlerinin, birçok küçük üreticiyi pazar dışına ittiğini ve ihracatın büyük, sermaye yoğun işletmelerde yoğunlaştığını göstermişlerdir. Bu durum, gıda güvenliği standartlarının sosyal kapsayıcılık açısından sorgulanmasına neden olmuştur.

Ancak, bazı çalışmalar bu standartların gelişmekte olan ülkelerdeki gıda sistemlerini modernize etme ve yerel tüketiciler için de gıda güvenliğini iyileştirme potansiyeline dikkat çekmektedir. Maertens ve Swinnen (2009), Senegal’de ihracat odaklı sebze sektöründeki gıda güvenliği yatırımlarının yerel işçiler için istihdam fırsatları yarattığını ve çevresel standartları iyileştirdiğini göstermiştir.

8.2. Teknik Yardım ve Kapasite Geliştirme

Uluslararası toplum, gelişmekte olan ülkelerin gıda güvenliği kapasitesini artırmak için çeşitli teknik yardım programları uygulamaktadır. Dünya Ticaret Örgütü’nün Ticaret için Teknik Yardım programı, Standartlar ve Ticaret Geliştirme Programı (STDF) ve çeşitli bölgesel projeler, önemli kaynaklar sağlamaktadır (WTO, 2018).

FAO ve WHO’nun ortak yürüttüğü Codex Alimentarius Güven Fonu, gelişmekte olan ülkelerin uluslararası standart oluşturma süreçlerine katılımını desteklemektedir. Bu katılım, bu ülkelerin kendi çıkarlarını korumalarına ve standartların yerel koşullara uyarlanmasına katkıda bulunmaktadır (Codex Alimentarius Commission, 2019).

Etkili teknik yardım programlarının, sadece finansal destek değil, aynı zamanda eğitim, akran öğrenme, teknoloji transferi ve kurumsal kapasite geliştirmeyi içermesi gerektiği vurgulanmaktadır (Henson ve Humphrey, 2010).

8.3. Ticari Etkiler ve Pazar Erişimi

Gıda güvenliği standartları, uluslararası ticarete teknik engeller oluşturabilmektedir. Dünya Ticaret Örgütü’nün Sanitasyon ve Fitosanitasyon Anlaşması (SPS Agreement), üye ülkelerin insan, hayvan ve bitki sağlığını korumak için önlemler alabileceğini kabul etmekte, ancak bu önlemlerin bilimsel

temellere dayanmasını ve ticaret üzerinde gereksiz kısıtlamalar oluşturmasını şart koşmaktadır (WTO, 1995).

SPS Anlaşması altında birçok ticari anlaşmazlık yaşanmıştır. Avrupa Birliği'nin hormon içeren et ithalatına getirdiği yasak, ABD ve AB arasında uzun yıllar süren bir ticari anlaşmazlığa neden olmuştur (Vogel, 2012). Benzer şekilde, BSE (deli dana hastalığı) krizi sırasında uygulanan ticaret yasakları, uluslararası et ticaretini önemli ölçüde etkilemiştir.

Ancak, harmonize gıda güvenliği standartları, ticareti kolaylaştırabilmektedir. Karşılıklı tanınma anlaşmaları, tekrarlanan sertifikasyon ve test gereksinimlerini azaltarak, ticaret maliyetlerini düşürebilmektedir (Wilson ve Otsuki, 2004).

9. Gelecek Trendler ve Yeni Zorluklar

9.1. İklim Değişikliği ve Yeni Riskler

İklim değişikliği, gıda güvenliği risklerini değiştirmekte ve yoğunlaştırmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış paternleri ve aşırı hava olayları, patojen proliferasyonunu, toksin oluşumunu ve hastalık vektörlerinin dağılımını etkilemektedir (FAO, 2008).

Tirado ve ark. (2010), iklim değişikliğinin özellikle Salmonella, Campylobacter gibi patojenler ile mikotoksin kontaminasyon risklerini artıracağını öngörmüşlerdir. Bu değişen risk profili, gıda güvenliği sistemlerinin adaptasyonunu ve potansiyel olarak ek yatırımları gerektirecektir.

Soğuk zincir gereksinimlerinin artması, enerji maliyetlerinin yükselmesi ve yeni kontrol önlemlerinin uygulanması, iklim değişikliğine bağlı ek maliyetler oluşturabilecektir. Lake ve ark. (2012), iklim değişikliğinin gıda güvenliği yönetim maliyetlerini %10-30 oranında artırabileceğini tahmin etmişlerdir.

9.2. Antimikrobiyal Direnç ve Tek Sağlık Yaklaşımı

Antimikrobiyal direncin küresel sağlık tehdidi olarak önem kazanması, hayvan yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımına dair düzenlemelerin sıklaşmasına neden olmaktadır. Avrupa Birliği, 2006 yılında büyüme amaçlı antibiyotik kullanımını yasaklamış, birçok ülke de benzer düzenlemeler uygulamaya başlamıştır (Cogliani ve ark., 2011).

Bu düzenlemeler, hayvancılık sektörü için yeni zorluklar ve maliyetler yaratmaktadır. Alternatif hastalık önleme stratejileri (aşılama, biyogüvenlik, beslenme yönetimi) önemli yatırımlar gerektirmektedir. Aarestrup (2015), antibiyotik kısıtlamalarının kısa vadede üretim maliyetlerini artırabileceğini, ancak uzun vadede daha sürdürülebilir üretim sistemlerine geçişi destekleyeceğini belirtmiştir.

Tek Sağlık (One Health) yaklaşımı, insan, hayvan ve çevre sağlığının entegre yönetimini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, gıda güvenliği politikalarının daha geniş bir perspektiften ele alınmasını ve sektörler arası işbirliğini gerektirmektedir (Rabinowitz ve Conti, 2013).

9.3. Dijital Dönüşüm ve Akıllı Teknolojiler

Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka, büyük veri analitiği ve blockchain gibi dijital teknolojiler, gıda güvenliği yönetimini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler, gerçek zamanlı izleme, öngörücü risk analizi ve otomatik kontrol sistemleri sunmaktadır (Demartini ve ark., 2018).

Akıllı sensörler ve IoT cihazları, soğuk zincir izlemesini, sıcaklık ve nem kontrolünü otomatikleştirerek, insan hatalarını azaltabilmektedir. Badia-Mellis ve ark. (2015), bu teknolojilerin gıda kayıplarını %15-25 oranında azaltabileceğini ve uzun vadede maliyet tasarrufları sağlayabileceğini öngörmüştür.

Ancak, bu teknolojilerin uygulanması da önemli başlangıç yatırımları gerektirmektedir. Küçük işletmelerin dijital dönüşümü finanse etmesi zorlayıcı olabilir ve bu durum, sektörde dijital bölünmelere yol açabilir (Wolfert ve ark., 2017).

9.4. Tüketici Beklentilerindeki Değişim

Modern tüketiciler, gıda güvenliğinin yanı sıra, sürdürülebilirlik, hayvan refahı, çevre etkisi ve sosyal sorumluluk gibi geniş bir yelpazede değerlere önem vermektedir. Bu değişen beklentiler, gıda üretim sistemlerinde daha kapsamlı standartların uygulanmasını gerektirmektedir (de Jonge ve ark., 2007).

Şeffaflık ve izlenebilirlik talepleri artmaktadır. Tüketiciler, satın aldıkları ürünlerin kökenini, üretim süreçlerini ve güvenlik kontrollerini öğrenmek istemektedir. QR kodları, mobil uygulamalar ve dijital etiketler, bu bilgilerin tüketicilere sunulmasını kolaylaştırmaktadır (Sander ve ark., 2018).

Bu gelişmeler, gıda işletmeleri için ek yatırım ve operasyonel maliyetler anlamına gelmektedir. Ancak, tüketici güvenini kazanma ve pazar farklılaştırması açısından önemli fırsatlar da sunmaktadır.

10. Sonuç ve Öneriler

Hayvansal gıdalarda gıda güvenliği uygulamaları, modern gıda sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu derleme çalışma, gıda güvenliği standartlarının üretim maliyetlerini artırdığını, ancak bu artışların hastalık yükü azalması, üretim verimliliği artışı, pazar erişimi ve marka değeri gibi önemli faydalarla dengelendiğini göstermektedir.

Maliyetlerin tüketici fiyatlarına yansımaları, pazar yapısı, rekabet düzeyi ve tüketici tercihlerine bağlı olarak değişmektedir. Farklılaştırılmış ürün

pazarlarında, tüketicilerin gıda güvenliği için prim fiyatlar ödemeye istekli olması, üreticilerin yatırımlarını geri kazanmalarını kolaylaştırmaktadır.

Küçük ve orta ölçekli işletmelerin gıda güvenliği standartlarını karşılamalarını desteklemek için kamu politikalarının önemli bir rolü bulunmaktadır. Mali destek, teknik yardım, eğitim programları ve risk bazlı düzenleyici yaklaşımlar, gıda güvenliği sistemlerinin kapsayıcı bir şekilde uygulanmasına katkıda bulunabilir.

Gelecekte, iklim değişikliği, antimikrobiyal direnç ve değişen tüketici beklentileri gibi faktörler, gıda güvenliği yönetiminde yeni zorluklar yaratacaktır. Dijital teknolojiler ve yenilikçi yaklaşımlar, bu zorlukların üstesinden gelmede önemli fırsatlar sunmaktadır.

Öneriler

1. Kamu Politikaları: Hükümetler, özellikle küçük işletmeler için gıda güvenliği yatırımlarını destekleyecek hibe programları, düşük faizli krediler ve teknik yardım mekanizmaları geliştirmelidir.

2. Risk Bazlı Düzenlemeler: Düzenleyici sistemler, işletme büyüklüğü ve risk profiline göre esneklik göstermeli, kaynaklar en yüksek riskli alanlara yönlendirilmelidir.

3. Sektörel İşbirliği: Üretici organizasyonları, kooperatifler ve sektör dernekleri, kolektif eylem yoluyla gıda güvenliği yatırımlarının maliyetlerini azaltmalı ve bilgi paylaşımını desteklemelidir.

4. Teknoloji ve İnovasyon: Ar-Ge yatırımları, gıda güvenliği teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanabilir hale getirilmesi için artırılmalı, kamu-özel sektör işbirlikleri teşvik edilmelidir.

5. Eğitim ve Kapasite Geliştirme: Gıda işletmelerinde çalışan personelin sürekli eğitimi ve gıda güvenliği kültürünün geliştirilmesi önceliklendirilmelidir.

6. Uluslararası İşbirliği: Gelişmekte olan ülkelerin gıda güvenliği kapasitesini artırmak için uluslararası teknik yardım ve teknoloji transferi programları güçlendirilmelidir.

7. Tüketici Bilgilendirme: Tüketiciler, gıda güvenliği standartlarının değeri ve maliyetleri konusunda bilinçlendirilmeli, bilinçli tercihler yapmaları desteklenmelidir.

8. Uzun Vadeli Perspektif: Gıda güvenliği yatırımları, kısa vadeli maliyet kaygılarından ziyade, uzun vadeli halk sağlığı, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal refah perspektifiyle değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, gıda güvenliği uygulamalarının ekonomik etkileri karmaşık ve çok boyutludur. Bu uygulamalar, kısa vadede üretim maliyetlerini ar-

tırsa da, uzun vadede toplumsal faydaları, bireysel maliyetleri önemli ölçüde aşmaktadır. Dengeli politikalar, etkili destek mekanizmaları ve yenilikçi yaklaşımlarla, gıda güvenliğinin ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal adaletle uyumlu bir şekilde sağlanması mümkündür.

KAYNAKÇA

- Aarestrup, F. M. (2015). The livestock reservoir for antimicrobial resistance: a personal view on changing patterns of risks, effects of interventions and the way forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 370(1670), 20140085.
- Acar, N., & Günlü, A. (2020). Süt işletmelerinde izlenebilirlik sistemlerinin maliyetleri: Türkiye örneği. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 15(2), 123-136.
- Angulo, A. M., & Gil, J. M. (2007). Risk perception and consumer willingness to pay for certified beef in Spain. *Food Quality and Preference*, 18(8), 1106-1117.
- Anodou, M., Gorris, L. G. M., Smid, E. J., Hofstra, N., & Zwietering, M. H. (2006). Costs of HACCP implementation in Greek dairy industry. *Journal of Food Protection*, 69(12), 2896-2903.
- Badia-Melis, R., Mishra, P., & Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. *Food Control*, 57, 393-401.
- Baynes, R. E., Dedonder, K., Kissell, L., Mzyk, D., Marmulak, T., Smith, G., Tell, L., Gehring, R., Davis, J., & Riviere, J. E. (2016). Health concerns and management of select veterinary drug residues. *Food and Chemical Toxicology*, 88, 112-122.
- Bignebat, C., Koc, A. A., & Lemeilleur, S. (2009). Small producers, supermarkets, and the role of intermediaries in Turkey's fresh fruit and vegetable market. *Agricultural Economics*, 40(s1), 807-816.
- Cato, J. C., & Lima dos Santos, C. A. (2000). Costs to upgrade the Bangladesh frozen shrimp processing sector to adequate technical and sanitary standards and to maintain a HACCP program. In L. J. Unnevehr (Ed.), *The Economics of HACCP: Costs and Benefits* (pp. 385-402). Eagan Press.
- Claeys, W. L., Cardoen, S., Daube, G., De Block, J., Dewettinck, K., Dierick, K., De Zutter, L., Huyghebaert, A., Imberechts, H., Thiange, P., Vandenplas, Y., & Herman, L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food Control*, 31(1), 251-262.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). *Recommended International Code of Practice: General Principles of Food Hygiene* (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4). FAO/WHO.
- Codex Alimentarius Commission. (2019). *Strategic Plan 2020-2025*. FAO/WHO.
- Cogliani, C., Goossens, H., & Greko, C. (2011). Restricting antimicrobial use in food animals: lessons from Europe. *Microbe*, 6(6), 274-279.
- Darby, K., Batte, M. T., Ernst, S., & Roe, B. (2008). Decomposing local: A conjoint analysis of locally produced foods. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(2), 476-486.
- de Jonge, J., van Trijp, H., van der Lans, I. A., Renes, R. J., & Frewer, L. J. (2007). How trust in institutions and organizations builds general consumer confidence in the safety of food: A decomposition of effects. *Appetite*, 51(2), 311-317.
- Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C., & Testa, C. (2018). Food

industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1371-1378.

- Dobson, P. (2005). Exploiting buyer power: Lessons from the British grocery trade. *Antitrust Law Journal*, 72(2), 529-562.
- EFSA (European Food Safety Authority). (2019). *The European Union One Health 2018 Zoonoses Report*. EFSA Journal, 17(12), 5926.
- Egan, M. B., Raats, M. M., Grubb, S. M., Eves, A., Lumbers, M. L., Dean, M. S., & Adams, M. R. (2007). A review of food safety and food hygiene training studies in the commercial sector. *Food Control*, 18(10), 1180-1190.
- European Commission. (2002). *Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council laying down the general principles and requirements of food law*. Official Journal of the European Communities, L 31/1.
- European Commission. (2004). *Regulation (EC) No 852/2004 on the hygiene of foodstuffs*. Official Journal of the European Union, L 139/1.
- European Commission. (2014). *Rural Development Programme 2014-2020: Guidance document on quality schemes*. Brussels: European Commission.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2008). *Climate Change: Implications for Food Safety*. Rome: FAO.
- FAO/WHO. (2003). *Assuring Food Safety and Quality: Guidelines for Strengthening National Food Control Systems*. FAO Food and Nutrition Paper 76. Rome: FAO.
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2011). *FDA Food Safety Modernization Act (FSMA)*. Public Law 111-353.
- Fulponi, L. (2006). Private voluntary standards in the food system: The perspective of major food retailers in OECD countries. *Food Policy*, 31(1), 1-13.
- Garcia Martinez, M., & Poole, N. (2004). The development of private fresh produce safety standards: implications for developing Mediterranean exporting countries. *Food Policy*, 29(3), 229-255.
- GFSI (Global Food Safety Initiative). (2020). *GFSI Benchmarking Requirements Version 2020*. Consumer Goods Forum.
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies* (Agricultural Economic Report No. 830). USDA Economic Research Service.
- Grunert, K. G. (2005). Food quality and safety: consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics*, 32(3), 369-391.
- Havelaar, A. H., Kirk, M. D., Torgerson, P. R., Gibb, H. J., Hald, T., Lake, R. J., Praet, N., Bellinger, D. C., de Silva, N. R., Gargouri, N., Speybroeck, N., Cawthorne, A., Mathers, C., Stein, C., Angulo, F. J., Devleeschauwer, B., & World Health Organization Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group. (2015). World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of foodborne disease in 2010. *PLoS Medicine*, 12(12), e1001923.

- Henson, S., & Holt, G. (2000). Exploring incentives for the adoption of food safety controls: HACCP implementation in the U.K. dairy sector. *Review of Agricultural Economics*, 22(2), 407-420.
- Henson, S., & Humphrey, J. (2010). Understanding the complexities of private standards in global agri-food chains as they impact developing countries. *Journal of Development Studies*, 46(9), 1628-1646.
- Henson, S., Masakure, O., & Cranfield, J. (2011). Do fresh produce exporters in sub-Saharan Africa benefit from GlobalGAP certification? *World Development*, 39(3), 375-386.
- Henson, S., & Mitullah, W. (2004). Kenyan exports of Nile perch: Impact of food safety standards on an export-oriented supply chain. *World Bank Policy Research Working Paper*, 3349.
- Henson, S., & Reardon, T. (2005). Private agri-food standards: Implications for food policy and the agri-food system. *Food Policy*, 30(3), 241-253.
- Henson, S., Brouder, A. M., & Mitullah, W. (2000). Food safety requirements and food exports from developing countries: The case of fish exports from Kenya to the European Union. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(5), 1159-1169.
- Henson, S. J., Holt, G., & Northen, J. (1999). Costs and benefits of implementing HACCP in the UK dairy processing sector. *Food Control*, 10(2), 99-106.
- Hoffmann, S., & Scallan, E. (2017). Epidemiology, cost, and risk analysis of foodborne disease. In Y. Motarjemi & M. Lelieveld (Eds.), *Food Safety Management* (pp. 31-63). Academic Press.
- Hovey, R. C., Garling, J., & Epperson, J. E. (2009). *Economic Analysis of Food Safety Regulations in the Poultry Processing Industry*. University of Georgia Cooperative Extension.
- Humphrey, J. (2012). Food safety, trade, standards and the integration of smallholders into value chains. In K. Rosin, P. Stock, & H. Campbell (Eds.), *Food Systems Failure* (pp. 63-78). Routledge.
- Huss, H. H., Reilly, A., & Ben Embarek, P. K. (2000). Prevention and control of hazards in seafood. *Food Control*, 11(2), 149-156.
- ISO (International Organization for Standardization). (2018). *ISO 22000:2018 Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain*. Geneva: ISO.
- Jaffee, S., & Henson, S. (2004). *Standards and Agro-Food Exports from Developing Countries: Rebalancing the Debate*. World Bank Policy Research Working Paper 3348.
- Jaffee, S., Henson, S., & Diaz Rios, L. (2011). *Making the grade: Smallholder farmers, emerging standards, and development assistance programs in Africa: A research program synthesis*. World Bank.
- Jaffee, S., Meer, K. V., Henson, S., de Haan, C., Sewadeh, M., & Ignacio, L. (2005). *Food safety and agricultural health standards: Challenges and opportunities for developing country exports*. World Bank Report No. 31207.

- Jensen, H. H., & Unnevehr, L. J. (2000). HACCP in pork processing: Costs and benefits. In L. J. Unnevehr (Ed.), *The Economics of HACCP: Costs and Benefits* (pp. 29-44). Eagan Press.
- Kafetzopoulos, D. P., Psomas, E. L., & Kafetzopoulos, P. D. (2013). Measuring the effectiveness of the HACCP Food Safety Management System. *Food Control*, 33(2), 505-513.
- Lake, I. R., Hooper, L., Abdelhamid, A., Bentham, G., Boxall, A. B., Draper, A., Fairweather-Tait, S., Hulme, M., Hunter, P. R., Nichols, G., & Waldron, K. W. (2012). Climate change and food security: Health impacts in developed countries. *Environmental Health Perspectives*, 120(11), 1520-1526.
- Laxminarayan, R., Duse, A., Wattal, C., Zaidi, A. K., Wertheim, H. F., Sumpradit, N., Vlieghe, E., Hara, G. L., Gould, I. M., Goossens, H., Greko, C., So, A. D., Bigdeli, M., Tomson, G., Woodhouse, W., Ombaka, E., Peralta, A. Q., Qamar, F. N., Mir, F., ... & Cars, O. (2013). Antibiotic resistance—the need for global solutions. *The Lancet Infectious Diseases*, 13(12), 1057-1098.
- Loader, R., & Hobbs, J. E. (1999). Strategic responses to food safety legislation. *Food Policy*, 24(6), 685-706.
- Luning, P. A., Marcelis, W. J., & Jongen, W. M. F. (2008). *Food Quality Management: A Techno-Managerial Approach*. Wageningen Academic Publishers.
- Lusk, J. L., & Briggeman, B. C. (2009). Food values. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(1), 184-196.
- MacDonald, J. M., Ollinger, M. E., Nelson, K. E., & Handy, C. R. (2000). *Consolidation in U.S. Meatpacking* (Agricultural Economic Report No. 785). USDA Economic Research Service.
- Maertens, M., & Swinnen, J. F. (2009). Trade, standards, and poverty: Evidence from Senegal. *World Development*, 37(1), 161-178.
- Maldonado, E. S., Henson, S. J., Caswell, J. A., Leos, L. A., Martinez, P. A., Aranda, G., & Cadena, J. A. (2005). Cost-benefit analysis of HACCP implementation in the Mexican meat industry. *Food Control*, 16(4), 375-381.
- McCluskey, J. J. (2000). A game theoretic approach to organic foods: An analysis of asymmetric information and policy. *Agricultural and Resource Economics Review*, 29(1), 1-9.
- McCluskey, J. J., & Loureiro, M. L. (2003). Consumer preferences and willingness to pay for food labeling: A discussion of empirical studies. *Journal of Food Distribution Research*, 34(3), 95-102.
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647-667.
- Meunier-Goddik, L., Lonergan, D. J., Harper, W. J., & Penner, M. H. (2002). *HACCP certification in the dairy industry: Critical control points, documentation, and implementation costs in small to medium-sized processors*. Oregon State University Extension Service.

- Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). *HACCP: A Practical Approach* (3rd ed.). Springer.
- Mortlock, M. P., Peters, A. C., & Griffith, C. J. (2000). A national survey of food hygiene training and qualification levels in the UK food industry. *International Journal of Environmental Health Research*, 10(2), 111-123.
- Newell, D. G., Koopmans, M., Verhoef, L., Duizer, E., Aidara-Kane, A., Sprong, H., Opsteegh, M., Langelaar, M., Threlfall, J., Scheutz, F., van der Giessen, J., & Kruse, H. (2010). Food-borne diseases — the challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *International Journal of Food Microbiology*, 139(Suppl 1), S3-S15.
- Nganje, W. E., Kaitibie, S., & Wilson, W. W. (2007). *Cointegration and spatial modeling of beef cattle markets: Effectiveness of competition in pricing* (Agribusiness & Applied Economics Report No. 606). North Dakota State University.
- Ollinger, M., Moore, D., & Chandran, R. (2005). *Meat and Poultry Plants' Food Safety Investments: Survey Findings* (USDA-ERS Technical Bulletin No. 1911). U.S. Department of Agriculture.
- O'Neill, J. (2016). *Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations*. Review on Antimicrobial Resistance.
- Ortega, D. L., Wang, H. H., Wu, L., & Olynk, N. J. (2011). Modeling heterogeneity in consumer preferences for select food safety attributes in China. *Food Policy*, 36(2), 318-324.
- Piggott, N. E., & Marsh, T. L. (2004). Does food safety information impact U.S. meat demand? *American Journal of Agricultural Economics*, 86(1), 154-174.
- Powell, D. A., Jacob, C. J., & Chapman, B. J. (2011). Enhancing food safety culture to reduce rates of foodborne illness. *Food Control*, 22(6), 817-822.
- Psomas, E. L., Fotopoulos, C. V., & Kafetzopoulos, D. P. (2011). Motives, difficulties and benefits in implementing the ISO 22000 Food Safety Management System. *Food Control*, 22(12), 1929-1936.
- Rabinowitz, P. M., & Conti, L. A. (2013). *Human-Animal Medicine: Clinical Approaches to Zoonoses, Toxicants and Other Shared Health Risks*. Elsevier.
- Reardon, T., Barrett, C. B., Berdegue, J. A., & Swinnen, J. F. (2009). Agrifood industry transformation and small farmers in developing countries. *World Development*, 37(11), 1717-1727.
- Reardon, T., & Timmer, C. P. (2007). Transformation of markets for agricultural output in developing countries since 1950: How has thinking changed? *Handbook of Agricultural Economics*, 3, 2807-2855.
- Sander, F., Semeijn, J., & Mahr, D. (2018). The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, 120(9), 2066-2079.
- Scharff, R. L. (2012). Economic burden from health losses due to foodborne illness in the United States. *Journal of Food Protection*, 75(1), 123-131.
- Schiefer, G., & Deiters, J. (2007). Tracing and tracking—design and deployment of

- advanced IT-solutions. *New Technologies and the Firm: Innovation and Competition*, 25-46.
- Sofos, J. N. (Ed.). (2008). *Improving the Safety of Fresh Meat*. Woodhead Publishing.
- Sumner, D. A., Bervejillo, J. E., & Jarvis, L. S. (2011). Impacts of the Food Safety Modernization Act on the fresh table grape industry. *Choices*, 26(4), 1-5.
- Teratanavat, R., & Hooker, N. H. (2006). Consumer valuations and preference heterogeneity for a novel functional food. *Journal of Food Science*, 71(7), S533-S541.
- Thomsen, M. R., & McKenzie, A. M. (2001). Market incentives for safe foods: An examination of shareholder losses from meat and poultry recalls. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), 526-538.
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 1-6.
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A., & Frank, J. M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765.
- Todd, E. C. D. (1989). Costs of acute bacterial foodborne disease in Canada and the United States. *International Journal of Food Microbiology*, 9(4), 313-326.
- Uçar, A., & Gönülalan, Z. (2015). Türkiye'de süt sanayinde uygulanan HACCP sisteminin maliyetleri. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 86(2), 23-31.
- Unnevehr, L. J. (Ed.). (2000). *The Economics of HACCP: Costs and Benefits*. Eagan Press.
- Unnevehr, L. J., & Hirschhorn, N. (2000). Food safety issues in the developing world. *World Bank Technical Paper No. 469*. Washington, DC: World Bank.
- Vogel, D. (2012). *The Politics of Precaution: Regulating Health, Safety, and Environmental Risks in Europe and the United States*. Princeton University Press.
- WHO (World Health Organization). (2015). *WHO Estimates of the Global Burden of Foodborne Diseases*. Geneva: WHO.
- Wilson, J. S., & Otsuki, T. (2004). To spray or not to spray: Pesticides, banana exports, and food safety. *Food Policy*, 29(2), 131-146.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- World Bank. (2019). *Food Safety: Healthy Markets, Healthy People*. Washington, DC: World Bank.
- WTO (World Trade Organization). (1995). *The WTO Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures (SPS Agreement)*. Geneva: WTO.
- WTO (World Trade Organization). (2018). *Aid for Trade at a Glance 2019: Economic Diversification and Empowerment*. Geneva: WTO.



**SIĞIR TRİKOMONİYAZI:
ÜREME VERİMLİLİĞİNİ
TEHDİT EDEN ÖNEMLİ BİR
ENFEKSİYON**

“ ”

Bünyamin İREHAN¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Harran Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Parazitoloji Ana Bilim Dalı, Şanlıurfa, Türkiye. birehan@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1745-2535

GİRİŞ

Sığır yetiştiriciliğinde üretim verimliliğinin düşmesindeki temel faktör üreme bozukluklarıdır. Sığır trikomoniyazı; ineklerde pyometra, erken ve orta dönem gebelik kayıpları ile düşük doğum oranlarına yol açan en kritik reproduktif enfeksiyonlardan biridir (Martin ve ark., 2021). Hastalığın etkeni olan *Tritrichomonas foetus*, ilk kez 1888 yılında Fransa'da tanımlanmış ve ineklerdeki infertilite ile ilişkilendirilmiş kamçılı bir protozoondur (Dąbrowska ve ark., 2019). Mevcut literatüre göre sığır trikomoniyazı, temel olarak doğal çiftleşme veya cinsel temas yoluyla bulaşmaktadır (Jin ve ark., 2014).

Tritrichomonas foetus trofozoitleri, koitus sırasında bulaşarak ineklerde metrit ve erken embriyonik ölümlere neden olabilmektedir (Ortega-Mora ve ark., 2022). Enfekte boğalar genellikle klinik semptom göstermezken (asemptomatik taşıyıcı), enfekte ineklerde endometrit veya vajinit gibi hafif seyirli semptomlar görülebileceği gibi, üreme sisteminde şiddetli inflamasyonlar da şekillenebilmektedir (Gharban, 2023). Gebe ineklerde kısırılık, düşük doğum oranları ve pyometra olası diğer komplikasyonlardır (González-Carmona ve ark., 2012). *T. foetus*'un sürülerdeki temel yayılım mekanizması, enfekte hayvanlardan sağlıklı olanlara cinsel temas ve sıklıkla doğal aşım yoluyla gerçekleşmektedir (Dąbrowska ve ark., 2019).

Sürü üreme performansı üzerindeki yıkıcı etkileri nedeniyle trikomoniyaz, gebe düve sayısını ve dolaylı olarak buzağı verimini düşürmektedir. Bu bağlamda hastalık, sığır işletmeleri üzerinde ciddi bir ekonomik baskı oluşturmaktadır (Oyhenart, 2019). İnfertil sığırların yem ve bakım maliyetleri, enfekte damızlıkların yenilenme giderleri, tanı ve kontrol amaçlı test harcamaları ile geç doğan buzağuların düşük süttan kesme ağırlıkları, işletme kârlılığını olumsuz etkileyen temel faktörlerdir (Yao, 2021).

Hastalık; abortlar, infertilite ve taşıyıcı boğaların sürüden çıkarılması zorunluluğu nedeniyle belirli bölgelerde halen önemli mali kayıplara yol açmaktadır (Rodning ve ark., 2008). Hijyenik suni tohumlama uygulamalarının yaygın olduğu entansif süt ve et sığırcılığı işletmelerinde insidansın daha düşük olduğu kanıtlanmıştır (Mendoza-Ibarra ve ark., 2012). Bu doğrultuda hastalık Güney Avustralya ve Yeni Zelanda'da nadir görülmele birlikte, Kuzey Avustralya'da halen mevcudiyetini korumaktadır. Kuzey Amerika sığır popülasyonunun büyük kısmını barındıran Batı Amerika bölgesinde ise doğal üreme yöntemlerinin yaygınlığı, trikomoniyaz vakalarının yüksek frekansta görülmesine neden olmaktadır (Martin ve ark., 2021).

Genellikle sürüdeki maruziyetin kanıtları, üreme sezonu sonundaki gebelik muayenelerinde tespit edilmektedir (Funnel, 2022). Doğum sezonu boyunca yüksek oranda infertil inek varlığı, sığır trikomoniyazı şüphesini güçlendirmekte ve ileri araştırma gerektirmektedir. Artan hastalık preva-

lansının sığır reproduksiyonu üzerindeki olumsuz etkisi aşikârdır. Bu kitap bölümünün amacı; sığır trikomoniyazının etiyolojisi, yaşam döngüsü, tarihçesi, epidemiyolojisi, patogenezi, immün yanıtı, patolojisi, klinik semptomları, teşhisi, bulaşma yolları, ekonomik etkileri, tedavisi ve kontrol yöntemleri hakkında kapsamlı bilgi sunmaktır.

Etiyoloji

Tritrichomonas ismi, organizmanın morfolojik bir özelliği olan “üç kamçılı tek hücreli protozoon” tanımından türetilmiştir (Coceres ve ark., 2021). Piriform (armut) biçimli bir yapıya sahip olan *Tritrichomonas foetus*, genellikle 5–10 µm genişlik ve 10–25 µm uzunluk ölçülerindedir. Organizma; tek bir çekirdek ile üçü anterior (ön) uçta serbest, dördüncüsü ise gövde boyunca uzanarak undulan membranı (dalgalı zar) oluşturan toplam dört kamçı ihtiva eder (Pereira-Neves ve Benchimol, 2009). Karakteristik “titreşimli” hareketini bu zarın salınımıyla sağlayan aktif yaşam evresine “trofozoit” denir. Trofozoitler, boyuna ikili bölünme yoluyla eşeysiz olarak çoğalırlar (Iriarte ve ark., 2023).

Bos indicus ve *Bos taurus* türü sığırlar etkenin birincil konakçılarıdır (Martínez ve ark., 2023). Mikroskobik incelemelerde kamçı sayısı, *T. foetus*'u diğer kamçılı protozoonlardan ayıran temel kriterdir. Ancak morfolojik benzerlikler nedeniyle tür ayrımı yapmak bazen güçleşebilir (Parker ve ark., 2003). *T. vaginalis* dört anterior kamçıya sahipken, *T. foetus* üç anterior ve bir rekürrent (geriye dönen) kamçı yapısıyla ayırt edilir (Coceres ve ark., 2021).

Yaşam Döngüsü

Trichomonas türleri trofozoit, kist ve psödokist (yalancı kist) evrelerine sahiptir. “Kist” formu dirençli bir dış bariyerle karakterizeyken; “psödokist” evresi, plazma zarı bileşimi değişmeksizin kamçıların içeri kıvrıldığı (internalizasyon) bir formu ifade eder (Beri ve ark., 2020). Olumsuz çevre koşullarına karşı dejeneratif bir yanıt olarak gelişen psödokistler, uygun şartlarda tekrar aktif trofozoit formuna dönebilirler (Iriarte ve ark., 2023). Bu evrede organizma; çoklu ikili bölünme, tomurcuklanma veya şizogoni benzeri bölünme yöntemleriyle de üreyebilmektedir (Pereira-Neves ve Benchimol, 2009).

Tarihçe

Genital bir protozoon olan *T. foetus*, ilk kez 1888 yılında Fransa’da tanımlanmıştır. Ancak aynı dönemde brusellozun (Brucellosis) keşfedilmesi, bu parazitin uzun süre arka planda kalmasına neden olmuştur (Dağbrowska ve ark., 2019). 1920’li yıllarda Almanya’daki çalışmalarla yeniden gündeme gelen hastalık, ABD’de ilk kez 1932 yılında Pennsylvania’da belgelenmiştir (Kissinger, 2015). Hastalığın yarattığı ciddi ekonomik kayıplar, günümüzde özellikle ABD gibi büyük üretici bölgelerde boğa nakillerini ve sürü yönetimini denetleyen sıkı yasal düzenlemelerin yürürlüğe girmesini zorunlu kılmıştır.

Epidemiyoloji

Sığır trikomoniyazının prevalansı; işletme yönetimi, inek ve boğa kaynaklı faktörlerin etkileşimiyle şekillenmektedir (Molina ve ark., 2018; Jin ve ark., 2020).

- Boğa Faktörleri: Yaş, sürüdeki boğa sayısı ve oranı, aşıım sezonu süresi, çiftleşme kapasitesi ve libido.

- İnek Faktörleri: Yaş, immünolojik statü, reproduktif sezon uzunluğu, kondisyon skoru ve postpartum süreç.

- Yönetimsel Faktörler: Mera yönetimi, damızlık alım politikaları, rasyon değişiklikleri ve biyogüvenlik protokolleri (Gharban, 2023).

Kontrolsüz boğa alımı veya kiralanması, ortak otlatma alanlarının kullanımı ve sürüye kontrolsüz erişkin yedek boğa dahil edilmesi enfeksiyon riskini artıran temel unsurlardır (Yao ve ark., 2011). Küresel ölçekte endemik bir sorun olan hastalık; Avrupa, Afrika, Asya, Avustralya ve Amerika'nın geniş bölgelerinde görülmektedir (Michi ve ark., 2016). Türkiye'de sığır abort örneklerinde etkenin varlığı Real time PCR analizi ile araştırılmış ve %3,63 oranında pozitiflik belirlenmiştir (Irehan ve ark., 2022). Prevalans oranları; Avustralya'da %3,6-40, Kaliforniya'da %5,8-38,5 ve Nijerya'da %26,4 olarak kaydedilmiştir (Adeyeye ve ark., 2010; Irons ve ark., 2022). Özellikle doğal aşıım yöntemlerinin sürdüğü Kuzey İspanya gibi bölgeler enfeksiyon odağı (hotspot) kabul edilmektedir (Mendoza-Ibarra ve ark., 2012). Sürü büyüklüğü ve yüksek boğa/inek oranı enfeksiyon sıklığını belirleyen kritik parametreler olup, 4 yaş üzeri boğa barındıran büyük işletmeler en yüksek risk grubundadır (Mai ve ark., 2013).

Patogenez

Sığır trikomoniyazında embriyonik ve fetal kayıpların etiyopatogenezi tam olarak aydınlatılamamış olsa da; parazitin mekanik aktivitesi, uterustaki inflamatuvar yanıtlar ve salgılanan proteolitik enzimlerin sitotoksik etkileri temel rol oynamaktadır (Petrópolis ve ark., 2008). Hastalığın gelişiminde sitotoksisite ve sitoaderans birincil mekanizmalardır. Östrus döngüsü boyunca değişkenlik gösteren *T. foetus* yükü, östrus fazından birkaç gün önce maksimum seviyeye ulaşır (Paradiso ve Oyhenart, 2023). Etkenin servikal bölgeye yüksek afinite gösterdiği ve enfeksiyon sürecinde plasentit ile karakteristik fetal/plasental lezyonların şekillendiği saptanmıştır (Dąbrowska ve ark., 2020).

T. foetus suşlarının patojenitesi, adhezyon ve füzyon kapasiteleriyle doğrudan ilişkilidir (Benchimol ve ark., 2017). Abortlar tipik olarak gebeliğin ilk trimestrinde gerçekleşir (Shaapan, 2016). Yaşlı boğalarda preputial kriptlerin derinleşmesi, etkenin kolonize olmasına ve hayvanın ömür boyu kronik ta-

şıyıcı kalmasına neden olur (Pereira-Neves ve Benchimol, 2009). Gebeliğin 6. ayından sonra düşükler nadirdir; inekler genellikle fetal membranların atılmasıyla spontan iyileşirler (Shaapan, 2016). Ancak plasenta retansiyonu durumunda şekillenen kronik kataral veya pürülan endometrit, kalıcı infertilite ile sonuçlanabilir (da Silva ve ark., 2011). Nadiren, fetal ölüm sonrası abort gerçekleşmezse intrauterin maserasyon şekillenmektedir. Patogenezde sitokin mekanizmalarının ve lenfokin aracılı sitotoksitenin kritik öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

İmmün Yanıt

T. foetus'a karşı gelişen immün mekanizmalar üzerine yapılan araştırmalar günümüzde halen sınırlıdır. ELISA yöntemiyle yapılan çalışmalarda, sistemik dolaşımında etkene özgü IgA, IgG veya IgM düzeylerinde anlamlı bir artış saptanmamıştır (Menezes ve Tasca, 2016). Enfekte hayvanlarda intradermal testler tip I aşırı duyarlılık reaksiyonları gösterse de, IgE'nin patofizyolojideki rolü belirsizliğini korumaktadır (Soto ve Parma, 1989). Bununla birlikte enfekte inekler, paraziti reproduktif kanaldan elimine edebilir ve dolaşımdaki antikorlar tam koruma sağlamasa dahi geçici bir re-enfeksiyon direnci kazanabilirler (Dąbrowska ve ark., 2019).

DeneySEL veriler, etkenin uterus, serviks ve vajinadan eş zamanlı temizlendiğini göstermektedir; bu durum lokal (mukozal) antikor yanıtının bir sonucu olarak değerlendirilir (Agnew ve ark., 2008). Enfeksiyondan yaklaşık 8 hafta sonra vajinal ve servikal IgA ve IgG1 yanıtlarında artış gözlenirken, uterustaki yükselme 11. haftada gerçekleşmektedir. IgM seviyeleri minimal düzeyde kalırken, IgG2 yanıtı kısa süreli ve geçicidir (Ikeda ve ark., 1995). Enfeksiyon süresince tespit edilen 20–200 kDa (kilodalton) ağırlığındaki antijenlerden yüksek moleküler ağırlıklı olanların varlığı, parazit eliminasyonu ile ilişkilendirilmektedir. HücreSEL bağışıklığı (cell-mediated immunity) destekleyen klinik veriler yetersiz olsa da, abort yapmış fetüslerin akciğer makrofajlarında *T. foetus* fagositozu tespit edilmiştir (Tolbert ve Gookin, 2016).

Patoloji

Abort gerçekleşmiş fetüslerdeki mikroskopik lezyonlar; doku invazyonu yapan trikomonadların eşlik ettiği piyogranülomatöz bronkopnömoni ve gastrointestinal kanaldaki patolojilerle karakterizedir (Rhyan ve ark., 1988). Özellikle pulmoner hava yollarında çok sayıda ekstraselüler parazit, fagositoza uğramış nötrofiller, makrofajlar ve çok çekirdekli dev hücreler saptanmaktadır (Milde ve ark., 2015). Bazı vakalarda etkenin interlobüler septaların bağ dokusunda ve subplevral venlerde kümelenildiği görülür (Rhyan ve ark., 1995).

Fetal akciğer lobüllerinde ve interlobüler septalarda fokal kanamalar görülebilmektedir. Gastrointestinal sistemde ise hafif fokal epitelyal dejenerasyondan yaygın nekroz ve epitel kaybına kadar değişen tablolar ortaya çıkabil-

mektedir (Yao ve Köster, 2015). Ayrıca abomasum ve bağırsaklarda trombotik lezyonlar ile mukozal/subserozal hemorajiler bildirilmiştir (Njaa ve ark., 2012). Rumen ve omasum mukozasında, merkezinde kanama odağı bulunan, eritrosit ve fibrin içeren intraepitelyal veziküller tipik bulgular arasındadır.

Klinik Belirtiler

Siğir trikomoniyazında patognomonik dış klinik belirtiler nadirdir; teşhis genellikle sürü düzeyindeki reproduktif verilerle konur. İşletmelerde; koitus sonrası vajinal akıntı, gebeliğin 2. ve 5. ayları arasındaki abortlar, kronik infertilite ve özellikle düvelerde belirgin olan östrusa dönüş (boş kalma) durumları gözlenir (Gharban, 2023). Klinik tablo; hafif seyirli vajinit ve endometritten, tüm üreme sistemini kapsayan akut inflamasyona, pyometra ve erken embriyonik ölümlere kadar değişkenlik gösterebilir (Givens ve Marley, 2008).

İlk kez enfekte olan sürülerde doğum oranları ilk iki yıl %18'e varan oranlarda düşmekte, takip eden yıllarda ise kazanılan geçici bağışıklık (1-3 yıl) nedeniyle bu kayıp azalmaktadır (Yao, 2021; Underwood ve ark., 2015). Önemli bir epidemiyolojik nokta olarak boğalar, hiçbir klinik semptom göstermeksizin enfeksiyonun "asemptomatik portörü" olarak kalırlar.

Bulaşma Dinamiği

T. foetus'un temel bulaşma yolu koitus olup, birincil enfeksiyon kaynağı portör boğalardır (Dąbrowska ve ark., 2020). Boğalarda yaş, enfeksiyonun kalıcılığı açısından belirleyicidir; 4 yaş ve üzerindeki hayvanlarda preputial kriptlerin derinleşmesi, etkenin kolonize olmasına ve "ömür boyu taşıyıcılığa" zemin hazırlar. Bu nedenle, kontrol programlarında enfeksiyona daha dirençli olan genç boğalar tercih edilmelidir.

Etken, çiftleşme sırasında penisten vajinaya mekanik olarak nakledilir ve dişi üreme kanalında optimal üreme koşullarını bularak uterusu, ardından embriyo veya fetüse ulaşır (Jin ve ark., 2020; Martin ve ark., 2023). Parazit doğrudan sperm hücrelerini enfekte etmese de, semen toplama sırasında preputial sıvıların bulaşması kontaminasyona yol açabilir. *T. foetus*'un kriyoprezervasyon koşullarına ve mevcut sperma sulandırıcılarına karşı dirençli olması nedeniyle; hijyenik olmayan suni tohumlama uygulamaları, potansiyel (ancak düşük frekanslı) bir bulaşma yolu teşkil etmektedir (Ribeiro ve ark., 2021).

Ekonomik Etki

Siğir trikomoniyazının makroekonomik etkilerine dair veriler kısıtlı olsa da, bölgesel çalışmalar ciddi kayıplara işaret etmektedir. Örneğin, Oklahoma'da yıllık kaybın 5-7 milyon Amerikan Doları arasında olduğu tahmin edilmektedir (Martin ve ark., 2021).

İşletme düzeyindeki ekonomik kayıpların temel nedenleri; gecikmiş gebelikler, yüksek sürüden çıkarma oranları ve sütten kesme ağırlığındaki azalmalardır. Enfekte sürülerde ortalama 40 günlük gebelik gecikmesi ve doğum oranlarında %18'lik bir düşüş saptanmıştır (Yao, 2021). Bu parametreler ışığında, enfeksiyonun eliminasyonu ile inek başına yaklaşık 85 Amerikan Doları gelir artışı öngörülmektedir. Sütten kesme ağırlıklarındaki düşüş, birim pazar fiyatını doğrudan değiştirmese de, düşük canlı ağırlık performansı nedeniyle toplam işletme kârlılığını negatif yönde etkilemektedir.

Teşhis ve Tedavi

Küresel bir yayılım gösteren bu hastalık, gelişmiş tarama protokolleri ve suni tohumlama uygulamalarının entegrasyonu sayesinde belirli bölgelerde eradike edilmiş olsa da; geniş mera sistemlerine ve doğal aşım yöntemlerine dayalı üretim yapan ülkelerde önemli bir ekonomik tehdit olmaya devam etmektedir (BonDurant, 1997). Hastalığın teşhisi ve kontrolü kapsamında enfekte boğaların tespiti; preputial kazıntı örneklerinin mikroskopik incelemesi ve ardından PCR veya LAMP gibi moleküler yöntemlerle konfirme edilmesi esasına dayanmaktadır (Oyhenart ve ark., 2013; Morero ve ark., 2021). Yine sığırlarda atık fötüs örneklerinde etkenin tespiti için Real Time PCR analizlerinde kullanılmaktadır (Irehan ve ark., 2022).

Sığır trikomoniyazı tedavisine yönelik ilk çalışmalar, ineklerde enfeksiyonun genellikle spontan iyileşme eğilimi göstermesi nedeniyle boğalara odaklanmıştır (Ortega-Mora ve ark., 2022). Dişilerde cinsel istirahat (çiftleşmeye ara verilmesi), etkenin eliminasyonu için genellikle yeterlidir.

Boğalarda geleneksel topikal uygulamaların yerini alan sistemik tedavilerde, dimetridazol ve metronidazol gibi imidazol türevleri daha etkin sonuçlar vermektedir (Love ve ark., 2017). Ancak bu bileşiklerin asidik seyreltilere ihtiyaç duyması, potansiyel yan etkileri ve ilaç direnci riski kullanımı kısıtlamaktadır (Friedman ve ark., 2020). Güncel literatürde, suda çözünürlüğü yüksek olan ipronidazol hidroklorürün kas içi enjeksiyon yoluyla kullanımı, olumsuz etkileri minimize etmesi bakımından öne çıkmaktadır (Skirrow ve ark., 1985). Preputial floranın ilacı inaktive etmesini önlemek amacıyla, bu tedavinin geniş spektrumlu antibiyotiklerle desteklenmesi önerilmektedir.

Kontrol ve Korunma Stratejileri

Mücadele stratejileri, enfeksiyonun asemptomatik ve kalıcı kaynağı olan boğaların yönetimine dayanır (Martin ve ark., 2021). Sürüdeki tüm damızlıkların periyodik taranması ve yaşlı boğaların yerine enfeksiyondan arı, genç bakir boğaların (≤ 2 yaş) kullanılması temel önlemlerdir (Dufernez ve ark., 2007).

Doğal aşımından suni tohumlama yöntemine geçiş, *T. fetus* yayılımını kontrol altına almada en etkili yaklaşımdır (Dąbrowska ve ark., 2019). Enfek-

te sürülerde; kronik endometritli veya abort yapmış ineklerin sürüden çıkarılması değerlendirilmelidir (Lefebvre, 2015). Dişilerin etkeni doğal yollarla elimine edebilmeleri için en az dört ay cinsel istirahate alınmaları veya doğum sonrası en az iki östrus siklusu boyunca çiftleştirilmemeleri önerilir (Jin ve ark., 2014; Underwood ve ark., 2015). Ayrıca, sürüye yeni dahil edilecek hayvanlar için sıkı tarama protokolleri uygulanmalı ve mümkünse sadece ari sürülerden gelen bakir hayvanlar tercih edilmelidir. Mevcut aşı çalışmalarında, çiftleşme öncesi uygulanan “bakterin tipi” ve antijenik aşuların koruyucu bağışıklığı indükleyebildiği saptanmıştır (Nielsen ve ark., 2021).

Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Sığır trikomoniyazı, tanımlanmasının üzerinden bir asırdan fazla süre geçmiş olmasına rağmen, etkeni olan *Trichomonas foetus* nedeniyle küresel hayvancılıkta reproduktif verimliliği olumsuz etkileyen önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Buna karşın, mevcut mücadele stratejileri kronikleşmiş teknik ve farmakolojik sınırlılıklar nedeniyle istenilen başarı düzeyine ulaşamamaktadır. Bu bağlamda, mevcut literatürün ortaya koyduğu temel eksiklikler ve gelecek perspektifleri aşağıda özetlenmiştir:

1. Tanısal Standart Eksikliği ve Metodolojik Kısıtlılıklar

Mevcut tanı yaklaşımlarındaki en önemli sorun, örnekleme yöntemleri ile laboratuvar analizleri arasındaki standardizasyon eksikliğidir. Mikroskopik incelemelerin düşük duyarlılığı ve PCR protokollerinin laboratuvarlar arasında değişkenlik göstermesi, yanlış negatif sonuç riskini artırmaktadır. Gelecekteki çalışmaların, yalnızca etkenin varlığını saptamakla sınırlı kalmayıp; saha koşullarında (point-of-care) hızlı sonuç verebilen, yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip, standardize edilmiş izotermal amplifikasyon (LAMP) temelli dijital tanı sistemlerinin geliştirilmesine odaklanması gerekmektedir.

2. Tedavi Çıkmazı ve Artan İlaç Direnci

Sığır trikomoniyazının tedavisinde mevcut seçeneklerin sınırlı olması önemli bir biyomedikal sorun oluşturmaktadır. Özellikle imidazol türevlerine karşı gelişen direnç, tedavi etkinliğini azaltmakta ve enfekte boğaların sürüde kalmasına yol açmaktadır. Ayrıca bazı terapötik ajanların asidik koşullara bağımlılığı ve potansiyel yan etkileri, klinik kullanımını daha da kısıtlamaktadır.

Bu doğrultuda, parazit-konakçı etkileşiminde rol oynayan moleküler mekanizmaların hedeflenmesi ön plana çıkmaktadır. Özellikle virülens ve sitotoksisite ile ilişkili Cysteine proteases üzerine odaklanan, seçici etkili ve direnç gelişimi riskini azaltmayı amaçlayan yeni nesil terapötik moleküllerin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır.

3. Rasyonel Kontrol Stratejileri ve İmmünoprofilaksi

İlaç temelli yaklaşımlara bağımlılığın azaltılması için sürdürülebilir kontrol stratejileri gereklidir. Bu kapsamda; sıkı biyogüvenlik uygulamaları, suni tohumlamanın yaygınlaştırılması ve mukozal bağışıklığı (özellikle IgA yanıtını) hedefleyen etkili aşuların geliştirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

Genel Değerlendirme

Sığır trikomoniyazı, yalnızca bir üreme sistemi hastalığı olmanın ötesinde, sürü yönetimindeki yapısal ve teknolojik eksikliklerin bir göstergesi olarak değerlendirilmelidir. Tanı teknolojilerindeki dijitalleşme ile moleküler epidemiyolojik verilerin entegre kullanımı, bu sinsi enfeksiyonun kontrol altına alınmasında temel stratejiyi oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

1. Adeyeye, A. A., Ate, I. U., Bale, J. O. O., & Lawal, A. I. (2010). Survey for bovine trichomoniasis in cattle at slaughter in the Sokoto metropolitan abattoir, Sokoto State, Nigeria. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 8(1–2), 18–60.
2. Agnew, D. W., Corbeil, L. B., Munson, L., Byrne, B. A., & BonDurant, R. H. (2008). A pregnant mouse model for bovine *Tritrichomonas foetus* infection. *Veterinary Pathology*, 45(6), 849–864.
3. Benchimol, M., de Almeida, L. G. P., Vasconcelos, A. T., de Andrade Rosa, I., Bogó, M. R., Kist, L. W., & de Souza, W. (2017). Draft genome sequence of *Tritrichomonas foetus* strain K. *Genome Announcements*, 5(16), e00195-17.
4. Beri, D., Yadav, P., Devi, H. R. N., Narayana, C., Gadara, D., & Tatu, U. (2020). Demonstration and characterization of cyst-like structures in the life cycle of *Trichomonas vaginalis*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9, 430.
5. Coceres, V. M., Iriarte, L. S., Miranda-Magalhães, A., Santos de Andrade, T. A., de Miguel, N., & Pereira-Neves, A. (2021). Ultrastructural and functional analysis of a novel extra-axonemal structure in parasitic trichomonads. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 757185.
6. da Silva, N. S., Machado, S. M., Filho, F. C. S., & Pacheco-Soares, C. (2011). Basic biological aspects of *Tritrichomonas foetus* of relevance to the treatment of bovines suffering from trichomoniasis. *Open Journal of Animal Sciences*, 1(3), 112–120.
7. Dąbrowska, J., Karamon, J., Kochanowski, M., Sroka, J., Skrzypek, K., Zdybel, J., Różycki, M., Jabłoński, A., & Cencek, T. (2020). *Tritrichomonas foetus*: A study of prevalence in animal hosts in Poland. *Pathogens*, 9(3), 203.
8. Dąbrowska, J., Karamon, J., Kochanowski, M., Sroka, J., Zdybel, J., & Cencek, T. (2019). *Tritrichomonas foetus* as a causative agent of tritrichomonosis in different animal hosts. *Journal of Veterinary Research*, 63(4), 533–541.
9. Dufernez, F., Walker, R. L., Noël, C., Caby, S., Mantini, C., Delgado-Viscogliosi, P., Ohkuma, M., Kudo, T., Capron, M., Pierce, R. J., Villanueva, M. R., & Viscogliosi, E. (2007). Morphological and molecular identification of non-*Tritrichomonas foetus* trichomonad protozoa from the bovine preputial cavity. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 54(2), 161–168.
10. Friedman, M., Tam, C. C., Cheng, L. W., & Land, K. M. (2020). Anti-trichomonad activities of different compounds from foods, marine products, and medicinal plants: A review. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 20(1), 271.
11. Funnel, B. J. (2022). Bovine trichomoniasis: Overview and testing. *Proceedings of the American Association of Bovine Practitioners*, 55(1), 22–25.
12. Gharban, H. A. J. (2023). Molecular prevalence and phylogenetic confirmation of bovine trichomoniasis in aborted cows in Iraq. *Veterinary World*, 16(3),

580–587.

13. Givens, M. D., & Marley, M. S. (2008). Infectious causes of embryonic and fetal mortality. *Theriogenology*, 70(3), 270–285.
14. Ikeda, J. S., BonDurant, R. H., & Corbeil, L. B. (1995). Bovine vaginal antibody responses to immunoaffinity-purified surface antigen of *Tritrichomonas foetus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 33(5), 1158–1163.
15. Irehan, B., Sönmez, A., Atalay, M. M., Ekinci, A. İ., Çelik, F., Durmuş, N., Çiftçi, A. T., & Şimşek, S. (2022). Investigation of *Toxoplasma gondii*, *Neospora caninum* and *Tritrichomonas foetus* in abortions of cattle, sheep and goats in Turkey: Analysis by real-time PCR, conventional PCR and histopathological methods. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 89, 101867.
16. Iriarte, L. S., Martinez, C. I., de Miguel, N., & Coceres, V. M. (2023). *Tritrichomonas foetus* cell division involves DNA endoreplication and multiple fissions. *Microbiology Spectrum*, 11(2), e03251-22.
17. Irons, P. C., McGowan, M., de Assis, P. M., Randhawa, I., Awawdeh, L., Muggabana, J., Barnes, T. S., Boe-Hansen, G., McCosker, K., & Fordyce, G. (2022). Prevalence of *Tritrichomonas foetus* in beef bulls slaughtered at two abattoirs in northern Australia. *Australian Veterinary Journal*, 100(5), 201–204.
18. Oyhenart, J., Martínez, F., Ramírez, R., Fort, M., & Breccia, J. D. (2013). Loop-mediated isothermal amplification of 5.8S rDNA for specific detection of *Tritrichomonas foetus*. *Veterinary Parasitology*, 193(1–3), 59–65.
19. Jin, Y., Du, A., & Yao, C. (2020). Clinical isolates of *Tritrichomonas foetus* in bulls in Wyoming, South Dakota and Montana, USA. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 12.
20. Jin, Y., Schumaker, B., Logan, J., & Yao, C. (2014). Risk factors associated with bovine trichomoniasis in beef cattle identified by a questionnaire. *Journal of Medical Microbiology*, 63(Pt 6), 896–902.
21. Kissinger, P. (2015). Epidemiology and treatment of trichomoniasis. *Current Infectious Disease Reports*, 17(6), 484.
22. Lefebvre, R. C. (2015). Fetal mummification in the major domestic species: Current perspectives on causes and management. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 6, 233–244.
23. Love, D., Fajt, V. R., Hairgrove, T., Jones, M., & Thompson, J. A. (2017). Metronidazole for the treatment of *Tritrichomonas foetus* in bulls. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 107.
24. Morero, M., Ramirez, M. R., & Oyhenart, J. (2021). Taguchi method for the optimization of three loop-mediated isothermal amplification procedures for *Tritrichomonas foetus* detection. *Veterinary Parasitology*, 295, 109462.
25. Mai, H. M., Irons, P. C., Kabir, J., & Thompson, P. N. (2013). Prevalence of bovine genital campylobacteriosis and trichomonosis of bulls in northern Nigeria.

- Acta Veterinaria Scandinavica*, 55(1), 56.
26. Martin, K. A., Henderson, J., & Brewer, M. T. (2021). Bovine trichomonosis cases in the United States, 2015–2019. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 692199.
 27. Martínez, C. I., Iriarte, L. S., Salas, N., Alonso, A. M., Pruzzo, C. I., Dos Santos Melo, T., Pereira-Neves, A., de Miguel, N., & Coceres, V. M. (2023). Prolonged survival of venereal *Tritrichomonas foetus* in the gastrointestinal tract, bovine fecal extract, and water. *Microbiology Spectrum*, 11(6), e00429-23.
 28. Mendoza-Ibarra, J. A., Pedraza-Díaz, S., García-Peña, F. J., Rojo-Montejo, S., Ruiz-Santa-Quiteria, J. A., San Miguel-Ibáñez, E., Navarro-Lozano, V., Ortega-Mora, L. M., Osoro, K., & Collantes-Fernández, E. (2012). High prevalence of *Tritrichomonas foetus* infection in Asturiana de la Montaña beef cattle kept in extensive conditions in Northern Spain. *The Veterinary Journal*, 193(1), 146–151.
 29. Menezes, C. B., & Tasca, T. (2016). Trichomoniasis immunity and the involvement of purinergic signaling. *Biomedical Journal*, 39(4), 234–243.
 30. Michi, A. N., Favetto, P. H., Kastelic, J., & Cobo, E. R. (2016). A review of sexually transmitted bovine trichomoniasis and campylobacteriosis affecting cattle reproductive health. *Theriogenology*, 85(5), 781–791.
 31. Milde, R., Ritter, J., Tennent, G. A., Loesch, A., Martinez, F. O., Gordon, S., Pepys, M. B., Verschoor, A., & Helming, L. (2015). Multinucleated giant cells are specialized for complement-mediated phagocytosis and large target destruction. *Cell Reports*, 13(9), 1937–1948.
 32. Molina, L. L., Angón, E., García, A., Caballero-Villalobos, J., Giorgis, A. O., Moralejo, R. H., & Perea, J. (2018). A retrospective epidemiological analysis of shared risk factors for bovine trichomoniasis and bovine genital campylobacteriosis in La Pampa province (Argentina). *Preventive Veterinary Medicine*, 161, 109–114.
 33. Nielsen, L. R., Houe, H., & Nielsen, S. S. (2021). Narrative review comparing principles and instruments used in three active surveillance and control programmes for non-EU-regulated diseases in the Danish cattle population. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 685857.
 34. Njaa, B. L., Panciera, R. J., Clark, E. G., & Lamm, C. G. (2012). Gross lesions of alimentary disease in adult cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28(3), 483–513.
 35. Ortega-Mora, L. M., Sánchez-Sánchez, R., Rojo-Montejo, S., Román-Trufero, A., Montenegro-Gregorio, D., Puentes-Colorado, E., Parra-Romero, A., Regidor-Cerrillo, J., Osoro, K., & Collantes-Fernández, E. (2022). A new inactivated *Tritrichomonas foetus* vaccine that improves genital clearance of the infection and calving intervals in cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1005556.
 36. Oyhenart, J. (2019). Major factors associated with persistence of bovine trichomoniasis in a mandatory control plan: An eight-year retrospective study in La Pampa, Argentina. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 18,

100328.

37. Paradiso, F., & Oyhenart, J. (2023). In vitro culture of *Tritrichomonas foetus* in bovine cervico-vaginal fluid. *Experimental Parasitology*, 249, 108532.
38. Parker, S., Campbell, J., McIntosh, K., & Gajadhar, A. (2003). Diagnosis of trichomoniasis in “virgin” bulls by culture and polymerase chain reaction. *Canadian Veterinary Journal*, 44(9), 732–734.
39. Pereira-Neves, A., & Benchimol, M. (2009). *Tritrichomonas foetus*: Budding from multinucleated pseudocysts. *Protist*, 160(4), 536–551.
40. Petrópolis, D. B., Rodrigues, J. C. F., da Rocha-Azevedo, B., & Silva-Filho, F. C. E. (2008). The binding of *Tritrichomonas foetus* to immobilized laminin-1 and its role in the cytotoxicity exerted by the parasite. *Microbiology*, 154(Pt 8), 2283–2290.
41. BonDurant, R. H. (1997). Pathogenesis, diagnosis, and management of trichomoniasis in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 13(2), 345–361.
42. Rhyan, J. C., Blanchard, P. C., Kvasnicka, W. G., Hall, M. R., & Hanks, D. (1995). Tissue-invasive *Tritrichomonas foetus* in four aborted bovine fetuses. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 7(3), 409–412.
43. Rhyan, J. C., Stackhouse, L. L., & Quinn, W. J. (1988). Fetal and placental lesions in bovine abortion due to *Tritrichomonas foetus*. *Veterinary Pathology*, 25(5), 350–355.
44. Ribeiro, L., Silva, O. R., Duarte, F. C., & Jesus, V. L. T. (2021). Investigation of *Tritrichomonas foetus* in cryopreserved bovine semen by culture and polymerase chain reaction. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(5), 1023–1028.
45. Rodning, S. P., Wolfe, D. F., Carson, R. L., Wright, J. C., Stockdale, H. D., Pacoli, M. E., Busby, H. C., & Rowe, S. E. (2008). Prevalence of *Tritrichomonas foetus* in several subpopulations of Alabama beef bulls. *Theriogenology*, 69(2), 212–217.
46. Shaapan, R. M. (2016). The common zoonotic protozoal diseases causing abortion. *Journal of Parasitic Diseases*, 40(4), 1116–1129.
47. Skirrow, S., BonDurant, R., Farley, J., & Correa, J. (1985). Efficacy of ipronidazole against trichomoniasis in beef bulls. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 187(4), 405–407.
48. Soto, P., & Parma, A. E. (1989). The immune response in cattle infected with *Tritrichomonas foetus*. *Veterinary Parasitology*, 33(3–4), 343–348.
49. Tolbert, M. K., & Gookin, J. L. (2016). Mechanisms of *Tritrichomonas foetus* pathogenicity in cats with insights from venereal trichomonosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30(2), 516–526.
50. Underwood, W. J., Blauwiekel, R., Delano, M. L., Gillesby, R., Mischler, S. A., & Schoell, A. (2015). Biology and diseases of ruminants (sheep, goats, and cattle). In *Laboratory animal medicine* (pp. 623–694).

51. Yao, C. (2021). Control and eradication of bovine trichomonosis in Wyoming, USA by testing and culling positive bulls. *Veterinary Research*, 52(1), 129.
52. Yao, C., & Köster, L. S. (2015). *Tritrichomonas foetus* infection, a cause of chronic diarrhea in the domestic cat. *Veterinary Research*, 46(1), 35.
53. Yao, C., Bardsley, K. D., Litzman, E. A., Hall, M. L., & Davidson, M. R. (2011). *Tritrichomonas foetus* infection in beef bull populations in Wyoming. *Journal of Bacteriology & Parasitology*, 2(1), 117.

