

ZİRAAT VE DOĞA BİLİMLERİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

Editörler:
Doç. Dr. Volkan GÜL
Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU
Doç. Dr. Hacer KAYA



ZİRAAT VE DOĞA BİLİMLERİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

Editörler:

Doç. Dr. Volkan GÜL

Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU

Doç. Dr. Hacer KAYA

Yazarlar:

Doç. Dr. Volkan GÜL

Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU

Doç. Dr. Hacer KAYA

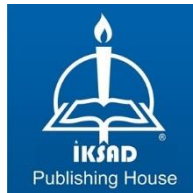
Doç. Dr. Musa KARAALP

Dr. Öğr. Üyesi Zahid PAKSOY

Öğr. Gör. Dr. Bilal SELÇUK

Dr. Yakup BİLAL

Arş. Gör. Tuğba BAKIR



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-471-3

Cover Design: Volkan GÜL

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
-------------	---

BÖLÜM 1

EkİNEZYA (ECHİNACEA) BİTKİSİNİN TERAPÖTİK POTANSİYELİN İNCELENMESİ	5-23
Doç. Dr. Volkan GÜL, Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU	

BÖLÜM 2

SİNAMEKİ (<i>SENNA ALEXANDRINA</i>) BİTKİSİNİN İMMÜNOMODÜLATÖR, ANTİDİYABETİK VE ANTİKANSEROJENİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ.....	25-34
Doç. Dr. Volkan GÜL, Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU	

BÖLÜM 3

TANENLERİN VETERİNER HEKİMLİKTE KULLANIMI VE REPRODÜKTİF ETKİLERİ.....	35-50
Dr. Öğr. Üyesi Zahid PAKSOY	

BÖLÜM 4

ORMAN ve PEYZAJ AĞAÇ YAPRAKLARI BİYOKÜTLESİNİN HAYVANSAL ÜRETİMDE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	51-88
Doç. Dr. Hacer KAYA	

BÖLÜM 5

RUMİNANT DİYETLERİNDE AĞAÇ YAPRAKLARI KULLANIMININ ANTİMETANOJENİK ETKİLERİ	89-121
Doç. Dr. Hacer KAYA, Doç. Dr. Musa KARAAL	

BÖLÜM 6

RUMİNANT BESLEMEDE VİTAMİNLERİN MODERN FİZYOLOJİK VE METABOLİK YÖNETİMİ: GENOMİK, SİSTEM BİYOLOJİSİ VE KLİNİK UYGULAMALAR	123-136
Öğr. Gör. Dr. Bilal SELÇUK, Dr. Yakup BİLAL, Arş. Gör. Tuğba BAKIR	

BÖLÜM 7

SİĞİR TÜRLERİNDE MİNERAL BESLENMESİ	137-148
Arş. Gör. Tuğba BAKIR, DR. Yakup BİLAL, Öğr. Gör. Dr. Bilal SELÇUK	

ÖNSÖZ

Bilim ve teknolojiadaki hızlı gelişmeler, tarım ve doğa bilimleri alanındaki araştırmaların önemini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle küresel iklim değişikliği, nüfus artışı ve doğal kaynakların azalması gibi çağımızın temel sorunları; gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım ve biyolojik çeşitliliğin korunması konularında yenilikçi yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Doğanın sunduğu kaynakların hem insan sağlığı hem de hayvansal üretim için en verimli şekilde kullanılması, multidisipliner çalışmaların odak noktası haline gelmiştir.

"Ziraat ve Doğa Bilimleri Alanında Bilimsel Araştırmalar" başlıklı bu eser, bitkisel ve hayvansal üretimden fitoterapiye kadar geniş bir yelpazedeki güncel bilimsel verileri bir araya getirmek amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta, doğanın insanlığa sunduğu en değerli hazinelerden olan tıbbi ve aromatik bitkilerin biyolojisi, fitokimyası ve ekonomik değeri derinlemesine incelenmiştir. Bu kapsamda; immünomodülatör etkileriyle bilinen *Ekinezya*, geleneksel tıbbın vazgeçilmezi *Sinameki* ve zengin fitokimyasal profiliyle dikkat çeken bitkiler üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, bu türlerin sadece sağlık alanında değil, tarımsal ekonomideki potansiyelleriyle de ele alınmıştır. Eserin bir diğer önemli ayağını ise sürdürülebilir hayvancılık stratejileri oluşturmaktadır. Hayvansal üretimin çevresel etkilerinin tartışıldığı günümüzde, alternatif yem kaynaklarının değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, orman ve peyzaj ağaç yapraklarının ruminant beslemede biyokütle olarak değerlendirilmesi ve bu kaynakların sera gazı emisyonlarını (metan) azaltmadaki rolü üzerine yapılan çalışmalar hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir hayvancılık modellerine ışık tutmaktadır. Teorik bilgilerin pratik uygulamalarla harmanlandığı bu kitabın, ziraat mühendisliği, biyoloji, veteriner hekimlik ve ilgili alanlarda çalışan akademisyenlere, araştırmacılara ve öğrencilere kaynak teşkil etmesini temenni ediyoruz. Bu eserin ortaya çıkmasında emek veren, bilgi birikimlerini ve araştırma sonuçlarını bizlerle paylaşan tüm bölüm yazarlarımıza teşekkür ederiz. Ayrıca, kitabın basım ve yayın sürecindeki titiz çalışmalarından dolayı yayınevi çalışanlarına şükranlarımızı sunarız.

Bilim dünyasına katkı sağlaması dileğiyle...

YAYIN EDİTÖRLERİ

Doç. Dr. Volkan GÜL

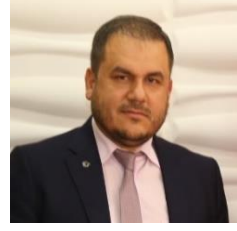
Doç. Dr. Hacer KAYA

Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU

Doç. Dr. Volkan GÜL

(volkangul@bayburt.edu.tr)

Bayburt Üniversitesi, Bayburt/Türkiye



23.05.1979 yılında Samsun’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Samsun’da tamamladı. Lisans eğitimini 2002 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünden tamamladı. 2005-2017 yılları arasında Emniyet Genel Müdürlüğü’ne bağlı Taşra Teşkilatı’nda Polis Memuru olarak görev yaptı. Yüksek Lisans eğitimini 2008 yılında Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı’nda tamamlandı. Doktora unvanını 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı’ndan aldı. 2017 yılında Bayburt Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Organik Tarım İşletmeciliği Bölümüne Dr. Öğr. Üyesi olarak atandı. 2020 yılında Bayburt Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü’nde Doçent oldu. 2022 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Sosyoloji bölümünden mezun oldu. Halen Bayburt Üniversitesi Aydıntepe Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü’nde Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır.

Yurt içi ve yurt dışında birçok toplantı ve kongrelere katıldı. Hem SCI-SCI-Expanded kapsamında hem de ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde makaleleri bulunmaktadır. Kongre bildirileri, bilimsel araştırma projesi ve uluslararası dergi hakemliği bulunmaktadır. Endüstri Bitkileri, Organik Tarım, İyi Tarım Uygulamaları, Yağ Bitkileri, Bitki Stres Faktörleri, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler temel olmak üzere birçok ders vermiştir. Bayburt bölgesi ve dünyada bu bölgenin iklim ve çevre şartlarına uygun olabilecek başta organik tarım, yağ bitkileri ve tıbbi ve aromatik bitkiler gibi birçok alanda çalışmalar yürütmektedir. Halen Bayburt Üniversitesi’nde akademik çalışmalarına, eğitimlerine ve projelerine devam etmektedir.

Araştırma Alanları: Endüstri Bitkiler, Organik Tarım ve Organik Bitki Besleme, Yağlı Tohumlu Bitkiler, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Bitki Stres Fizyolojisi

Doç. Dr. Hacer KAYA

(hacerkaya@gumushane.edu.tr)

Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane / Türkiye



14.06.1972 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 1994 yılında ise Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni bölümünden mezun olmuştur. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yemler ve Hayvan Besleme Ana Bilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimini tamamlayarak 2006 yılında “Ziraat Yüksek Mühendisi” unvanını kazanmıştır. Aynı Anabilim Dalı’nda 2012 yılında doktora eğitimini tamamladıktan sonra 2018 yılında Gümüşhane Üniversitesi Şiran Mustafa Beyaz Meslek Yüksekokulu Veterinerlik Bölümü’nde Dr. Öğr. Üyesi olarak göreve başlamış ve 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu Veterinerlik Bölümü’ne geçmiş ve 2024 yılında atandığı Doç. Dr. kadrosunda halen görevine devam etmektedir. Yurt içi ve yurt dışında birçok toplantı ve kongrelere katılmıştır. Hem SCI-SCI-Expanded kapsamında hem de ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde makaleleri bulunmaktadır. Kongre bildirileri, bilimsel araştırma projesi ve uluslararası dergi hakemliği bulunmaktadır. Alanında Yemler Bilgisi ve Hayvan Besleme, Yem Değerlendirme ve Analiz Yöntemleri, Deney Hayvanları ve Hayvan Refahı, Hayvan Yetiştiriciliği, Genel Zootečni Deney Hayvanları ve Laboratuvar Uygulamaları, Hayvan Besleme Biyokimyası, Deney Hayvanları Kullanımı Etik Kurul ve Mevzuatı, Tarımsal Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik gibi alanında birçok önlisans, lisans ve yüksek lisans ders vermiş olup, bu alanda birçok çalışmalar yürütmektedir.

Araştırma Alanları: Hayvan Besleme, Yem Teknolojisi,

Doç. Dr. Fırat SEFAOĞLU

(fsefaoglu@kastamonu.edu.tr)

Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu/Türkiye



11.11.1979 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. Lisans eğitimini 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde tamamladı. 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı’nda tamamlandı. 2008-2011 yılları arasında Tarım Kredi Kooperatiflerine Bağlı Mersin ve Erzurum Bölge Müdürlüğünde, 2011-2017 yıllarında ise Tarımsal Araştırmalar Genel müdürlüğüne bağlı Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsünde Ziraat Yüksek Mühendisi olarak görev yaptı. Doktora unvanını 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı’ndan aldı. 2018 yılında Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümüne Dr. Öğr. Üyesi olarak atandı. 2023 yılında Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümünde Doçent oldu.

Yurt içi ve yurt dışında birçok toplantı ve kongrelere katıldı. Hem SCI-SCI-Expanded kapsamında hem de ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde makaleleri bulunmaktadır. Kongre bildirileri, bilimsel araştırma projesi ve uluslararası dergi hakemliği bulunmaktadır. Bitki Doku Kültürü, Tarımsal Biyoteknoloji, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, temel olmak üzere birçok ders vermiştir. Doğu Anadolu bölgesi ve dünyada bu bölgenin iklim ve çevre şartlarına uygun olabilecek başta, yağ bitkileri ve tıbbi ve aromatik bitkiler gibi birçok alanda çalışmalar yürütmektedir. Halen Kastamonu Üniversitesi’nde akademik çalışmalarına, eğitimlerine ve projelerine devam etmektedir.

Araştırma Alanları: Endüstri Bitkiler, Yağlı Tohumlu Bitkiler, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Bitki Stres Fizyolojisi

BÖLÜM 1

EKİNEZYA (*ECHINACEA*) BİTKİSİNİN TERAPÖTİK POTANSİYELİN İNCELENMESİ

Volkan GÜL¹

Fırat SEFAOĞLU²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17989656>

¹Doçent, Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Aydıntepe/Bayburt, E-mail: volkangul555@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4899-2822

²Doçent, Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik, KASTAMONU. E-mail: fsefaoglu@kastamonu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8485-6564

GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlu, aralarında şifalı bitkilerin de bulunduğu çeşitli yöntemleri kullanarak çok sayıda hastalık ve sağlık sorununu tedavi etme stratejileri geliştirmiştir. Geleneksel tıpta derin köklere sahip bir bitkisel ilaç olan ekinezya, araştırmacıların, sağlık meraklılarının ve doğal sağlık çözümleri arayan bireylerin dikkatini çekmiştir. Konik çiçek olarak bilinen *Echinacea* cinsi, tamamı başlangıçta Kuzey Amerika'ya özgü olan on türü içermektedir. Hammaddelerine yönelik artan talebi karşılamak için, ekinezya yetiştiriciliği, anavatanı olan Kuzey Amerika habitatlarının ötesine geçerek artık neredeyse her kıtaya yayılmıştır. Geleneksel bitkisel tıbbın en önemli temsilcilerinden biri olan Ekinezya (*Echinacea*), yaygın olarak immünomodülatör (bağışıklık düzenleyici) özellikleri ve soğuk algınlığına karşı kullanımıyla bilinmektedir (Barnes vd., 2005; Karsch-Völck vd., 2014). Bu bitki, Kuzey Amerika'ya özgü olmakla birlikte, içerdiği biyoaktif bileşiklerin sağladığı çok yönlü terapötik faydalar nedeniyle tüm dünyada popülerliğini korumaktadır. Ancak son yıllarda yapılan farmakolojik araştırmalar, bu değerli bitkinin, içeriğindeki alkamidler, polisakkaritler ve yüksek orandaki fenolik bileşikler sayesinde, çok daha geniş bir terapötik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Bauer, 1999). Özellikle, küresel sağlık sorunları arasında yer alan Diabetes Mellitus (Diyabet) ve çeşitli kanser türleri ile mücadelede Ekinezya özütlerinin sunduğu olanaklar, bilim dünyasının dikkatini çekmektedir (Obeid vd., 2019; Rédei vd., 2020).

Ekinezya (*Echinacea*) türlerinden *E. purpurea*, *E. angustifolia* ve *E. pallida*, geleneksel olarak geniş bir yelpazedeki sağlık sorunlarının tedavisinde kullanılmıştır: bunlar arasında soğuk algınlığı, grip, bronşit ve streptokok farenjit gibi solunum yolu enfeksiyonları ile diş ağrısı; herpes ve bel soğukluğu (gonore) gibi idrar yolu enfeksiyonları; stafilokok enfeksiyonları, uçuklar, ülserler, yaralar, yanıklar ve böcek ısırıkları dahil olmak üzere çeşitli cilt bozuklukları ile egzama ve alerjiler; ve romatoid artrit gibi diğer durumlar yer almaktadır. Bunun aksine, *E. atrorubens*, *E. laevigata*, *E. paradoxa*, *E. sanguinea*, *E. simulata* ve *E. tenesseeensis* gibi türler ise sıklıkla kullanılmamıştır (Hobbs, 1996).

Bu çalışmanın amacı, Ekinezya'nın biyolojik aktivitesini derinlemesine inceleyerek, antioksidan ve anti-inflamatuar mekanizmaları aracılığıyla ortaya koyduğu antidiyabetik (glukoz metabolizmasını düzenleyici) (Obeid vd., 2019)

ve antikanserojenik (hücre proliferasyonunu ve apoptozu etkileyen) (Rédai vd., 2020) etkilerine dair mevcut bilimsel kanıtları derlemek ve değerlendirmektir. Bu etkilerin anlaşılması, Ekinezya'nın gelecekteki fitoterapi ve ilaç geliştirme çalışmalarındaki rolünü netleştirmede kritik önem taşımaktadır.

Ekinezya (*Echinacea*) Bitkisinin Antidiyabetik ve Antikanserojenik Etkisi ile Terapotik Etkileri

Tarih boyunca insanlar, tıbbi bitkileri de dahil ederek çeşitli hastalık ve sağlık sorunlarını tedavi etmek için farklı stratejiler kullanmışlardır. Geleneksel tıpta köklü bir bitkisel çare olarak Ekinezya, araştırmacıların, sağlık meraklılarının ve doğal sağlık çözümleri arayan bireylerin dikkatini çekmiştir. "Koni çiçeği" olarak da bilinen *Echinacea* cinsi, tamamı orijinal olarak Kuzey Amerika'ya özgü olan on türden oluşmaktadır. Hammaddelerine yönelik artan talebi karşılamak için Ekinezya yetiştiriciliği, anavatanı olan Kuzey Amerika'nın ötesine yayılmış ve artık neredeyse her kıtada yapılmaktadır.

Ekinazya türleri, Saskatchewan'dan Teksas'a kadar uzanan Kuzey Amerika'nın orta batı kesimine özgüdür. Çok yıllık ve otsu bir bitkidir. Yunancada "deniz kestanesi" anlamına gelen echinos kelimesinden almaktadır. Ekinazya türlerinin boyları 60 cm kadar uzamaktadır. Genellikle soluk, beyaz ve sarı polenlere sahip olup, tıbbi amaçlar için bitkinin kök ve toprak üstü kısımları kullanılmaktadır. Kökleri kazık köklü ve ortalama 90 ile 120 cm uzunluğa ulaşabilmektedir. Genel olarak yaprakları kalın, tüylü ve ortalama 2,5- 7,5 cm uzunluğunda, koni şeklinde mor bir tohum başının tabanında oluşur. Mor, beyaz, pembe, turuncu koni çiçeği yanında, sadece *Echinaceae paradox* türünün çiçeği sarıdır (Murray, 2020) (Şekil 1).



Şekil 1. Ekinezya bitkisinin morfolojik görünümü

Ekinezya türlerinin sınıflandırılması, morfolojik ve anatomik özelliklere dayanmaktadır (Tablo 1). On iyi bilinen Ekinezya türü vardır (The International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants, 2023); bunlardan üçü, yani *E. purpurea*, *E. pallida* ve *E. angustifolia*, köklerinin ve toprak üstü kısımlarının bitkisel ilaçlarda ve takviye edici gıdalarda yaygın olarak kullanılması nedeniyle önemli biyolojik ve farmasötik öneme sahiptir.

Tablo1. Ekinezya'nın Taksonomik Hiyerarşisi (Klasifikasyon)

Takson	Kategori
Alem (Kingdom)	Plantae (Bitkiler)
Bölüm (Division)	Magnoliophyta (Kapalı Tohumlular)
Sınıf (Class)	Magnoliopsida (İki Çenekliler)
Takım (Order)	Asterales
Familya (Family)	Asteraceae (Papatyagiller)
Cins (Genus)	<i>Echinacea</i> Moench
Türler (Species)	<i>E. purpurea</i> , <i>E. angustifolia</i> , <i>E. pallida</i> vb.

Bu bitkilerden elde edilen bitkisel ürünler, Kuzey Amerika ve Avrupa'da en çok satanlar arasında olup, sadece ABD'de yıllık 300 milyon USD'den fazla gelir sağlamaktadır. Papatyagiller (Asteraceae/Compositae)

familyasına ait olan ve Kuzey Amerika'ya özgü coğrafyalarda doğal olarak yetişen Ekinezya (*Echinacea*) cinsi, tıbbi ve farmakolojik açıdan en çok araştırılan *E. purpurea*, *E. angustifolia* ve *E. pallida* türleri başta olmak üzere, *E. atrorubens*, *E. laevigata*, *E. paradoxa*, *E. sanguinea*, *E. simulata* ve *E. tenesseeensis* türlerini de kapsayan toplam dokuz farklı türü bünyesinde barındırmaktadır. Tıbbi amaçla en yaygın kullanılan ve en çok araştırılan türler ise *Echinacea purpurea*, *Echinacea angustifolia* ve *Echinacea pallida*'dır.

Echinacea purpurea, tıbbi değerini artıran zengin fitokimyasal içeriği ile ünlüdür. Bitki, immünomodülatör, anti-inflamatuar ve antioksidan aktivitelerini desteklediği düşünülen fenolik asitler, alkamidler, polisakkaritler, flavonoidler ve uçucu yağlar gibi çeşitli bileşikler içerir. Kökleri, yaprakları ve çiçekleri bitkisel takviyelerde kullanılır; kökteki alkamidler, ketoalkenler, CAD'ler (Kafeik Asit Türevleri), polisakkaritler ve glikoproteinlerin karmaşık karışımının bağışıklık ve anti-inflamatuar etkilerini artırdığına inanılmaktadır. Bu biyoaktif fitokimyasalların bileşimi ve konsantrasyonu, farklı Ekinezya türleri arasında değişebilir. Örneğin, *E. purpurea* kökleri, diğer Ekinezya türlerinin köklerinde nadiren bulunan ekinakozit açısından zengindir ve belirgin şekilde yüksek sinarin ve CAD seviyeleri sergiler. Çalışılan Ekinezya türleri arasında aktif metabolitlerin lokalizasyonu ve doku konsantrasyonları farklılık göstermekte ve mevsimsel değişimler ile bitki fenolojisiyle ilişkili dalgalanmalar dahil olmak üzere zamansal değişimlere uğramaktadır. Ekinezya türlerinin (*Echinacea purpurea*, *E. angustifolia*, *E. pallida*) terapötik etkileri, bitkinin farklı kısımlarında (kök, yaprak, çiçek) bulunan ve sinerjik olarak etki eden kompleks biyoaktif bileşiklerin varlığına dayanır (Bauer, 1999). Bu bileşikler bitkiye güçlü antioksidan, anti-inflamatuar ve immünomodülatör özellikler kazandırır.

Geleneksel olarak en yaygın kullanılan *Echinacea* türleri olan *E. purpurea*, *E. angustifolia* ve *E. pallida*, solunum yolu enfeksiyonlarından (soğuk algınlığı, grip, bronşit, streptokok farenjit) ve idrar yolu enfeksiyonlarından (herpes, bel soğukluğu) başlayarak, stafilocok enfeksiyonları, uçuk, ülserler, yaralar, yanıklar, böcek ısırıkları, egzama ve alerjiler gibi çok çeşitli cilt bozukluklarının yanı sıra diş ağrısı ve romatoid artrit gibi diğer rahatsızlıkların tedavisinde kullanılırken; *E. atrorubens*, *E. laevigata*, *E. paradoxa*, *E. sanguinea*, *E. simulata* ve *E. tenesseeensis* gibi daha az yaygın türler ise genellikle sıkça kullanılmaz (Hudson, 2012).

Ekinezya'nın kimyasal içeriği, biyolojik aktivitelere aracılık eden çeşitli fitokimyasal grupları içermektedir.

- **Fenolik Bileşikler:** Bu sınıfta yer alan Kafeik Asit Türevleri (Şikoremik Asit, Klorojenik Asit) ve Flavonoidler (Kersetin, Rutin), bitkiye güçlü antioksidan ve anti-inflamatuar özellikler kazandırır (Ambriz-Pérez ve ark., 2016).
- **Alkamidler (İzobutilamitler):** Özellikle Dodesatetraenoik Asit İzobutilamitleri gibi bileşenler, immünomodülasyon üzerinde önemli rol oynar, fagositik aktiviteyi artırabilir ve potansiyel olarak kanabinoid reseptörleriyle etkileşime girebilir (Eldin ve ark., 2021).
- **Polisakkaritler:** Arabinogalaktanlar ve Heteroksilanlar gibi büyük moleküllerden oluşan bu grup, makrofaj aktivasyonu ve sitokin salınımı yoluyla direkt immünoestimülasyon etki gösterir (Dobrange ve ark., 2019).
- **Uçucu Yağlar:** Çeşitli Monoterpenler ve Sesquiterpenler içeren uçucu yağlar, Ekinezya'ya antimikrobiyal ve aromatik özellikler sağlar (Dosoky ve ark., 2023). Bu bileşenlerin kombinasyonu, Ekinezya preparatlarının soğuk algınlığı ve enfeksiyonlara karşı geniş etki alanını desteklemektedir.

İmmünomodulator Etki

Ekinezya, özellikle soğuk algınlığı ve üst solunum yolu enfeksiyonlarının (ÜSYE) önlenmesi ve tedavisinde en çok araştırılan bitkisel desteklerden biri olarak kabul edilir (Karsch-Völk vd., 2014). Bitkinin bu merkezi terapötik etkisi, doğrudan ve dolaylı yollarla bağışıklık sistemini düzenleme yeteneğinden kaynaklanır.

Ekinezya özütleri, doğuştan gelen (innate) ve adaptif (kazanılmış) bağışıklık sistemlerinin çeşitli bileşenlerini aktive eder. Bağışıklık hücrelerini (özellikle makrofajlar ve doğal öldürücü hücreler- NK hücreleri) uyarak sitokin salınımını (örneğin, İnterlökin-1, İnterlökin-6 ve TNF- α) artırır ve böylece vücudun patojenlere karşı savunma yanıtını güçlendirir.

Bu immünomodulator aktiviteden öncelikli olarak polisakkaritler ve alkamidler sorumludur. Polisakkaritler, makrofajların yüzeyindeki Toll Benzeri Reseptörler (TLR) gibi kalıp tanıma reseptörlerini aktive ederek, hücre içi sinyal yollarını (özellikle NF- κ B yolunu) tetikler ve pro-inflamatuar

sitokin üretimini artırır. Alkamidler ise immün hücrelerin fagositik aktivitesini artırarak patojenlerin temizlenmesine yardımcı olur (Bauer, 1999; Rédei vd., 2020). Klinik çalışmaların meta-analizleri, düzenli Ekinezya kullanımının soğuk algınlığının insidansını düşürmede ve semptomların şiddetini ve süresini kısaltmada destekleyici bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Barnes vd., 2005). Bu kapsamlı etki mekanizması, Ekinezya'yı mevsimsel enfeksiyonlara karşı güçlü bir doğal kalkan haline getirmektedir.

Çeşitli çalışmalar, Ekinezya (EP) preparatlarının bağışıklık sistemiyle ilişkili enfekte olmamış insan hücrelerindeki hücresel gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini rapor etmiştir. EP ile tedavi edilen insanlardan alınan kan hücrelerinde Doğal Öldürücü (NK) hücrelerinde ve hücre yüzeyi antijenlerinde değişiklikler tanımlanmıştır (See ve ark., 1997; Brush ve ark., 2006). Randolph ve arkadaşları (2003) ticari bir *Echinacea* ürünüyle tedaviden sonra farklı zamanlarda alınan insan kan örneklerinde birkaç sitokin geninin ekspresyon seviyelerindeki (mRNA ve protein düzeyinde) değişiklikleri tanımlamışlardır. Brovelli ve arkadaşları (2005) ise kültürlenmiş insan monositlerindeki birkaç sitokin geninin ekspresyonunun, muhtemelen farklı kimyasal bileşimlerini yansıtan, *Echinacea* preparatının doğasından (gelişim aşaması ve kullanılan bitki kısmı) etkilendiğini bulmuşlardır.

Wang ve arkadaşları (2008), adaptif bağışıklık tepkisinin bir parçası olan insan dendritik hücrelerindeki bağışıklıkla ilgili moleküllerin gen ekspresyonu üzerindeki, *E. purpurea*'nın hava kısımlarından türetilmiş bir butanol fraksiyonunun etkilerini tanımlamıştır. Bu fraksiyon, ya artırarak ya da azaltarak, birçok dendritik hücre genini etkilemiştir. Ayrıca, kültürlenmiş fare dendritik hücreleri için de EP ekstraktı ile çeşitli sitokinlerin modülasyonu rapor edilmiştir (Benson ve ark., 2010). Bu çalışmaların hiçbirisi enfekte hücreleri içermemekle birlikte, EP'nin bağışıklık hücrelerinde çoklu gen etkileri yarattığını açıkça doğrulamıştır.

Son 20 yılda birçok araştırma grubu, *Echinacea* preparatlarının fare kökenli hücre kültürlerindeki bağışıklık fonksiyonları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Genel olarak, periton, alveoler veya dalak monosit/makrofaj/lenfosit preparatlarının EP ile inkübe edilmesi, fagositöz ve sitokin salgılanmasının uyarılmasıyla sonuçlanmıştır (Bkz. Bauer & Lawson, 1998; Barnes ve ark., 2005 ile gözden geçirilmiştir). Bu durum, EP'nin genellikle gen ekspresyonundaki çok sayıda değişiklik aracılığıyla bir anti-

enflamatuar ajan olarak davrandığı, yukarıda açıklanan enfekte hava yolu epitel hücreleri ve fibroblastlar üzerindeki çalışmalarla çelişiyordu.

Kısmen saflaştırılmış EP polisakkaritleri (*in vitro* EP bitki kültürlerinden türetilmiştir) ile yapılan çalışmalarda, makrofajlarda fagositoz aktivitesinin uyarılması da gözlenmiştir (Roesler ve ark., 1991; Steinmuller ve ark., 1993). Buna karşın, izole edilmiş *Echinacea* alkilamidleri, tek tek veya gruplar halinde, çeşitli kültürlenmiş hücrelerde istisnasız bir şekilde bağışıklık baskılanması sergilemiştir (Matthias ve ark., 2007; Guiotto ve ark., 2008; Gertsch ve ark., 2004; Sullivan ve ark., 2008; Cech ve ark., 2010).

Ne yazık ki, daha önceki çalışmalar, *Echinacea*'nın genel bir "bağışıklık uyarıcısı" veya "bağışıklık güçlendiricisi" olarak davrandığı yönünde yaygın bir inanışa yol açmış ve bu ifadeler günümüzde birçok ticari etikette ve web sitesi açıklamasında hâlâ devam etmektedir. Ancak daha yeni çalışmalar, genel bağışıklık uyarımı yerine daha uygun bir şekilde bağışıklık modülasyonundan bahsetmektedir (örn. Altamirano-Dimas ve ark., 2009; Matthias ve ark., 2007; Guiotto ve ark., 2008; Gertsch ve ark., 2004; Sullivan ve ark., 2008; Cech ve ark., 2010). Dolayısıyla, EP ve hücreler arasındaki *in vivo* etkileşimlerin net sonucu, muhtemelen ekstraktın bileşiminden ve hücre tipinin doğası ve konumundan etkilenecektir. Rininger ve arkadaşları (2000) farklı bir dizi gözlem yapmışlardır. EP'nin çeşitli preparatlarının, fare kültürlerinde sitokin üretimi üzerinde minimal etkiler gösterdiğini, ancak ekstraktlar öncelikle simüle edilmiş mide ve bağırsak sindirim protokolüne maruz bırakıldığında, sitokin salgılanmasını uyarma yeteneği kazandığını bildirmişlerdir. Bu sonuç, *Echinacea*'nın normal tüketimi açısından açıkça önemlidir, ancak henüz açıklanamamıştır.

Fare makrofaj hücre hattı RAW 274, LPS (bakteriyel lipopolisakkarit) tedavisine inflamatuvar mediatör nitrik oksit (NO) üretimini uyararak yanıt vermiştir ve EP, yukarıda açıklanan anti-sitokin etkileriyle uyumlu olarak bu etkiyi inhibe edebilmiştir (Chen ve ark., 2010). Ön çalışmalarımızda (Sharma ve Hudson, yayınlanmamış sonuçlar), rinovirüsün de aynı hücrelerde NO üretimini uyardığı ve EP'nin bu etkiyi tersine çevirdiği görülmüştür. Bu nedenle, potansiyel fagositik hücreler EP tarafından uyarılabilir de, LPS (veya muhtemelen canlı bakteriler) tarafından zaten uyarılmış olan benzer hücreler EP tarafından inhibe edilir, bu da EP'nin normal bağışıklık fonksiyonlarını geri kazanma eğilimini gösterdiğini işaret etmektedir.

Antidiyabetik Etkisi

Diabetes Mellitus (DM), kronik hiperglisemi ve beraberindeki sistemik inflamasyon ile karakterize edilir. Ekinezya'nın antidiyabetik potansiyeli, öncelikle antioksidan ve anti-inflamatuar kapasitesi ile ilişkilidir. Bazı *in vivo* (hayvan) çalışmalar, *Echinacea purpurea* özütlerinin, özellikle obezite ve diyabet modellerinde, insülin direncini azaltabileceğini ve glukoz toleransını iyileştirebileceğini göstermiştir (Obeid vd., 2019). Bu, PPAR γ (Peroksizom Proliferatörü ile Aktive Edilen Reseptör Gama) gibi metabolik düzenleyici yolların aktivasyonu ile ilişkilendirilmektedir. Diyabetik komplikasyonların ana itici gücü olan serbest radikalleri temizleme yeteneği sayesinde (fenolik bileşikler aracılığıyla), Ekinezya'nın oksidatif stresi ve dolayısıyla diyabetik nöropati veya nefropati gibi organ hasarlarını azaltma potansiyeli bulunmaktadır.

Antikanserojenik Etkisi

Ekinezya'nın kanserle mücadeledeki potansiyeli, sadece bilinen immünomodülatör özellikleri üzerinden dolayı bir destek sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kanser hücrelerinin biyolojisini doğrudan hedef alan sitotoksik aktiviteyi de kapsar. Bu çift yönlü etki, Ekinezya'yı onkolojik destek tedavisinde önemli bir aday haline getirmektedir. *In vitro* çalışmalar, Ekinezya türlerinden izole edilen alkamidler ve polisakkaritler gibi spesifik fitokimyasalların, çeşitli kanser hücre hatlarında (özellikle kolon, pankreas ve meme kanseri gibi) büyüme hızını (proliferasyon) belirgin şekilde inhibe etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Rédai vd., 2020). Bu sitotoksik etki, çoğu zaman, kanser hücrelerinin kontrolsüz büyümesini durduran programlanmış hücre ölümü olan apoptozun indüklenmesi üzerinden gerçekleşir. Apoptoz indüksiyonu, genellikle mitokondriyal yolu aktive ederek ve hücre içindeki ölüm sinyali iletimini sağlayan Kaspaz enzimlerinin (özellikle Kaspaz-3 ve Kaspaz-9) aktivasyonunu tetikleyerek meydana gelir. Bu durum, Ekinezya bileşiklerinin, kanser hücrelerinde hücre döngüsü kontrol noktalarını atlama yeteneğini bozduğunu düşündürmektedir. Özellikle tümörün erken aşamalarında veya kemoterapi/radyoterapi gibi konvansiyonel tedaviler sırasında destekleyici olarak kullanıldığında, Ekinezya'nın bağışıklık sistemini uyararak (özellikle Doğal Öldürücü (NK) hücreleri ve sitotoksik T lenfositleri aktive ederek) tümör hücrelerinin bağışıklık sistemi tarafından tanınmasını ve

yok edilmesini kolaylaştırması potansiyeli incelenmektedir. Ekinezya özütlerinin tümör büyümesi için gerekli olan yeni kan damarı oluşumunu (anjiyogenez) inhibe edebileceğini ileri sürmektedir. Bu mekanizma, Vasküler Endotelial Büyüme Faktörü (VEGF) gibi pro-anjiyogenik sinyal moleküllerinin ekspresyonunu azaltarak gerçekleşebilir. Ayrıca, bitkisel bileşenlerin kanser hücrelerinin invazyon ve yayılma (metastaz) yeteneklerini baskılayarak hastalığın ilerlemesini yavaşlatma yönündeki potansiyelleri de araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

Evcil Hayvanlarda ve Çiftlik Hayvanlarında Ekinezya Uygulamaları

Tarih boyunca insanlar, hayvanlardaki çeşitli hastalık ve sağlık bozukluklarını tedavi etmek için tıbbi bitkileri içeren stratejiler kullanmıştır (Ürüşan, 2021; Paksoy, 2022; Ürüşan, 2023a). Özellikle antioksidan (Erhan ve ark., 2012), antimikrobiyal (Ürüşan ve Bölükbaşı, 2017) ve performansı artırıcı etkiler (Ürüşan ve Bölükbaşı, 2020; Ürüşan ve 2023b) gibi faydalı özelliklere sahip oldukları bildirilmiştir. Evcil hayvanlar, çiftlik hayvanları ve balıklar dâhil olmak üzere çoğu evcil hayvan, yaşamlarının bir noktasında viral ve mikrobiyal hastalıklar için tedaviye ihtiyaç duyar ve hastalığa neden olan organizmalar genellikle daha önce tartışılan insanlardaki karşılıklarına benzerdir (örneğin, kuş gribi virüsleri, hayvan herpes virüsleri, çeşitli solunum yolu virüsleri ve bakterileri ve birçok mantar ve parazit enfeksiyonu). Sonuç olarak, bunlardan bazıları doğrudan antiviral, antimikrobiyal veya antienflamatuar bir ajan olarak Ekinezya tedavisine yanıt verebilir. Ek olarak, bu organizmalardan bazıları, özellikle *Salmonella* ve *Campylobacter* türleri gibi bakteriler, aynı zamanda önemli kontamine gıda kaynaklarıdır. Ayrıca, bazı yorumcular, çiftlik hayvanlarının sıklıkla maruz kaldığı antibiyotik saldırısının en azından bir kısmının yerine geçecek bitkisel preparatların değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir.

Ekinezya dâhil olmak üzere bazı bitkilerin Kuzey Amerika ve Avrupa'da modern bir veterinerlik uygulamaları geleneği bulunmaktadır (Lans ve ark., 2007a; Lans ve ark., 2007b). İnsan hastalıkları için tanımlananlara benzer temel çalışmaları veya hatta hayvanlar üzerindeki kontrollü deneyleri açıklayan nispeten az sayıda rapor olmasına rağmen, tedavilerin her zaman güvenli olduğu ve önemli yan etkilerden arınmış olduğu sonucuna varılmıştır. Bu

sonuç, önceki bölümde açıklanan, toksik etkilerin gözlenmediği fare ve sıçan çalışmalarınca da desteklenmektedir.

Enfeksiyonlarla İlgili Çalışmalar

Koksidiyoz: Beslenmenin metabolik ve reproduktif süreçleri olumlu yönde desteklediği bilinmekle birlikte (Paksoy, 2022; Özel ve ark., 2023), koksidiyoz gibi bağırsak bütünlüğünü bozan enfeksiyonlar besin maddelerinin emilimini engelleyerek bu olumlu etkilerin ortaya çıkmasını sınırlandırmaktadır. *Coccidia* protozoan paraziti ile enfekte olan civcivler üzerinde yapılan bir çalışma, EP kök ekstresi ile beslenme takviyesinin, normal diyetle yetiştirilen hayvanlarla karşılaştırıldığında lezyon skorlarını önemli ölçüde azalttığı ve hayvanların sağlığını iyileştirdiği sonucuna varmıştır (Allen, 2003). Ancak bağışıklık parametreleri ölçülmediği için, EP'nin etkisinin doğrudan parazitin kendisine mi yoksa bağışıklık sistemine mi yönelik olduğu net değildir. Yine de, kanatlı endüstrisinde koksidiyoz için etkili bir tedavi memnuniyetle karşılanacaktır.

PRRS Virüsü: Öte yandan, genç domuzlar üzerinde yapılan bir çalışmada (Hermann ve ark., 2003), besin yoluyla verilen EP'nin domuz üreme ve solunum sendromu virüsüne (PRRS virüsü) karşı herhangi bir koruma sağlamadığı bulunmuştur. Bu virüs arterivirüs ailesinin bir üyesi olduğundan (koronavirüslerle ilişkili) ve zara sahip olduğundan, EP ile doğrudan temasa karşı duyarlı olması beklenirdi. Ancak, enfeksiyonun sistemik doğası, diyetle alınan Ekinezya bileşenlerine erişilemez hale getirebilir. Alternatif olarak, tedavi protokolü yetersiz kalmış olabilir.

Diğer Uygulamalar

Evcil hayvanlarda enfeksiyonların kontrol edilmesine ek olarak, bitkisel preparatlar bağışıklık uyarımı, büyüme teşviki ve performans artışı gibi amaçlar için de önerilmiştir. Enfekte olmayan atlar (O'Neill ve ark., 2002) ve balıklar (Tilapia, Aly & Mohamed, 2010) üzerinde yürütülen çalışmalar, Ekinezya preparatları için potansiyel olanakları düşündürmektedir. Yine, güvenlik hayvanlar için bir sorun olarak kabul edilmemiştir. Balıklar, diğer çiftlik hayvanları gibi, özellikle stres koşulları altında, viral ve mikrobiyal enfeksiyonlara karşı her zaman potansiyel olarak savunmasızdır; bu nedenle, sentetik antimikrobiyalere alternatif tedaviler faydalı olabilir.

SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, Paleolitik dönemden günümüze dek kültürel ve coğrafi sınırları aşarak tüm medeniyetlerin farmakopesine girmiş, binlerce yıllık deneysel bilgi birikimiyle şekillenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından bile kabul gören bu bitkiler, gelişmekte olan ülkelerdeki nüfusun yaklaşık %80'i için birincil sağlık kaynağı olmaya devam eden stratejik, ekonomik ve biyolojik çeşitlilik açısından kritik bir doğal hazine işlevi görmektedir. Doğal ekosistemlerde ürettikleri; anti-inflamatuar, antimikrobiyal ve antikanserojenik potansiyel taşıyan kompleks alkaloidler, triterpenler, flavonoidler ve uçucu yağlar gibi biyoaktif ikincil metabolitler sayesinde, geleneksel fitoterapötik uygulamaları desteklerken, modern farmasötik endüstrisine ilham vermekte ve gıda, kozmetik, parfümeri sektörlerine sürdürülebilir, doğal, katma değerli hammaddeler sunmaktadır. Bu bağlamda, Ekinezya (*Echinacea*), alkaloidler, polisakkaritler ve yüksek oranda fenolik bileşikler içeren zengin fitokimyasal profili sayesinde, geleneksel olarak bilinen güçlü immünomodülatör etkilerinin ötesinde, çok yönlü biyolojik aktivitelere sahiptir. Kronik hiperglisemi ve oksidatif stres ile mücadelede PPAR γ aktivasyonu yoluyla insülin duyarlılığını artıran antidiyabetik potansiyel ile birlikte, *in vitro* çalışmalarda Kaspaz bağımlı apoptozu tetikleyerek ve proliferasyonu inhibe ederek doğrudan sitotoksik etki gösteren antikanserojenik özellikler sergilemektedir. Bu çok yönlü biyolojik aktiviteler, Ekinezya'yı, gelecekteki fitoterapi ve ilaç geliştirme stratejilerinde hem kronik hastalıkların tedavisine destek hem de bağışıklık sistemini güçlendiren koruyucu bir ajan olarak, araştırmaya değer kritik bir doğal kaynak konumuna yerleştirmektedir.

KAYNAKLAR

- Allen, P. C. (2003). Dietary supplementation with *Echinacea* and development of immunity to challenge infection with coccidia. *Parasitology Research*, 91(1), 74–78. <https://doi.org/10.1007/s00436-003-0938-y>
- Altamirano-Dimas, M., Sharma, M., & Hudson, J. B. (2009). *Echinacea* and anti-inflammatory cytokine responses: results of a gene and protein array analysis. *Pharmaceutical Biology*, 47(6), 500–508. <https://doi.org/10.1080/13880200902839525>
- Aly, S. M., & Mohamed, M. F. (2010). *Echinacea purpurea* and *Allium sativum* as immunostimulants in fish culture using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(5), e31–e39. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00971.x>
- Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Gutierrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2016). Phenolic compounds: Natural alternative in inflammation treatment. A Review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1131412.
- Barnes, J., Anderson, L. A., Gibbons, S., & Phillipson, J. D. (2005). *Echinacea* species (*Echinacea purpurea* (L.) Moench, *Echinacea angustifolia* (DC) Hell, *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt.): a review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(8), 929–954.
- Barnes, J., Anderson, L. A., Gibbons, S., & Phillipson, J. D. (2005). *Echinacea* species (*Echinacea angustifolia* (DC.) Hell., *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt., *Echinacea purpurea* (L.) Moench): a review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(8), 929–954. <https://doi.org/10.1211/0022357056127>
- Bauer, R. (1999). Chemistry, analysis and immunological investigations of *Echinacea* phytopharmaceuticals. In: *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects* (2nd ed.).
- Bauer, R., & Lawson, L. D. (1998). *Echinacea*: biological effects and active principals. In R. Bauer & L. D. Lawson (Eds.), *Phytomedicines of Europe: Chemistry and Biological Activity* (American Chemical Society Symposium Series, Vol. 691, pp. 140–157). American Chemical Society.
- Benson, J. M., Pokorny, A. J., Rhule, A., Wenner, C. A., Kandhi, V., Cech, N. B., & Shepherd, D. M. (2010). *Echinacea purpurea* extracts modulate

- murine dendritic cell fate and function. *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1170–1177. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.02.007>
- Brovelli, E. A., Rua, D., Roh-Schmidt, H., Chandra, A., Lamont, E., & Noratto, G. D. (2005). Human gene expression as a tool to determine horticultural maturity in a bioactive plant (*Echinacea purpurea* L. Moench). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(21), 8156–8161. <https://doi.org/10.1021/jf0505372>
- Brush, J., Mendenhall, E., Guggenheim, A., Chan, T., Connelly, E., Soumyanath, A., Buresh, R., Barrett, R., & Zwickey, H. (2006). The effect of *Echinacea purpurea*, *Astragalus membranaceus* and *Glycyrrhiza glabra* on CD69 expression and immune cell activation in humans. *Phytotherapy Research*, 20(8), 687–695. <https://doi.org/10.1002/ptr.1938>
- Cech, N. B., Kandhi, V., Davis, J. M., Hamilton, A., Eads, D., & Laster, S. M. (2010). *Echinacea* and its alkylamides: effects on the influenza A-induced secretion of cytokines, chemokines, and PGE2 from RAW 264.7 macrophage-like cells. *International Immunopharmacology*, 10(10), 1268–1278. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2010.07.009>
- Chen, X. M., Hu, C., Raghubeer, E., & Kitts, D. D. (2010). Effect of high pressure pasteurization on bacterial load and bioactivity of *Echinacea purpurea*. *Journal of Food Science*, 75(7), C613–C618. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01753.x> (Metinde [92] olarak geçmektedir)
- Dobrange, E., Peshev, D., Loedolff, B., & Van den Ende, W. (2019). Fructans as immunomodulatory and antiviral agents: The case of *Echinacea*. *Biomolecules*, 9(10), 615.
- Dosoky, N. S., Kirpotina, L. N., Schepetkin, I. A., Khlebnikov, A. I., Lisonbee, B. L., Black, J. L., ... & Quinn, M. T. (2023). Volatile composition, antimicrobial activity, and in vitro innate immunomodulatory activity of *Echinacea purpurea* (L.) Moench essential oils. *Molecules*, 28(21), 7330.
- Eldin, S. M. S., Shawky, E., Sallam, S. M., El-Nikhely, N., & El Sohafy, S. M. (2021). Metabolomics approach provides new insights into the immunomodulatory discriminatory biomarkers of the herbs and roots of *Echinacea* species. *Industrial Crops and Products*, 168, 113611.

- Erhan, M. K., Bölükbaşı, Ş. C., & Ürüsan, H. (2012). Biological activities of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) in broilers. *Livestock Science*, 146(2-3), 189-192.
- Gertsch, J., Schoop, R., Kuenzle, U., & Suter, A. (2004). *Echinacea* alkylamides modulate TNF- α gene expression via cannabinoid receptor CB2 and multiple signal transduction pathways. *FEBS Letters*, 577(3), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2004.10.064>
- Guiotto, P., Woelkart, K., Grabnar, I., Voinovich, D., Perissutti, B., Invernizzi, S., Granzotto, M., & Bauer, R. (2008). Pharmacokinetics and immunomodulatory effects of phytotherapeutic lozenges (bonbons) with *Echinacea purpurea* extract. *Phytomedicine*, 15(8), 547–554. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2008.05.003>
- Hermann, J. R., Honeyman, M. S., Zimmerman, J. J., Thacker, B. J., Holden, P. J., & Chang, C. C. (2003). Effect of dietary *Echinacea purpurea* on viremia and performance in porcine reproductive and respiratory syndrome virus-infected nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 81(9), 2139–2144.
- Hudson, J. B. (2012). Applications of the phytomedicine *Echinacea purpurea* (Purple Coneflower) in infectious diseases. *BioMed Research International*, 2012(1), 769896.
- Hudson, J. B. (2012). The multiple actions of the phytomedicine *Echinacea* in the treatment of colds and flu. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, Article 769896. <https://doi.org/10.1155/2012/769896>
- Karsch-Völkl, M., Barrett, B., & Linde, K. (2014). *Echinacea* for preventing and treating the common cold. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).
- Lans, C., Turner, N., Khan, T., & Brauer, G. (2007b). Ethnoveterinary medicines used to treat endoparasites and stomach problems in pigs and pets in British Columbia, Canada. *Veterinary Parasitology*, 148(3-4), 325–340. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.06.014>
- Lans, C., Turner, N., Khan, T., Brauer, G., & Boepple, W. (2007a). Ethnoveterinary medicines used for ruminants in British Columbia, Canada. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3, Article 11. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-11>

- Matthias, A., Banbury, L., Stevenson, L. M., Bone, K. M., Leach, D. N., & Lehmann, R. P. (2007). Alkylamides from *Echinacea* modulate induced immune responses in macrophages. *Immunological Investigations*, 36(2), 117–130. <https://doi.org/10.1080/08820130600745786>
- Murray, M. T. (2020). *Echinacea* species (narrow-leaved purple coneflower). In *Textbook of Natural Medicine* (pp. 566-573). Churchill Livingstone.
- O'Neill, W., McKee, S., & Clarke, A. F. (2002). Immunologic and hematinic consequences of feeding a standardized *Echinacea* (*Echinacea angustifolia*) extract to healthy horses. *Equine Veterinary Journal*, 34(3), 222–227.
- Obeid, W., Ghattas, O., & El-Khatib, R. (2019). Antidiabetic effects of *Echinacea purpurea* extract in streptozotocin-induced diabetic rats: Involvement of PPAR γ and antioxidant properties. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 110, 584–591.
- Obeid, W., Ghattas, O., & El-Khatib, R. (2019). Antidiabetic effects of *Echinacea purpurea* extract in streptozotocin-induced diabetic rats: Involvement of PPAR γ and antioxidant properties. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 110, 584–591.
- Randolph, R. K., Gellenbeck, K., Stonebrook, K., Brovelli, E., Qian, Y., Bankaitis-Davis, D., & Cheronis, J. (2003). Regulation of human immune gene expression as influenced by a commercial blended *Echinacea* product: preliminary studies. *Experimental Biology and Medicine*, 228(9), 1051–1056.
- Rédai, A., Csupor, D., Répássy, F., Mátics, R., & Hohmann, J. (2020). Cytotoxic and antiproliferative activity of alkamides isolated from *Echinacea* species. *Molecules*, 25(22), 5241.
- Rédai, A., Csupor, D., Répássy, F., Mátics, R., & Hohmann, J. (2020). Cytotoxic and antiproliferative activity of alkamides isolated from *Echinacea* species. *Molecules*, 25(22), 5241.
- Rininger, J. A., Kickner, S., Chigurupati, P., McLean, A., & Franck, Z. (2000). Immunopharmacological activity of *Echinacea* preparations following simulated digestion on murine macrophages and human peripheral blood mononuclear cells. *Journal of Leukocyte Biology*, 68(4), 503–510.
- Roesler, J., Steinmuller, C., Kiderlen, A., Emmendorffer, A., Wagner, H., & Lohmann-Matthes, M. L. (1991). Application of purified

- polysaccharides from cell cultures of the plant *Echinacea purpurea* to mice mediates protection against systemic infections with *Listeria monocytogenes* and *Candida albicans*. *International Journal of Immunopharmacology*, 13(1), 27–37. [https://doi.org/10.1016/0192-0561\(91\)90022-Y](https://doi.org/10.1016/0192-0561(91)90022-Y)
- See, D. M., Broumand, N., Sahl, L., & Tilles, J. G. (1997). *In vitro* effects of *Echinacea* and ginseng on natural killer and antibody-dependent cell cytotoxicity in healthy subjects and chronic fatigue syndrome or acquired immunodeficiency syndrome patients. *Immunopharmacology*, 35(3), 229–235. [https://doi.org/10.1016/S0162-3109\(96\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0162-3109(96)00125-7)
- Steinmuller, C., Roesler, J., Grottrup, E., Franke, G., Wagner, H., & Lohmann-Matthes, M. L. (1993). Polysaccharides isolated from plant cell cultures of *Echinacea purpurea* enhance the resistance of immunosuppressed mice against systemic infections with *Candida albicans* and *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Immunopharmacology*, 15(5), 605–614.
- Özel, Y., Paksoy, Z., & Yumuşak, N. (2023). Protective Effect of Aronia Melanocarpa Extract on Ischemia Reperfusion Damage in Rat Ovary. *J. Anim. Vet. Adv*, 22, 1-12.
- Paksoy, Z. (2022). Beslenmenin metabolik ve reproduktif etkileri. In: Sağlık bilimleri üzerine akademik araştırmalar, Editör: Bayraktar B. s. 185-210. Iksad Publications, Ankara.
- Sullivan, A. M., Laba, J. G., Moore, J. A., & Lee, T. D. G. (2008). Echinacea-induced macrophage activation. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 30(3), 553–574. <https://doi.org/10.1080/08923970802135534>
- Ürüşan, H., & Bölükbaşı, Ş. C. (2017). Effects of dietary supplementation levels of turmeric powder (*Curcuma longa*) on performance, carcass characteristics and gut microflora in broiler chickens. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(3).
- Ürüşan, H. (2021). Yüksek Enerjili Yemlere Biberiye Yaprağı (*Rosmarinus officinalis*) İlavesinin, Yumurtacı Tavuklarda Performans, Yumurta Kalite Kriterleri, Serum Lipit Profili ve Karaciğer Yağ Oranı Üzerine Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 115-124.

- Ürüşan, H. (2023a). Hepatoprotective effect of Artichoke (*Cynara scolymus*) in laying hens. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 74(1), 5249-5258.
- Ürüşan, H. (2023b). Effects of dandelion (*Taraxacum officinale*) supplementation on productive performance, egg quality traits, serum biochemical parameters and liver fat rate in laying hens. *Indian Journal of Animal Research*, 57(8).
- Ürüşan, H., & Bölükbaşı, C. (2020). The influence of turmeric powder (*curcuma longa*) on fatty acid composition and shelf life of broiler chicken meat. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 35(1), 29-35.
- Wang, C. Y., Staniforth, V., Chiao, M. T., Hou, C. C., Wu, H. M., Yeh, K. C., Chen, C. H., Hwang, P. I., Wen, T. N., Shyur, L. F., & Yang, N. S. (2008). Genomics and proteomics of immune modulatory effects of a butanol fraction of *Echinacea purpurea* in human dendritic cells. *BMC Genomics*, 9, Article 479. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-479>

BÖLÜM 2

SİNAMEKİ (*SENNA ALEXANDRINA*) BİTKİSİNİN İMMÜNOMODÜLATÖR, ANTİDİYABETİK VE ANTİKANSEROJENİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Volkan GÜL¹
Fırat SEFAOĞLU²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17989962>

¹Doçent, Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Aydıntepe/Bayburt, E-mail: volkangul555@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4899-2822

²Doçent, Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik, KASTAMONU. E-mail: fsefaoglu@kastamonu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8485-6564

GİRİŞ

İnsanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahip olan tıbbi ve aromatik bitkiler, asırlardır insan sağlığının korunması ve hastalıkların tedavisinde temel bir başvuru kaynağı olarak kullanılmıştır. Aynı şekilde hayvan hastalıklarıyla mücadele etmek amacıyla şifalı bitkileri temel alan yöntemlere sıklıkla başvurulmuştur (Ürüşan, 2021; Paksoy, 2022; Ürüşan, 2023a). Söz konusu bitkilerin; antioksidan (Erhan ve ark., 2012) ve antimikrobiyal (Ürüşan ve Bölükbaşı, 2017) özellikler taşımasının yanı sıra, beslenme ve hayvan performansını iyileştirici etkiler de sağladığı rapor edilmiştir (Özel ve ark., 2023; Ürüşan ve Bölükbaşı, 2020; Ürüşan, 2023b). Benzer şekilde, tarihsel süreçte yaygın olarak kullanılan sinemaki bitkisi de bağırsak sağlığını korumak ve metabolik performansı desteklemek amacıyla bu stratejilerin bir parçası olmuştur (Huang ve ark., 2025).

Geleneksel tıbbın köklü kaynaklarından biri olan Sinameki (*Senna alexandrina* Mill.), Fabaceae familyasına ait, içerdiği sennosidler nedeniyle yüzlerce yıldır özellikle güçlü bir laksatif olarak bilinmekte ve kronik kabızlık tedavisinde kullanılmaktadır (Al-Hadiya vd., 2020). Bununla birlikte, modern farmakolojik araştırmalar ve etnobotanik kayıtlar, Sinameki'nin fitokimyasal zenginliğinin (fenolik bileşikler, flavonoidler ve polisakkaritler) laksatif etkinin çok ötesinde geniş bir terapötik yelpazeye sahip olduğunu göstermektedir (Rehman vd., 2023).

S. alexandrina'nın aktif bileşenleri, küresel sağlık krizlerine neden olan kronik hastalıkların patogenezinde merkezi rol oynayan mekanizmaları doğrudan hedef alma potansiyeli taşır. Preklinik çalışmalar, bitki özütlerinin glukoz metabolizmasını düzenleme ve insülin duyarlılığını artırma yoluyla umut verici antidiyabetik etkiler sergilediğini doğrulamıştır (Yin vd., 2022). Bu hipoglisemik aktivitenin, kısmen alpha-glukozidaz gibi sindirim enzimlerinin inhibisyonu ve antioksidan özellikleri sayesinde pankreatik beta-hücrelerinin korunması yoluyla gerçekleştiği ileri sürülmektedir (El-Hawary vd., 2021). Ayrıca, Sinameki'deki antrakınonlar (özellikle emodin ve aloe emodin) ve diğer fitokimyasalların, çeşitli kanser hücre hatlarında antikanserojenik potansiyel taşıdığı, hücre çoğalmasını inhibe ettiği ve programlanmış hücre ölümü (apoptoz) sürecini başlattığına dair laboratuvar bulguları mevcuttur (Srinivasan vd., 2020). Bitki özütlerinin immünomodülatör özellikleri de araştırılmış; *S. alexandrina*'nın, hem hücresel hem de humoral bağışıklık tepkilerini (makrofaj

aktivasyonu gibi) artırarak adaptif ve doğuştan gelen bağışıklık sistemini güçlendirme yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir (Hassan & Al-Otaibi, 2023).

B, *Senna alexandrina*'nın geleneksel laksatif rolünün ötesindeki bu çok yönlü farmakolojik etkilerini; yani immünomodülatör, antidiyabetik ve antikanserojenik potansiyellerini, bu etkileri destekleyen fitokimyasal bileşenler ve moleküler mekanizmalar ışığında mevcut bilimsel literatürü sentezleyerek değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

SİNAMEKİ (*SENNA ALEXANDRINA*) BİTKİSİNİN İMMÜNOMODÜLATÖR, ANTİDİYABETİK VE ANTİKANSEROJENİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Senna, Fabaceae familyasının *Caesalpinioideae* alt familyasında, Cassieae kabilesi ve Aphyllae serisi içerisinde sınıflandırılan; bünyesinde ağaç, çalı ve yarı çalı formunda yaklaşık 350 tür barındıran geniş bir cinstir (Azani vd., 2017; Robbiati vd., 2017). Taksonomik geçmişine bakıldığında, bu grup *Cassia* s. bünyesinden ayrılarak *Senna*, *Cassia* L. (s.s) ve *Chamaecrista* Moench olmak üzere üç belirgin cinse bölünmüştür (Irwin & Barneby, 1982; Morris vd., 2019). Coğrafi dağılım açısından oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan cins, ağırlıklı olarak Amerika, Afrika ve Okyanusya kıtalarında yayılım gösterirken, Asya ve Pasifik adalarında daha sınırlı bir varlık sergiler (Marazzi vd., 2006). Ekolojik adaptasyon yeteneği oldukça yüksek olan *Senna* türleri; nemli ve kuru ormanlardan, soğuk ve kurak çöllere, hatta kayalık alanlara kadar çeşitli habitatları kolonize etmeyi başarmıştır (Acharya vd., 2011). Sahip oldukları bu çevresel uyum yeteneği ve dikkat çekici sarı çiçek salkımları, bazı türlerin peyzaj ve süs bitkisi olarak popülaritesini artırmıştır (Marazzi & Sanderson, 2010). gövdesi düz, soluk yeşil renkte olup, dört ila beş çift yaprakçık içeren yayılıcı dallara sahiptir. Çiçekleri de küçük ve sarı renktedir, kapsülleri dikdörtgen şeklinde ve geniştir ve genellikle her kapsülde yaklaşık altı tohum bulunur (Dziedzic & Hudson, 1984). Ayrıca, kurak bölgelere uyum sağlayan bazı türlerin çölleşme ile mücadelede kullanılması güncel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Şekil 1). Tıbbi açıdan incelendiğinde ise, Ayurveda geleneğinde *Cassia* türlerinin laksatif, antimalaryal ve antienflamatuar etkileri nedeniyle kullanıldığı bilinmektedir (Rahman vd., 2013). Günümüzde de bu cins, içerdiği biyoaktif bileşenler ve farmakolojik

potansiyeli ile bilim dünyasında tanınmaya devam etmektedir (Nassar vd., 2011; Spiller vd., 2003). Sinameki, botanik olarak Fabaceae (Baklagiller) familyasına ait olan Senna cinsi altında yer alan bir bitkidir. Tıbbi amaçlar için kullanılan ana tür Sinameki (*Senna alexandrina* Mill.)'dir (Al-Hadiya vd., 2020). Eski literatürde bu tür, bazen *Cassia angustifolia* veya *C. senna* gibi isimlerle de anılmıştır. Sinameki, genellikle Hindistan, Mısır ve Sudan gibi kurak ve yarı kurak bölgelere özgüdür (Rehman vd., 2023).



Şekil 1. Sinameki (*Senna Alexandrina*) bitkisinin morfolojik görünümü

Taksonomik Hiyerarşi:

- **Alem (Kingdom):** Plantae
- **Bölüm (Division):** Magnoliophyta
- **Sınıf (Class):** Magnoliopsida
- **Takım (Order):** Fabales
- **Familya (Family):** Fabaceae (Baklagiller)
- **Cins (Genus):** *Senna*

• **Tür (Species):** *S. Alexandrina*

Sinameki'nin terapötik etkisi, büyük ölçüde yaprak ve meyvelerinde bulunan antrakinon glikozitlerinden kaynaklanır; bunların başında güçlü laksatif bileşenler olan Sennosidler A ve B gelir (Al-Hadiya vd., 2020). Bunun yanı sıra, bitki geniş bir yelpazede biyoaktif bileşiklere sahiptir: fenolik bileşikler, flavonoidler, polisakkaritler ve antrakinon türevleri (örneğin rein, emodin ve aloe emodin) (Rehman vd., 2023). Bu bileşenler, bitkinin antioksidan, anti-inflamatuar ve antimikrobiyal özelliklerini destekler.

Antidiyabetik Potansiyelinin İncelenmesi

Küresel bir halk sağlığı sorunu olan Diabetes Mellitus (DM) ile mücadelede *S. alexandrina*'nın etkinliği giderek artan bir ilgi odağı olmuştur. Bitkinin antidiyabetik potansiyeli, antioksidan kapasitesi ve glukoz metabolizmasını düzenleme yeteneği ile ilişkilidir:

- **Enzim İnhibisyonu ve Glukoz Emilimi:** Sinameki özütleri, nişastaların sindirimini yavaşlatan ve böylece yemek sonrası (postprandiyal) hiperglisemiye kontrol altına almaya yardımcı olan alpha-glukozidaz gibi enzimleri inhibe etme yeteneği sergilemiştir (El-Hawary vd., 2021).
- **Oksidatif Stresin Azaltılması:** Bitkideki fenolikler ve flavonoidler, diyabetik komplikasyonların gelişiminde kritik rol oynayan serbest radikalleri nötralize ederek güçlü antioksidan aktivite gösterir (El-Hawary vd., 2021). Antrakinon türevlerinin ise antidiyabetik mekanizmaları ve potansiyelleri mevcuttur (Yin vd., 2022).
- **İnsülin Duyarlılığı:** Preklinik çalışmalar, *S. alexandrina*'nın glukoz metabolizmasını iyileştirerek ve potansiyel olarak insülin duyarlılığını artırarak hipoglisemik etkiler sergileyebileceğini düşündürmektedir (El-Hawary vd., 2021).

Antikanserojenik Etkilerin Değerlendirilmesi

Sinameki'nin antikanser aktivitesi, özellikle antrakinon yapılı bileşenlerinden kaynaklanmaktadır:

- **Doğrudan Sitotoksikite ve Apoptoz:** Emodin gibi antrakinon türevleri, çeşitli kanser hücre hatlarında (kolorektal kanser) hücre çoğalmasını (proliferasyonu) baskılama ve programlanmış hücre

ölümü olan **apoptozu** tetikleme yeteneği göstermiştir (Srinivasan vd., 2020).

- **Mekanizmalar:** Bu bileşiklerin, kanser hücrelerinin hayatta kalma yollarını inhibe ederek ve kanser hücrelerinde aşırı oksidatif stres yaratarak sitotoksik etki gösterdiği varsayılmaktadır (Srinivasan vd., 2020).

İmmünomodülatör Etki

Sinameki, bağışıklık sistemini düzenleyici potansiyele de sahiptir:

- **Bağışıklık Tepkilerini Güçlendirme:** *S. alexandrina* özütlerinin, bağışıklığı baskılanmış modellerde hem hücresel hem de humoral bağışıklık tepkilerini artırarak adaptif ve doğuştan gelen bağışıklık sistemini güçlendirme potansiyeli olduğu gözlemlenmiştir (Hassan & Al-Otaibi, 2023).
- **Hücresel Aktivasyon:** Bu etki, sitokinler ve lenfoid organlar üzerindeki modülasyon yoluyla makrofaj ve diğer immün hücrelerin aktivasyonunu içerir (Hassan & Al-Otaibi, 2023).

SONUÇ

Sonuç olarak, geleneksel olarak güçlü bir laksatif olarak bilinen *Senna alexandrina* (Sinameki) bitkisi, fitokimyasal analizlerle ortaya konan ve antrakinonlar, fenolik bileşikler ve flavonoidler içeren zengin biyoaktif profili sayesinde ¹, kronik hastalık patogenezindeki temel mekanizmaları hedef alan ve umut verici farmakolojik etkiler sergileyen kritik bir doğal kaynak olarak konumlanmaktadır; zira prelinik veriler, bu bileşenlerin \alpha-glukozidaz enzim inhibisyonu yoluyla antidiyabetik potansiyel ²ile beraber, emodin ve antrakinon türevleri aracılığıyla kanser hücrelerinde apoptozu indükleyen antikanserojenik aktivite ³ve bağışıklığı baskılanmış modellerde hücresel ve humoral tepkileri güçlendiren immünomodülatör özellikler ⁴ gösterdiğini ortaya koymakta olup, bu çok yönlü potansiyel, Sinameki'yi gelecekteki klinik çalışmalarda yerini alması gereken stratejik bir fitoterapötik aday haline getirmektedir.

KAYNAKLAR

- Acharya, L., Mukherjee, A. K., & Panda, P. C. (2011). Separation of the genera in the subtribe Cassiinae (Leguminosae: Caesalpinioideae) using molecular markers. *Acta Botânica Brasílica*, 25(1), 223–233. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100026>
- Al-Hadiya, B. H., Al-Qadiri, H. M., Al-Hussaini, F. H., & Al-Tawfiq, M. T. (2020). *Senna alexandrina*: Phytochemistry, Traditional Uses, and Pharmaceutical Potential. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(10), 001–009.
- Azani, N., Babineau, M., Bailey, C. D., Banks, H., Barbosa, A. R., Pinto, R. B., ... & Zimmerman, E. (The Legume Phylogeny Working Group). (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon*, 66(1), 44–77. <https://doi.org/10.12705/661.3>
- Dziedzic, S. Z., & Hudson, B. J. (1984). Phenolic acids and related compounds as antioxidants for edible oils. *Food Chemistry*, 14(1), 45–51.
- El-Hawary, S. S., El-Tantawy, W. H., & Mohammed, A. M. (2021). Antidiabetic, anti-obesity, and antioxidant activities of *Senna alexandrina* Mill. leaves extract and its fractions. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 1–11.
- Hassan, A. A., & Al-Otaibi, M. M. (2023). Immunomodulatory potential of aqueous extract of *Senna alexandrina* leaves on immunosuppressed rats: Involvement of cytokines and lymphoid organs. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 44(2), 205–218.
- Irwin, H. S., & Barneby, R. C. (1982). *The American Cassiinae: A synoptical revision of Leguminosae tribe Cassieae subtribe Cassiinae in the New World*. New York Botanical Garden.
- Marazzi, B., Endress, P. K., Queiroz, L. P., & Conti, E. (2006). Phylogenetic relationships within *Senna* (Leguminosae, Cassiinae) based on three chloroplast DNA regions: Patterns in the evolution of floral symmetry and extrafloral nectaries. *American Journal of Botany*, 93(2), 288–303. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.2.288>
- Marazzi, B., & Sanderson, M. J. (2010). Large-scale patterns of diversification in the widespread legume genus *Senna* and the evolutionary role of

- extrafloral nectaries. *Evolution*, 64(12), 3570–3592. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.01086.x>
- Morris, J. B., Tonniss, B. D., & Wang, M. L. (2019). Variability for Sennoside A and B concentrations in eight *Senna* species. *Industrial Crops and Products*, 139, 111489. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111489>
- Nassar, M. A., Ramadan, H. R., & Ibrahim, H. M. (2011). Morphological characteristics of vegetative and reproductive growth of *Senna occidentalis* (L.) Link (Caesalpiniaceae). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 7(2), 260–270.
- Oladeji, O. S., Adelowo, F. E., Oluyori, A. P., & Bankole, D. T. (2020). Ethnobotanical description and biological activities of *Senna alata*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 2580259. <https://doi.org/10.1155/2020/2580259>
- Özel, Y., Paksoy, Z., & Yumuşak, N. (2023). Protective Effect of Aronia Melanocarpa Extract on Ischemia Reperfusion Damage in Rat Ovary. *J. Anim. Vet. Adv*, 22, 1-12.
- Paksoy, Z. (2022). Beslenmenin metabolik ve reproduktif etkileri. In: Sağlık bilimleri üzerine akademik araştırmalar, Editör: Bayraktar B. s. 185-210. Iksad Publications, Ankara.
- Rahman, M. O., Rahman, M. Z., & Begum, A. (2013). Numerical taxonomy of the genus *Senna* Mill. from Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 20(1), 77–83. <https://doi.org/10.3329/bjpt.v20i1.15467>
- Rehman, H., Al-Asmari, A. K., Khan, A. Q., & Basit, H. (2023). Phytochemical profiling, biological activities and ethnomedicinal uses of *Senna* species: A systematic review. *South African Journal of Botany*, 159, 514–530.
- Robbiati, F. O., Anton, A., Marazzi, B., Vásquez-Cruz, M., & Fortunato, R. H. (2017). The evolutionary history of *Senna* ser. *Aphyllae* (Leguminosae–Caesalpiniaceae), an endemic clade of southern South America. *Plant Systematics and Evolution*, 303(10), 1351–1366. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1450-7>
- Selegato, D. M., Monteiro, A. F., Vieira, N. C., Cardoso, P., Pavani, V. D., Bolzani, V. S., & Castro-Gamboa, I. (2017). Update: Biological and chemical aspects of *Senna spectabilis*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(3), 415–426. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20160322>

- Spiller, H. A., Winter, M. L., Weber, J. A., Krenzelok, E. P., Anderson, D. L., & Ryan, M. L. (2003). Skin breakdown and blisters from *Senna*-containing laxatives in young children. *Annals of Pharmacotherapy*, 37(5), 636–639. <https://doi.org/10.1345/aph.1C439>
- Srinivasan, M., Arumugam, P., & Ramachandran, B. (2020). Emodin, an anthraquinone derivative from *Senna*, induces apoptosis and suppresses proliferation in human colorectal cancer cells. *Journal of Functional Foods*, 68, 103912.
- Yin, H., Duan, P., Li, M., Shi, G., Zhang, D., & Yang, Y. (2022). Antidiabetic potential and mechanisms of action of anthraquinones and their derivatives from medicinal plants. *Phytomedicine*, 100, 154089.

BÖLÜM 3

TANENLERİN VETERİNER HEKİMLİKTE KULLANIMI VE REPRODÜKTİF ETKİLERİ

Zahid PAKSOY

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17989996>

GİRİŞ

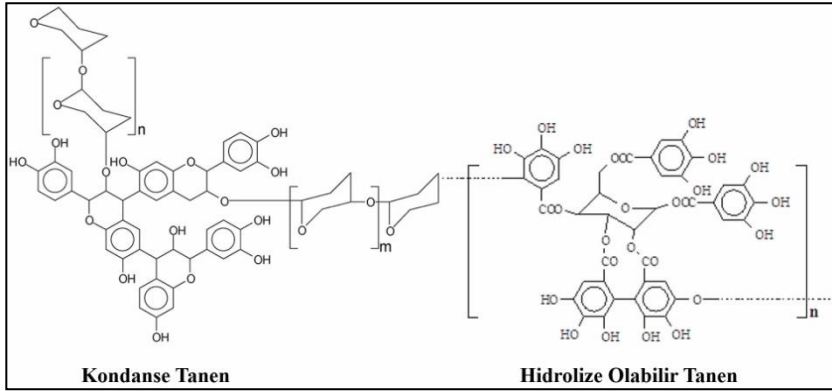
Tanenler, bitkilerde doğal olarak bulunan polifenolik bileşiklerdir. Bu bileşikler patojen mikroorganizmalara karşı bir savunma sistemi olarak görev alırlar (Gul ve ark., 2023). Buna ilaveten bitkiyi donmaya ve yenmeye karşı da korurlar. Birçok bitkide bulunan tanenler; baklagiller başta olmak üzere, akasya, meşe, keçiboynuzu, çay, nar ve üzüm gibi türlerde bulunurlar. Bitkilerin meyve, meyve tohumu, yaprak, kök ve kabuk gibi çeşitli kısımlarında bulunabilirler. Acımsı tatları sebebiyle hayvanlar tarafından pek tercih edilmezler. (Aydın ve Üstün, 2007; Ünver ve ark., 2014). Bitkilerdeki varlığı kırmızı ve kahverengi renklerle belli olur. Bu bileşikler kimyasal olarak hidrolize olabilen ve hidrolize olamayan (kondanse) şeklinde iki sınıfa ayrılırlar. Hidrolize olabilen tanenler zehirlenmelere yol açarlar. Kondanse tanenler aynı zamanda proantosiyanidinler olarak da isimlendirilirler ve genellikle insan ve hayvan sağlığı için faydalı özelliklere sahiptir. Bu bileşikler, veteriner hekimliğinde farklı amaçlarla kullanılabilir. Tanen içeren yem maddelerinin kullanımı hayvan beslemede oldukça önemlidir. Özellikle ruminantlarda rasyona katılarak kullanılmaktadır. Küçük ruminantların bu moleküler bileşikleri daha iyi tolere edebildikleri bilinmektedir. Yeterli miktarda verildikleri zaman hayvanlarda faydalı etkileri ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte fazla miktarda alınırsa toksik etkiler oluşabilir (Üstün ve Aydın, 2007).

Bu bölümün amacı, bitkisel bir bileşik olan tanenlerin veteriner hekimliğinde genel kullanım alanları hakkında bilgi vermek ve reproduksiyon üzerine olan etkilerini değerlendirmektir.

Tanenlerin Kimyasal ve Farmakolojik Özellikleri

Tanenler, moleküler ağırlıkları 500–3000 g/mol aralığında olan ve suda çözünebilen bileşiklerdir. Tanenlerin çeşitli türleri bulunur ve ekstraktı farklı bitkilerden elde edilebilir. Bu durum sebebiyle tanenlerin yapıları karmaşık ve çeşitli olup kesin kimyasal yapısını tanımlamak zordur. Tanenler genel olarak fenolik (polifenoller) bileşiklerin iki ana grubunda sınıflandırılır (Resim 1) (İbrahim ve ark., 2021).

- 1) Hidrolize olabilir tanenler,
- 2) Kondanse tanenler,



Resim 1. Kondanse ve hidrolize olabilir tanenlerin kimyasal yapısı (Pizzi, 2021).

1. Hidrolize olabilir tanenler

Bu bileşikler, gallotanenler ve ellagitannenler olarak alt gruplara ayrılır. Hidrolize olabilen tanenler; ellagik asit, gallik asit, digallik asit gibi fenoller ile şeker esterlerinin bir kombinasyonudur. Bu tanenler, sanayide deri tabaklama işleminde kullanılırlar (Fraga-Corral ve ark., 2020; İbrahim ve ark., 2021). Hidrolize olabilen bir gallotanen olan Tannik asit; astrenjan, hemostatik ve peklik yapıcı özelliklere sahiptir. Bu sebeple tanenler anti-diyareik olarak uygulanabilir. Alkaloid içeren bitkilerle zehirlenme durumunda antidot olarak kullanılabilir (Resim 2) (Aydın ve Üstün, 2007).



Resim 2. Görselde sağdaki ürün (İshaldur) içerisinde bizmut subnitrat, kaolin, pektin ve tannik asit bulunan anti-diareik bir ilaçtır (Anonim, 2025a). Soldaki ilaç ise kaolin, pektin, tannik asit, aktif kömür ve magnezyum oksit içermekte olup sindirim sistemi zehirlenmelerinde antidot olarak kullanılır (Anonim, 2025b).

Tanenler, antiseptik özelliğe de sahiptirler. Otitis, mastitis, vaginitis, endometritis ve enteritislerde farklı yoğunluktaki çözeltileri bu amaçla kullanılmıştır. Tannalbin bağırsak antiseptiği olarak, tannoform ise yara tedavisinde kullanılmaktadır (Aydın ve Üstün, 2007).

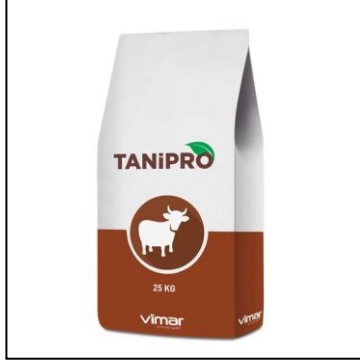
2. Kondanse tanenler

Kondanse tanenler, polihidroksi flavan-3-ol birimlerinin polifenolik bioflavonoid polimerleridir (Fraga-Corral ve ark., 2020; İbrahim ve ark., 2021). Bu sınıfta yer alan tanenler, direkt antiparaziter etkiye sahiptirler. İndirekt olarak aminoasitlerin duodenuma geçişini kolaylaştırır ve hayvanın bağışıklık sistemini güçlendirir. Fenolik bileşik olduklarından antioksidan etkiye sahiptirler. Özellikle antosiyanidinlerin bu özellikleri belirgindir. Bunlar ayrıca antimikrobiyal ve antiviral etkilere de sahiptirler (Aydın ve Üstün, 2007).

Kondanse tanen bileşiklerinden olan kateşinler; epikateşin (EC), epigallokateşin (EGC), epikateşingallat (ECG) ve epigallokateşingallat'tır (EGCG). Bu kateşinler, bakteriler üzerinde çoğalmalarını engelleyici veya onları öldürücü etkiler göstermektedir (Aydın ve Üstün, 2007).

Veteriner Hekimlikte Tanenlerin Kullanım Alanları

Tanenler, hayvan beslemede yem katkı maddesi olarak kullanılabilir. Yeterli miktarda kullanıldığında faydalı etkiler gösterirken fazla miktarda kullanıldığında toksik etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu bileşikler özellikle ruminant beslenmesi açısından önemlidir (Resim 3). Kondanse tanenlerin plazma antioksidan seviyesini artırdığı bilinmektedir. Ayrıca rumende propianat üretimini ve mikrobiyel protein sentezini artırır. Tanenler sütün miktarını artırır ve bileşimini iyileştirir. Diğer taraftan metan gazı üretimini ve rumen protozoalarını azaltır. Gastrointestinal sistemdeki parazit yükünü azaltarak hayvanların büyüme ve gelişimi üzerindeki negatif etkiyi ortadan kaldırır (Besharati ve ark., 2022).



Resim 3. Görseldeki ürün (Tanipro) kestane ağacından üretilen ve içerisinde tannik asit bulunan doğal bir özüttür. Süt ve besi sığırlarının kullanımına uygundur (Anonim, 2025c).

İneklerde rumende gaz oluşumu fizyolojik bir olaydır. Merada otlayan hayvanlar, taze yonca otu yerse bu genellikle köpüklü gaz oluşumuna sebep olur. Bundan dolayı hayvan gazı dışarı atamaz ve timpani meydana gelir. Rasyona ilave edilen az miktarda kondanse tanen (Resim 4) bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte tanen rumendeki protozoayı azalttığı için negatif etkiler görülebilir. Diğer taraftan proteinlerle tanenlerin kompleks oluşturması incebağırsaklara daha fazla protein gelmesini sağlar ve bu durum hayvansal verimi artırır. Sonuçta rumende kullanılamayan protein incebağırsaklarda kullanılmış olur. Böylece aminoasit emilimi de daha fazla olur (Kamalak ve ark., 2005).



Resim 4. Resimdeki ürün (Bavimix Stophal) Büyük ve küçük ruminantlarda kullanılmak üzere hazırlanmış ve içerisinde kondanse tanen bulunan ticari bir premiktir. Ruminantlarda iştah arttırmaya, ishalli önlemeye, elektrolit kaybını gidermeye ve aminoasit ihtiyacını karşılamaya yardımcı olur (Anonim, 2025d).

Tanenlerin Üreme Üzerine Etkileri

Tanenler, hipotalamus-hipofiz-gonad ekseninde hormonal aktiviteyi düzenlemektedir. Hidrolize olabilir tanenle hayvanların beslenmesi serumda follikül uyarıcı hormon (FSH), lüteinleştirici hormon (LH) ve progesteron seviyesinde iyileşmelere yol açmaktadır (Manzoor ve ark., 2020). Bu durum özellikle uterus ve ovaryumda reproduksiyonla ilgili fizyolojik süreçlerin normal bir şekilde ilerlemesini sağlar. Hormonal balansın yanında reproduktif organlar üzerinde de tanenlerin direkt etkileri vardır. Tannik asidin ovaryumun gelişiminde önemli rolü bulunmaktadır. Yavru farelere tannik asit verildiğinde ovaryumun daha iyi geliştiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu tanen hipofiz ve ovaryumda üretilen hormonların miktarını artırmaktadır (Yu ve ark., 2021). Üstelik overlerde kist oluşumuna da engel olur (Gumuskaya ve ark., 2022).

Bu polifenollerin ovaryumun yanında uterus dokusu üzerinde de etkileri vardır. Tanenler uterotonik bileşiklerdir ve uterus kasılmasını teşvik edici etkileri bulunmaktadır (Amiera ve ark., 2014). Bu sebeple gebe hayvanlarda kullanımına dikkat edilmelidir. Tanenlerin antioksidan etkileri vardır ve oksidatif stresi azaltırlar. Bundan dolayı üreme organları üzerinde pozitif etkileri bulunmaktadır (Manzoor ve ark., 2020; Yu ve ark., 2021). Rasyona ilave edilen tanenler, sürü bazında reproduktif parametreleri iyileştirmektedir. Özellikle ilkbahar-yaz döneminde kullanıldıklarında tohumlama başına konsepsiyon sayısının arttığı, gebelik oranlarının yükseldiği ve açık günlerin sayısının azaldığı tespit edilmiştir (Castillo ve ark. (2025)).

Dişi hayvanlarda olduğu gibi erkek hayvanlarda da gonad dokusu üzerinde tanenler pozitif etki göstermektedirler. Yapılan incelemelerde tannik asit kullanımıyla testis dokusunda oksidatif stresin, inflamasyonun ve hasarın azaldığı belirlenmiştir. Üstelik doku seviyesinde fertilité genlerinin ekspresyonunu artırmaktadır. Bunların yanında testis hücrelerinin stabilitesini artırarak dokuyu DNA hasarına karşı korumaktadır (Toraman ve Ceylan 2025).

Tanenlerin Toksikolojik Yönü

Tanenlerin yüksek dozda hayvanlara verilmesi farklı semptomlara neden olmaktadır. Kilogramında 60 gramdan daha fazla miktarda tanen bulunan rasyonun yenilmesi ilk olarak hayvanda tiksinnmeye neden olur. Bu durum yem tüketimini azaltır (Kamalak ve ark., 2005). Tek mideli hayvanlarda protein sindirimini olumsuz yönde etkileyerek büyüme ve gelişmeyi bozar. Bu

bileşikler demir ve kalsiyum gibi minerallerle kompleks oluştururlar. Bu durum mineral eksikliği ortaya çıkarabilir. Ayrıca B12 vitamini ile de kompleks oluşturabilir. Tanenler, sindirim kanalında da problemlere yol açabilir. Yemek borusunda tahriş, kursakta kalınlaşma, mide ve duodenum mukozasında nekroz oluşabilir. Etlik piliçlerde eklemlerde şişme, bacak kemiklerinde anormallik görülür. Yumurtacı tavuklarda ise verimde azalma ve yumurta sarısında yeşil renk oluşumuna sebep olur (Ünver ve ark., 2014).

Tanen içeren yaprakların ve palamutların bol miktarda yenmesi zehirlenme belirtilerine yol açar. Zehirlenmede sindirim ve üriner sisteme ait belirtiler hakimdir. Bunların yanında hipotermi ve dekubitis oluşabilir. Son dönemde ise hipertermi, dış gıcırdatması, ataksi, posterior parezis ve burun kanaması görülebilir. Günlük rasyonun %75'inden fazla miktarda meşe filizi yenilmesi sığırlarda ölümle sonuçlanmaktadır (Üstün ve Aydın, 2007).

Deneyisel ve Klinik Çalışmalar

Sağlıklı ratlar üzerinde yapılan bir araştırma, vücut ağırlığına %1.5-2 oranında hidrolize olabilir tanenle beslenmenin serum FSH, LH ve progesteron seviyesinde iyileşmelere neden olduğunu göstermiştir. Testosteron, ghrelin ve prolaktin seviyelerini ise azaltmıştır. Total oksidatif stresi azaltırken antioksidan kapasiteyi artırmıştır. Diğer taraftan yem tüketimini önemsiz bir şekilde azaltırken yemden faydalanmayı artırmıştır (Manzoor ve ark., 2020). Araştırmacılar, tanenlerin metabolizmayı dengede tutmaya yardımcı olduğunu ve infertiliteye yol açan hastalıklarda rasyona ilave edilmelerinin dölverimini artırabileceğini söylemişlerdir.

Tannik asidin ovaryumun gelişiminde önemli rolü bulunmaktadır. Dört haftalık farelere tannik asit verildiğinde ovaryumun daha iyi geliştiği, olgun folliküllerin daha fazla olduğu ve çaplarının da daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda tanen tedavisi, serum FSH, LH ve östradiol seviyelerini artırmıştır. Buna ek olarak lipid peroksidasyonu azaltarak antioksidan enzim sistemlerini desteklemektedir (Yu ve ark., 2021). Bu polifenollerin ovaryumun yanında uterus dokusu üzerinde de etkileri vardır. Tanenler, uterus kasılmasını teşvik eden bileşiklerdir ve uterotonik etkileri bulunmaktadır. Tanen içeren bitki ekstraktı uygulanması ile uterus kasılmaları şekillenmektedir. Bu etkisi sebebi ile doğumun uyarılması için kullanılan doğal

bir uterotoniktir ve postpartum kanamaların kontrolünde kendilerinden faydalanılır (Amiera ve ark., 2014).

Tannik asit, kistik ovaryum vakalarında tedavi edici etkilere sahiptir. Rat modelinde yapılan çalışma neticesinde, polikistik over sendromlu hayvanlarda, tannik asit tedavisi kistik follikülleri azaltarak primer follikül sayısını artırmıştır. Aynı zamanda serum FSH, LH ve testosteron seviyelerini regüle ederek iyileşmeye yardımcı olmaktadır. Bu durum infertiliteye yol açan folliküler kistlerde tanenlerin pozitif etkisinin bir kanıtı olarak ele alınmaktadır (Gumuskaya ve ark., 2022).

Kondanse ve hidrolize tanenler içerisinde bulunan biyolojik aktif maddeler sürü bazında reproduktif performansı etkilemektedir. Castillo ve ark (2025) tarafından yapılan bir çalışmada sütçü ineklerin rasyonlarına tanen içeren yem katkısı ilave edilmiştir. ByPro ® isimli bu ürün Nisan-Eylül ayları arasında verildiğinde hayvanlarda konsepsiyon ve gebelik oranlarının önemli bir şekilde arttığı görülmüştür. Araştırmacılar konsepsiyon başına düşen tohumlama sayısının ve postpartum açık günlerin azaldığını bildirmişlerdir. Bu bulgular sürüdeki hayvanların reproduktif parametrelerinin düzeldiğini göstermektedir.

Tannik asit, erkek üreme organındaki oksidatif stres, inflamasyon ve hasarı azaltmaktadır. Ayrıca dokudaki üreme genlerinin ekspresyonunu iyileştirmektedir. Sonuçta reproduktif toksisiteyi azaltmakta ve hayvanlarda fertilitenin korunmasına yardımcı olmaktadır. Tannik asit testis hücrelerinde DNA hasarına neden olan ajanlara karşı koruyucu olarak kullanılabilir. Bu etkisini 8-OHdG (8-hidroksi-2'-deoksiguanosin) düzeyini azaltarak ve hücrelerin genetik stabilitesini artırarak gösterdiği belirlenmiştir (Toraman ve Ceylan 2025).

Sallam ve ark (2019) mandalar üzerinde yaptıkları bir çalışmada doğum sonrası Quebracho tanenlerinin diyetle dahil edilmesi ile reproduktif parametreler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Hayvanlara doğumdan 9 hafta sonra ovsynch programı uygulamışlar ve hormon uygulamaları esnasında da tanen uygulamasını devam ettirmişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar günlük 100 g tanen uygulanan mandalarda olumsuz etkiler görüldüğünü bildirmişlerdir. Buna karşın 200 g tanen verilenlerde; büyük follikül sayısı, büyük folliküllerin ortalama çapı, korpus luteum sayısı ve korpus luteum çapları sayısal olarak artırmıştır. Ayrıca açık gün sayısı kısalmış ve gebelik

başına tohumlama sayısı da azalmıştır. Bu bulgular, doğum sonrası tanenlerin doza bağlı olarak kullanımının reproduksiyon üzerinde pozitif ve negatif etkileri olabileceğini göstermiştir.

Koyunlar üzerinde yapılan bir çalışmada (Li ve ark., 2025) tanenlerin *Haemonchus contortus* ile enfekte olan gebelerdeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada yeşil çay yapraklarından elde edilen kondanse tanenler kullanılmıştır. Dozaj, kuru maddede %4 olacak şekilde ayarlanmıştır. Önce koyunlar enfekte edilmiş, daha sonra tanen kullanımı başlamıştır. Bu enfeksiyon, koyunlarda placenta yangısına ve fetal büyüme geriliğini yol açmaktadır. Suni tohumlama sonrası enfekte edilen koyunlarda tanen kullanımı parazit yükünü azaltmıştır. *H. contortus*'un sebep olduğu fetal büyüme geriliğinin hafifletildiği tespit edilmiştir. Anti-inflamatuar ve proinflamatuar sitokinlerin seviyelerinde anlamlı artışlar ve azalmalar olmuştur. Plasental yangıda hafifleme tespit edilmiştir. Ayrıca uygulanan tedavi, üreme hormonu düzeylerini ayarlama da yardımcı olmuştur. Bu durum, yem katkı maddesi olarak tanenlerin uygun olabileceğini göstermektedir.

Keçilerin mide-barsak sisteminde bulunan parazitler üzerinde yapılan in vitro bir çalışmada kondanse tanenlerin etkileri araştırılmıştır (Gazzonis ve ark., 2023). Araştırmacılar çalışmada 2 adet hazır ürün ile korunga kuru otunu tanen kaynağı olarak kullanmıştır. Deneyde, parazit yumurtaları üzerinde ovocidal etki ve larval migrans değerlendirilmiştir. Hem hazır kondanse tanenler (Silvafeed BYPRO ve Silvafeed Qpowder) hem de kullanılan korunga otu yumurtadan çıkışı ve larva göçünü inhibe etmiştir. Silvafeed BYPRO ve Silvafeed Qpowder isimli ticari ürünler yüksek dozlarda etkili olmuşlardır. Buna karşın korunga kuru otu ile tüm dozlarda parazitlere karşı daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar hazır ürün almakta zorlanan yetiştiriciler için oldukça önemlidir. Rasyona ilave edecekleri korunga otu ile antiparaziter etki elde edebilirler.

Kondanse tanen bileşiklerinden olan EGCG, yeşil çay içerisinde bol miktarda bulunan bir kateşindir (Şahin ve Özdemir, 2006). Bu madde birçok kez iskemi-reperfüzyon hasarında denenmiş ve faydalı sonuçlar elde edilmiştir (Ergün, 2017). Ratlarda üzerinde yapılan bir çalışmada, deneysel testis torsiyonu oluşturulmuş (Al-Magrebi ve ark., 2012) ve bu hayvanlara tedavi edici olarak EGCG verilmiştir. Bu kateşin, testiste gelişen inflamasyonu azaltmıştır. Ayrıca germ hücre apoptozunu inhibe etmiştir. Bunlara ilaveten

tedavi grubundaki hayvanlarda seminifer tübüllerin genelinde normal histolojik morfoloji gözlenmiştir. Yukarıdaki çalışma ile testis torsiyonu durumunda tedavi edici olarak EGCG uygulandığında fertilitenin korunabileceği tespit edilmiştir.

Dişi ratlarda yapılan diğer bir çalışmada (Ergören ve ark., 2023) ise deneysel ovaryum iske-mi-reperfüzyon hasarı oluşturularak EGCG'nin tedavi edici etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar, iske-miyi takiben verdikleri EGCG'nin ovaryum dokusunu histopatolojik hasardan koruduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu kateşinin total antioksidan kapasiteyi artırdığını rapor etmişlerdir. Bu etkilerine ilaveten apoptozu azalttığını ve inflamasyonu hafiflettiğini söylemişlerdir. Bu tablo EGCG'nin testis dokusunda olduğu gibi ovaryumda da hasarı azalttığını göstermektedir. Sonuç olarak, dişi hayvanlarda ovaryum torsiyonu durumunda gelecekteki fer-tilititeyi korumak için EGCG'nin kullanılabileceği bildirilmektedir.

Tanenlerin uygulanması ile fertilitenin olumsuz etkilendiğini bildiren çalışmalar da vardır. Bu çalışmalardan birinde (Attia ve ark., 2020) sütçü ineklere Quebracho tanenleri 100 veya 200 g/gün dozunda uygulanmıştır. Her iki doz; ovaryum follikül sayısını, büyük follikül sayısını, büyük folliküllerin ortalama çapını, korpus luteum sayısını, korpus luteum çapını ve progesteron konsantrasyonunu azaltmıştır. Gebelik başına tohumlama sayısı ve açık gün sayısı da artmıştır. Bu durum geçiş dönemindeki sütçü ineklere tanen verilmesinin negatif etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Sallam ve ark., (2019) mandalarda yaptığı çalışmada tam tersine bulgulara elde etmişlerdir. Bu iki tür arasındaki farklılığın sebebi ileride yapılacak çalışmalarla ortaya çıkarılabilecektir.

Geleceğe Yönelik Araştırma Alanları

Tanenlerin çok sayıda alt türünün bulunması, etki alanlarını genişletmektedir. Her bir tanen bileşiği farklı dozlarda çeşitli etkiler göstermektedir. Öncelikle tanen tipine özgü etkilerin belirlenmesi gerekmektedir. İlk olarak, her bir tanen bileşiği için farklı hücre kültürlerinde doz denemeleri yapılabilir. Sonrasında hayvanlardan alınan izole doku örneklerinde gerekli araştırmalar sürdürülmelidir. Devamında laboratuvar hayvanlarında toksikasyon çalışmaları tamamlanarak güvenli doz aralıkları

belirlenmelidir. Bunu takiben çiftlik hayvanları özelinde doz belirleme çalışmaları yapılmalıdır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar yapılırken moleküler mekanizmaların daha iyi aydınlatılması diğer bir araştırma alanıdır. Tedavi edici, toksik veya letal dozlarda hangi mekanizmalar aracılığıyla etkiler ortaya çıkmaktadır? Antioksidan etkilere aracılık eden moleküller nelerdir? Apoptozu durduran enzimler hangileridir? Pro-inflamatuar ve anti-inflamatuar sitokinlerin hangileri artmakta veya azalmaktadır? Bütün bu sorulara cevap bulunması gelecek araştırmalarla mümkün olacaktır. Bu ve benzeri birçok moleküler mekanizma detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

Tanenlerin gebelikte kullanımı, üreme açısından önem arzeden bir diğer konudur. Tanenlerin fetal büyüme geriliğini azalttığı daha önce yapılan bir çalışmada tespit edilmiştir. Özellikle gebe hayvanlarda, anne ve yavru üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Gebelikte tanenler rasyonla verilerek antibiyotikler başta olmak üzere diğer birçok ilacın kullanımı azaltılabilir. Bu suretle yavruya meydana gelebilecek anomalilerin önüne geçilebilir. Ayrıca bu bileşiklerin ovulasyon, fertilizasyon ve implantasyon gibi fizyolojik olaylar üzerindeki etkileri de araştırılmalıdır.

SONUÇ

Tanenler, bitkilerde bulunan ve onları koruyan önemli bileşiklerdir. Birçok farklı bitkide ve onların yaprak, meyve ve kabuk gibi kısımlarında bulunurlar. Çok sayıda alt gruba sahip olan bu moleküller günümüzde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde hayvan sağlığı ve beslenmesi önemli bir yer tutar. Özellikle ruminantların beslenmesinde tercih edilmektedir. Tanenlerin etkileri hayvan tarafından alınan miktara göre değişir. Fazla miktarda alınırsa toksik etkiler görülebilir. Yeterli miktarda verildiğinde faydalı etkiler oluşabilir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, tanenlerin üreme üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Üreme hormonlarının salınımı üzerinde faydalı etkiler gösteren bu bileşikler reproduktif performansı geliştirebilir. Postpartum dönemde yem katkısı şeklinde verilmesi uterusun involusyon sürecini destekleyerek yeniden gebe kalma sürecini hızlandırabilir. Ayrıca embriyonik yaşamı destekleyerek gebe kalmayı kolaylaştırır. Bu sayede hayvana ait reproduktif parametreleri düzeltir. İneklerde gebelik başına düşen suni tohumlama sayısını azaltır. Doğum sonrası açık gün aralığını kısaltırlar.

Bu faydalı etkileri bilinmesine rağmen bazı çalışmalarda etkisinin olmadığı veya negatif etkileri olabileceği bildirilmiştir. Sonuç olarak hayvanlarda kullanılırken doza dikkat ederek, takip edilerek yapılarak ve hayvanların verdiği tepkiler incelenerek kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Maghrebi, M., Renno, W. M., & Al-Ajmi, N. (2012). Epigallocatechin-3-gallate inhibits apoptosis and protects testicular seminiferous tubules from ischemia/reperfusion-induced inflammation. *Biochemical and biophysical research communications*, 420(2), 434-439.
- Amiera, Z. U., Nihayah, M., Wahida, I. F., & Rajab, N. F. (2014). Phytochemical characteristic and uterotonic effect of aqueous extract of *Ficus deltoidea* leaves in rats uterus, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(9), 1046-1051.
- Anonim. (2025a). Vetilac, İshaldur. Erişim adresi: <https://vetilac.com/ilac/ishaldur/2226>, Erişim tarihi: 29.11.2025
- Anonim. (2025b). Vetilac, Üniversal antidot. Erişim adresi: <https://vetilac.com/ilac/universal-antidot/2221>, Erişim tarihi: 29.11.2025
- Anonim. (2025c). Vimar animal health, Tanipro. Erişim adresi: <https://www.vimar.com.tr/tr/urunler/urun-listesi/buyukbas/yem-katki/ciftlik-urunleri/tanipro/2182/>, Erişim tarihi: 29.11.2025
- Anonim (2025d). Bavet, Çiftlik Hayvanları Yem Katkı Ürünleri Kataloğu. Erişim adresi: https://www.bavet.com.tr/wp-content/uploads/2022/12/C%CC%A7iftlik-Hayvanlari-Yem-Katki-Katalog%CC%86u_low.pdf, Erişim tarihi: 29.11.2025
- Attia, M. F., El-Din, A. N. M. N., El-Zarkouny, S. Z., El-Zaiat, H. M., Zeitoun, M. M., & Sallam, S. M. (2020). Investigating the impact of quebracho tannins supplementation on productive and reproductive efficiency of dairy cows. *Current Research in Agriculture and Veterinary Sciences*, 2, 133-152.
- Aydın, S., ve Üstün, F. (2007). Tanenler 1 Kimyasal yapıları, farmakolojik etkileri, analiz yöntemleri. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 33(1), 21-31.
- Besharati, M., Maggiolino, A., Palangi, V., Kaya, A., Jabbar, M., Eseceli, H., De Palo P. and Lorenzo, J. M. (2022). Tannin in ruminant nutrition. *Molecules*, 27(23), 8273.
- Castillo, A. R., Di Rienzo, J. A., & Cavallini, D. (2025). Effect of a mix of condense and hydrolysable tannins feed additive on lactating dairy cows'

- services per conception and days open. *Veterinary and Animal Science*, 27, 100434.
- Ergün, Y., 2017. Deney hayvanlarındaki iskemi-reperfüzyon hasarı modellerinde yeşil çayın etkileri. *KSÜ Tıp Fakültesi Dergisi* 12(2), 4-13.
- Ergören, A. E., Paksoy, Z., Yumusak, N., & Yoldas, A. (2023). Investigation of the Therapeutic Effects of Epigallocatechin Gallate in the Ovarian Ischemia Reperfusion Model in Rats. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 22, 15-18.
- Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Pereira, A. G., Lourenço-Lopes, C., Jimenez-Lopez, C., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Technological application of tannin-based extracts. *Molecules*, 25(3), 614.
- Gazzonis, A. L., Panseri, S., Pavlovic, R., Zanzani, S. A., Chiesa, L., Rapetti, L., ... & Manfredi, M. T. (2023). In vitro evaluations and comparison of the efficacy of two commercial products containing condensed tannins and of safoin (*onobrychis viciifolia scop.*) hay against gastrointestinal nematodes of goats. *Animals*, 13(3), 547.
- Gul, V., Cetinkaya, H., Dinler, B. S., & Sefaoglu, F. (2023). Comparative analysis of biochemical content, antimicrobial and antioxidant activities of *hypericum perforatum* l. Species is grown in Türkiye. *Pak. J. Bot*, 55(4), 1277-1285.
- Gumuskaya, F., Sapmaz, T., Canbaz, H. T., Topkaraoglu, S., Sevgin, K., Tekayev, M., ... & Irkorucu, O. (2022). Therapeutic Potential of Tannic Acid in the Management of Polycystic Ovarian Syndrome (PCOS) in Letrozole Induced Rat Model: A Histological and a Biochemical Study. *Hamidiye Medical Journal*, 3(2), 99-107.
- Ibrahim, A., Yaser, A. Z., & Lamaming, J. (2021). Synthesising tannin-based coagulants for water and wastewater application: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 105007.
- Kamalak, A., Canbolat, Ö., Gürbüz, Y., Özay, O., Erer, M., & Özkan, Ç. Ö. (2005). Kondense taninin rumimant hayvanlar üzerindeki etkileri hakkında bir inceleme. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 132-137.
- Li, X., Xiang, H., Liang, R., Han, X., Zhong, R., Liu, H., and Fang, Y. (2025). Tannin alleviated reproductive dysfunction in pregnant ewes infected

- with *Haemonchus contortus*. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1531233.
- Manzoor, F., Nisa, M. U., Hussain, H. A., Ahmad, N., & Umbreen, H. (2020). Effect of different levels of hydrolysable tannin intake on the reproductive hormones and serum biochemical indices in healthy female rats. *Scientific Reports*, 10(1), 20600.
- Pizzi, A. (2021). Tannins medical/pharmacological and related applications: A critical review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22, 100481.
- Sallam, S. M., Attia, M. F., El-Din, A. N. N., El-Zarkouny, S. Z., Saber, A. M., El-Zaiat, H. M., and Zeitoun, M. M. (2019). Involvement of Quebracho tannins in diet alters productive and reproductive efficiency of postpartum buffalo cows. *Animal Nutrition*, 5(1), 80-86.
- Şahin, H. ve F. Özdemir, 2006. Yeşil çayın sağlık üzerine etkisi. Türkiye 9. Gıda Kongresi.
- Ünver, E., Okur, A. A., Tahtabiçen, E., Kara, B., & Şamlı, H. E. (2014). Tanenler ve hayvan besleme üzerine etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2(6), 263-267.
- Üstün, F., ve Aydın, S. (2007). Tanenler 2 toksisiteleri, beslenme üzerine etkileri, detannifikasyon. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 33(1), 33-41.
- Toraman, E., ve Ceylan, H. (2025). Investigation of the effect of tannic acid on doxorubicin-induced testicular damage and functions in a rat model. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 398, 15587-15598.
- Yu, M., Sun, X., Dai, X., Gu, C., Gu, M., Wang, A., ... & Yang, S. (2021). Effects of tannic acid on antioxidant activity and ovarian development in adolescent and adult female Brandt's voles. *Reproductive Sciences*, 28(10), 2839-2846.

BÖLÜM 4

ORMAN ve PEYZAJ AĞAÇ YAPRAKLARI BİYOKÜTLESİNİN HAYVANSAL ÜRETİMDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Hacer KAYA ¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17990044>

¹ Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Gümüşhane, Türkiye. hacerkaya@gumushane.edu.tr, orcid id: 0000-0001-9024-8525

GİRİŞ

Hayvansal kökenli ürünler, tarih boyunca farklı kültürlerde insan beslenmesinin temel bileşenlerinden biri olmuştur. Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde, diyetlerdeki hayvansal kaynaklı gıdaların payı oldukça yüksektir (Simeanu ve ark., 2023). FAO (Food and Agricultural Organization; 2021) verilerine göre, gelişmiş ülkelerdeki hayvansal ürünler günlük enerji alımının yaklaşık %35–40'ını karşılamaktadır. FAO (2023) verileri ise bazı Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde diyetlerdeki hayvansal kaynaklı ürünlerin oranının %45'in üzerine çıktığını bildirmektedir. Bu durum, hayvansal ürünlerin yalnızca yüksek biyolojik değere sahip protein kaynağı olmalarının ötesinde, insan beslenmesinde temel enerji ve mikro besin ögesi sağlayıcıları olarak stratejik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Dünya nüfusu 2016 yılında yaklaşık 7.4 milyar düzeyindeyken, 2050 yılına kadar 9,6 milyara (FAO, 2018a) ve 2100 yılında ise 11.2 milyara ulaşması öngörülmektedir (UN, 2017). Nüfus artışına ek olarak, kişi başına düşen et, süt ve yumurta tüketiminin küresel ölçekte yükselmesiyle birlikte, 2050 yılına hayvansal protein ve diğer hayvansal ürünlere olan küresel ortalama talebin yaklaşık 1.4 milyar tondan 2.0 milyar tona yükseleceği (Henchion ve ark., 2021) ve dahası toplam talebin yaklaşık %70 oranında artacağı tahmin edilmektedir (Wu ve ark., 2014; Guoyao ve ark., 2017). Ayrıca özellikle şu anda az gelişmiş ülkelerdeki bazı yoksul nüfuslarda kişi başına düşen hayvansal proteine olan talepte beklenen artışın, daha da yüksek talep seviyelerine yol açacağı da göz önünde bulundurulmalıdır (Henchion ve ark., 2017).

Avrupa Birliği (AB)'nde gıdalarda yer alan proteinlerin önemli bir bölümü hayvansal kaynaklı olup, başlıca et ve süt ürünlerinden elde edilmektedir. Küresel ölçekte hayvansal üretim, toplam gıda proteinlerinin yaklaşık dörtte birini karşılarken (Detzel ve ark., 2022), AB ülkelerinde bu oran %50'nin üzerine çıkarak dünya ortalamasının oldukça üzerinde seyretmektedir (Tablo1).

Tablo 1. Avrupa Birliği ülkelerinin günlük protein tüketim oranı (Detzel ve ark., 2022).

Protein kaynağı	Kişi başına günlük tüketim (g)	Oran (%)
Et	17.3	29
Süt	13.4	22
Yumurta	2.8	5
Balık ve deniz ürünleri	2.7	4
Hububat	16.3	27
Nişastalı kök ve yumrular	1.7	3
Bakliyat	1.5	2
Fındık ve yağlı tohumlar	1.0	4
Sebze ve meyveler	3.0	5

Hayvancılık sektörü ve hayvansal üretim beslenmenin iyileştirilmesi, yoksulluğun azaltılması, cinsiyet eşitliğinin desteklenmesi, geçim kaynaklarının güçlendirilmesi, gıda güvenliğinin artırılması ve toplum sağlığının korunması gibi çok yönlü katkılarından dolayı sürdürülebilir kalkınma açısından kilit bir role sahiptir (FAO, 2018b). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), özellikle 6-23 aylık çocukların beslenmesinde hayvansal kaynaklı gıdaları yüksek kaliteli protein, demir, çinko ve B₁₂ vitamini gibi temel besin öğelerinin en iyi kaynağı olarak tanımlamaktadır (WHO, 2023). Ruminant hayvanlar, bu hayvansal ürünlerin en önemli üreticileri arasında yer almakta; yüksek kaliteli et, süt ve süt ürünleriyle insan beslenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir (Adesogan ve ark., 2020).

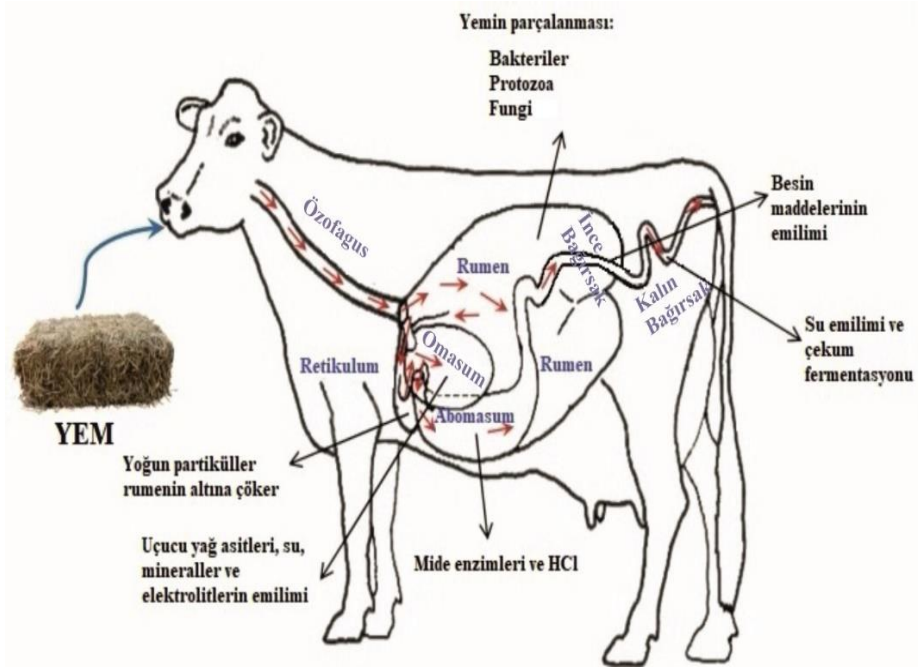
Ruminantlar, mikrobiyal fermentasyona dayalı özgün sindirim fizyolojileri sayesinde monogastrik hayvanların değerlendiremediği lignoselülozik yapıları kaba yemleri yüksek biyolojik değere sahip hayvansal proteine dönüştürebilmektedir (Özel ve Sarıççek, 2009). Rumen, bu dönüşümün merkezinde yer alan karmaşık bir mikrobiyal ekosistem olup; bakteriler, arkeler, protozoonlar ve mantarlardan oluşan mikrobiyal topluluklar sayesinde selüloz, hemiselüloz ve diğer yapısal karbonhidratları fermente ederek uçucu yağ asitleri (asetat, propiyonat, bütirat) üretirler (Matthews ve ark., 2019; Tseten ve ark., 2022). Bu asitler, ruminantların enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini karşılayarak et ve süt üretiminin temelini oluşturmaktadır (Rabee ve ark., 2024). Dolayısıyla yeterli ve kaliteli kaba yem temini, yalnızca ruminantların beslenme ve performansını değil, aynı zamanda hayvansal

protein üretiminin sürdürülebilirliğini de doğrudan etkilemektedir (Kaya, 2024). Ancak, artan hayvansal üretim talebiyle birlikte kaba yem kaynakları üzerindeki baskı da giderek artmaktadır (Lata ve Mondal, 2021). Halihazırda sınırlı olan mera/otlak alanlarının daralması, iklim değişikliği ve yem bitkisi üretimindeki rekabet gibi faktörlerin kaba yem kaynaklarının sürekliliğini tehdit etmesi alternatif yem kaynakları kullanımını zorunlu kılmaktadır (Mahieu ve ark., 2021; Hossain ve Islam, 2025). Bu nedenle, mevcut kaba yemlerin verimli kullanımı ve ağaç yapraklarının biyokütlesi gibi alternatif yem kaynaklarının değerlendirilmesi hem ruminant üretiminin ekonomik sürdürülebilirliği hem de ekolojik denge açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Lata ve Mondal, 2021; Amad ve Zentek, 2023; Hossain ve Islam, 2025).

Bu bağlamda, orman ve peyzaj (süs) ağaçlarının yaprakları, özellikle akasya (*Robinia pseudoacacia*), okaliptus (*Eucalyptus* spp.), kayın (*Fagus orientalis*), ve çınar (*Platanus orientalis*) gibi türler, yüksek selüloz, protein ve mineral içeriği ile geleneksel kaba yemlerin yerine veya tamamlayıcısı olarak değerlendirilebilmekte ve uygun işleme ile sınırlı oranlarda kullanıldığında rumen fermentasyonunu olumsuz etkilemeden beslenmeye katkı sağlamaktadır (Akçıl ve Denek, 2013; Bakır ve ark., 2023; Başer ve ark., 2025; Kaya ve ark., 2025; Serumula ve ark., 2025). Mevcut incelemenin odak noktası, ruminant sindirim sisteminde rumenin kritik rolü ve mikrobiyal etkileşimler ile ruminant beslemede kaba yemlerin önemini vurgulamak, orman ve peyzaj ağaç yapraklarının potansiyelini ortaya koymak ve mevcut literatür ışığında bu alternatif yem kaynaklarının kullanımını optimize etmeye yönelik bilimsel verileri değerlendirmektir.

Ruminant Sindirim Sisteminde Rumenin Rolü ve Mikrobiyal Etkileşimler

Ruminantlar, yem maddelerinin sindiriminde rumen fermentasyonunu kullanan ve kaba yemlerdeki enerjiyi insanların yararlanabileceği yüksek değerli ürünlere dönüştürebilen benzersiz memelilerdir (Liu ve ark., 2021). Ruminantlarda, gerçek mide (abomasum)'den önce rumen, retikulum ve omasumdan oluşan üç adet ön mide bölmesi yer almaktadır (Şekil 1). Rumenin yapısı, yemin önce rumene ardından retikuluma geçişini sağlayan retiküloruminal kıvrımlarla keseciklere ayrılmıştır (Öztürk ve Gur, 2021).



Şekil 1. Ruminant hayvanlarda kaba yem sindirim yolu (Reddy ve Hyder, 2023).

Rumen duvarı papillalarla kaplıyken, retikulumun epiteli karakteristik bir petek görünümü sergilemektedir. Rumen ve retikulum birlikte oluşturduğu retikülörumen, çok işlevli bir fermentasyon kesesidir. Sığırlarda yaklaşık 35–100 L, koyunlarda ise 3–5 L kapasiteye sahip olduğu bildirilen (Sahu ve Kamra, 2002) retikülörumen, geviş getirme süreci ve mikrobiyal faaliyetlerin yürütülmesi için yemin geçici olarak depolandığı temel bölmedir. Çiğnenerek yutulan yem, retikülörumenin ön bölümüne taşınır. Retikulum, yemdeki uygun boyuttaki partikülleri sıvı ve daha büyük parçacıklardan ayırarak besin materyalini omasuma yönlendirir; bu süreç, partiküllerin daha etkin bir şekilde sindirilmesini ve mikroflorayla etkileşimini sağlar (Castillo-González ve ark., 2014; Xu ve ark., 2021). Omasumdan sonra yeme ilişkin sindirim süreçlerinin bir sonraki aşaması, abomasum içinde devam eder; burada enzimatik ve kimyasal sindirim mekanizmaları devreye girerek besinlerin daha küçük moleküllere ayrılmasını ve emilim için hazırlanmasını sağlar (Reddy ve Hyder, 2023).

Sadece geviş getiren hayvanlarda bulunan rumen, çok çeşitli konsorsiyumların varlığı ile karakterize edilen ve oldukça gelişmiş bir ekosistemdir. Retikulum, omasum ve abomasum ile karşılaştırıldığında yetişkin rumen, içindeki çeşitli mikroplar nedeniyle diyetel organik maddelerin parçalanmasında en hayati rolü oynamaktadır (Liu ve ark., 2021). Rumen ekosistemi 50’den fazla cinse ait bakterileri (10^{10} - 10^{11} hücre/ml), 25 farklı cinse ait siliat protozoaları (10^4 - 10^6 hücre/ml), 5 cinsi temsil eden anaerobik mantarları (10^3 - 10^5 zoospor/ml) ve 10^8 - 10^9 /ml düzeyinde bakteriyofajları içermektedir (Millen ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2017; Liu ve ark., 2023). Rumen içinde en belirgin olan mikroorganizmalar selüloz enzimi salgılayan selülotik bakterilerdir ve bu bakteriler uçucu yağ asitleri üretimini ve profilini düzenleyerek rasyon selüloz sindirilebilirliği üzerine etkilidirler (Öztürk ve Gur, 2021). Bazı rumen mikroorganizmaları ayrıca yemden elde ettikleri enerji ve azotu kullanarak büyüme için kendi proteinlerini (mikrobiyal ham protein; MCP) sentezlemektedirler. MCP ince bağırsakta sindirilip absorbe edilerek ruminanın beslenmesi ve sağlığına katkıda bulunmaktadır (Hall ve Huntington, 2008). Ayrıca, B ve K vitaminleri gibi vitaminler rumen mikroorganizmaları tarafından üretebilmektedir. Rumen mikroorganizmaları, insanların gastro intestinal sistem mikrobiyomunda bulunmayan B₁₂ vitamininin *de novo* sentezinde rol oynayan birçok enzime sahiptir (Seshadri ve ark., 2018; Liu ve ark., 2021). Rumen mikroorganizmalarının temel avantajı, konakçı tarafından sindirilemeyen ve kullanılamayan bitki polisakkaritlerini ve protein dışı azotu beslenmede kullanabilme yetenekleridir (Liu ve ark., 2021). Rumenin, hayvanın canlı ağırlığının yaklaşık %10–15’ini oluşturması, tek başına ruminanrtların sindirim süreçleri ve metabolik fonksiyonlarındaki belirleyici rolünü ortaya koyması bakımından önemlidir (Lalu ve ark., 2015). Rumen mikroorganizmalarının sağlıklı çalışabilmesi için sıcaklık, pH ve osmolalite gibi çevresel koşulların uygun düzeyde olması gerekir. Bu standartlardan bazıları; rumen iç sıcaklığının 38-41°C ve rumen pH’sının ise 5.5-7.0 arasında olmasıdır (Tablo 2).

Tablo 2. Rumenin fizikokimyasal özellikleri (Xu ve ark., 2021)

Parametre	Açıklama	Referans
Sıcaklık	39°C (optimal); 38–41°C arasında değişir	Castro-Montoya ve ark. 2011
pH	~ 6.5 (5.5–7.0 aralığında tamponlanmaktadır)	Hillman ve ark. 2017
Kuru madde	Yaklaşık %10–20 düzeyinde sabit tutulur	Firkins ve ark. 2020
Osmolalite	250–400 mOsmol/kg (yem alımıyla birlikte artış gösterir)	Wahrmund ve ark. 2012
Redoks potansiyeli	–150 ile –350 mV aralığında seyreder	Liu ve ark. 2021
Gaz bileşimi	Fermentasyon ile oluşan başlıca gazlar: CO ₂ (%65), CH ₄ (%27); eser miktarda N ₂ (%7), O ₂ (%0.6) ve H ₂ (%0.2) bulunur	Matthews ve ark. 2019

Oldukça önemli olan rumen pH dengesindeki dalgalanmalar, sindirim bozuklukları, genel sağlık durumunun bozulması ve yem sindirilebilirliğinin etkilenmesi ile sonuçlanabilmektedir (Hacısalıhoğlu ve Çetingül, 2025). Yüksek tahıl içeriğine sahip rasyonlar, selülotik bakteri aktivitesini olumsuz etkileyerek metabolik bozukluklara zemin hazırlayan subakut ruminal asidoz gelişimine neden olabileceği gibi yetersiz selüloz düzeyine sahip diyetler de rumen epiteline zarar vererek hayvan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Öte yandan selüloz içeriği zengin rasyonlar ise rumen ortamının fizyolojik açıdan optimal koşullarda sürdürülmesine önemli katkı sağlamaktadır. (Faniyi ve ark., 2024). Rasyonun kaba/konsantre yem oranı ile kaba yemin formu uçucu yağ asitleri, rumen pH'sı ve rumen mikroorganizmaları üzerine etkilidir (Maia ve ark., 2007).

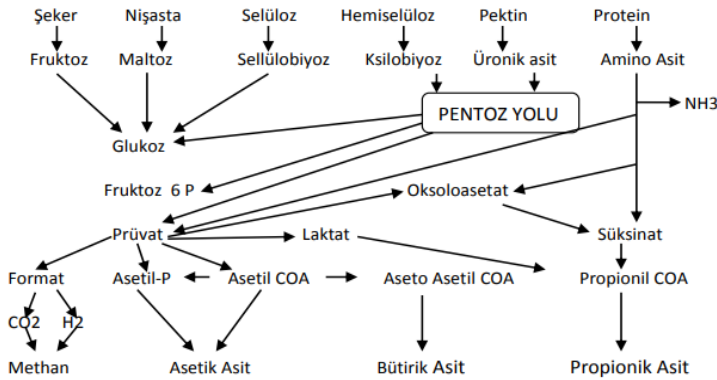
Ruminant Beslemede Kaba Yemler

Kaba yemler, bilhassa herbivor hayvanların rasyonlarının temelini oluşturan ve daha ziyade bitkisel kökenli olup taze, kurutulmuş ya da silaj formunda değerlendirilebilen yemlerdir (Kutlu ve Çelik, 2018). Genellikle doğal koşullar altında yetişen bitkilerden elde edilirler ve enerji içeriklerinin düşük olmasına karşın yüksek ham selüloz (%16'dan daha fazla ham selüloz içeren) içeriğine sahiplerdir. Bu nedenle ruminantların fizyolojik gereksinimlerine uygun yapısal karbonhidrat kaynağı sunmaktadırlar (Tekce ve

Gül, 2014; Özkan ve Şahin Demirbağ, 2016; Hanoğlu Oral, 2022). Kaba yemler, başta sığır, koyun ve keçi gibi ruminant hayvanlar ile at ve tavşan gibi monogastrik herbivorlar tarafından da etkin biçimde değerlendirilebildikleri gibi domuz vb. omnivorların rasyonlarında da belli oranlara kadar kullanılabilir (Kutlu ve ark., 2015). Kaba yemler, hem besinsel hem de fonksiyonel açıdan ruminant ve diğer bazı otçul hayvanları beslemede temel öneme sahip yem kaynakları olmalarının (Kaya, 2024) yanı sıra kesif yemlerden daha ucuz olmaları nedeniyle de yem maliyetlerinin düşürülebilmesinde etkili kaynaklardır (Alçıçek, 2021). Kaba yemler olmaksızın ekonomik bir rasyon hazırlamak çok mümkün değildir zira ruminant hayvanların besin madde ihtiyaçlarının karşılanmasında en ucuz yem kaynakları kaba yemlerdir (Özek, 2022; Oral, 2024). Girdi maliyetlerinin düşük tutulması kârlılığın kârlılığın temel ilkesidir ve hayvansal üretim işletmelerinde üretim maliyetlerinin yaklaşık %70'ini yem giderleri oluşturmaktadır (Alçıçek ve ark., 2010; Harmanşah, 2018; Oral, 2024). Laktasyondaki süt sığırı rasyonlarının yaklaşık %45-70'i, kurudaki süt sığır rasyonlarının %70-90'ı ve düve rasyonlarının %80-100'ünün kaba yemlerden oluşturulabilmesi göz önüne alındığında kârlı, sürdürülebilir, sağlıklı hayvansal üretimin kaliteli ve ucuz kaba yem teminine bağlı olduğu görülmektedir (Özek, 2022). Ruminant rasyonlarına dahil edilen yüksek kaliteli kaba yemler, hayvanın günlük besin madde ihtiyacını karşılamada karma yem gereksinimini azaltarak elde edilen ürünün maliyetini düşürerek net karın artmasında etkin olmaktadır (Gbaguidi ve Sarıççek, 2020).

Kaba yemler, bir yandan hayvanların besin madde ihtiyaçlarını karşılarlarken öte yandan da sindirim sistemi hareketlerinin düzenlenmesi, rumen fonksiyonlarının korunması ve tükürük salgısının uyarımı gibi fizyolojik süreçlerin devamında kritik rollere sahiplerdir (Kutlu ve ark., 2015). Ayrıca bazı sindirim sistemi bozuklukları ve metabolik hastalıkları engelleme, tokluk hissini oluşturma, süt ve besi performansını artırma amacıyla da kullanılmaktadırlar (Kocadayıoğulları, 2022). Günlük 20 litreden az süt verimi olan ineklerin yemlerinin %60-70'i, günlük 20-30 litre arasında süt veren ineklerin yemlerinin %55-60'ı ve günlük 30 litreden fazla süt veren ineklerin yemlerinin ise %45-55'inin kaba yemlerden oluşturulması gerektiği bildirilmektedir (Tekce ve Gül, 2014). Kaba yemlerde bulunan nişasta, şeker ve organik asitler gibi yapısal olmayan karbonhidratlar hayvanların gastro-

intestinal sisteminde kolayca sindirilebilmektedir, ancak selüloz, hemiselüloz, pektin ve lignin ve gibi hücre duvarı unsuru olan yapısal karbonhidratlar hayvanlar tarafından kolaylıkla sindirilemezler (Türkmen ve ark., 2011). Ancak ruminant hayvanlarda kompleks yapıda olan bu karbonhidratların sindirimi rumendeki mikroorganizmalar vasıtasıyla gerçekleşmektedir (Xu ve ark., 2021). Kaba yemlerde yüksek oranda bulunan kompleks karbonhidratlar, çoğunlukla rumendeki mikroorganizmalar tarafından mikrobiyal fermentasyona maruz bırakılarak (Baldwin ve Alison, 1983) asetik asit, bütirik asit ve propiyonik asit gibi uçucu yağ asitleri (Argov-Argaman ve ark., 2012) ile metan (CH_4)'a dönüştürülmektedirler (Şekil 2). Ayrıca bazı vitaminler (Russell ve Rychlik, 2001; Seshadri ve ark., 2018), karbondioksit, amonyak ve mikrobiyel proteinler de yapısal karbonhidratların mikrobiyal sindirimi sonucu oluşmaktadır (Dijkstra ve ark., 1998; Hall ve Huntington, 2008; Liu ve ark., 2021).



Şekil 2. Rumende karbonhidrat sindirimi (Baldwin ve Alison, 1983; Tekce ve Gül, 2014).

Ruminantlar başta olmak üzere geniş bir hayvan popülasyonunun ihtiyaç duyduğu kaliteli kaba yemler genel olarak çayır-mera alanları ve yem bitkileri üretimi ile temin edilmektedir (Oral, 2024). Çayır ve mera ekosistemleri, dünya karasal alanlarının yaklaşık %24 kadarını kaplamakta olup ormanlardan sonra en büyük ikinci en büyük doğal bitki örtüsü grubunu oluşturmaktadır (Pekağırbaş, 2025). Hayvan beslemede çok önemli kaba yem kaynakları

olmalarının yanı sıra flora ve fauna çeşitliliğinin ve gen kaynaklarının korunması için elzem olan çayır ve mera alanları ile tarımsal faaliyetlerin ve hayvancılığın garantörü olarak tanımlanan “yem bitkileri” (Akman ve ark., 2007) üretimine devam edilmesi, korunması ve geliştirilmesi küresel anlamda önem taşımaktadır (Özkan ve Şahin Demirbağ, 2016). Ancak hızlı nüfus artışı, genç nüfusun köyde yaşamak istememesi, köyden kente göçün hızlanması ve kentleşme, çayır ve mera alanları ile yem bitkileri üretimine uygun arazilerin parasal değerinin artması sonucu imara açılması, iklim değişikliği, tatlı su kaynaklarının azalması, kuraklık, yem bitkileri üretiminin gerektiği hızda yaygınlaşamaması ve kurutma/depolamadaki eksiklikler, çayır mera alanlarının aşırı, düzensiz ve zamansız otlatma ile dejenere olması gibi oldukça çok sayıdaki olumsuz faktör, kaba yem üretiminin miktar ve kalitesini düşürmede etkilidir (Tekce ve Gül, 2014; Özkan ve Şahin Demirbağ, 2016; Aydoğdu ve ark., 2020; Gökkuş ve Coşkun, 2023). Küresel nüfus ve hayvansal protein talebi ile doğru orantılı olarak artan hayvan sayısı ve kaba yem talebinin aksine kaba yem üretiminin miktar ve kalitesi yukarıda bahsi geçen nedenler sebebi ile azalmaktadır. Küresel ölçekte oluşan bu kaba yem açığını kapatabilme hedefi araştırmacıları alternatif yem materyallerinin değerlendirilmesine yönlendirmektedir (Mahieu ve ark., 2021; Horst ve ark., 2022; Abd-El Rahman ve ark., 2024; Bonizzi ve ark., 2025; Kaya ve ark., 2025). Bu kapsamda, orman ve peyzaj ağaçlarının yaprakları, sahip oldukları besin değerleri ve geniş yayılış alanları nedeniyle dikkat çeken potansiyel kaba yem materyalleri arasında yer almaktadır.

Kaba Yem Olarak Orman ve Peyzaj Ağaçları

Orman ekosistemleri yalnızca enerji, kereste, selüloz, avlanma ve temiz hava gibi ekolojik ve ekonomik işlevleriyle değil, aynı zamanda hayvan besleme açısından potansiyel yem kaynakları sunmalarıyla da dikkat çekmektedir (Ülgen ve ark., 2020). Son yıllarda küresel iklim değişikliği ve gıda güvenliği sorunları ele alınırken küresel düzeyde araştırmacı ve politika yapıcılar tarafından çevreyi korumak veya iyileştirmek için tarımsal ormancılığa (agroforestry) daha fazla vurgu yapılmaktadır (Paris ve ark., 2019).

Tarımsal ormancılık, gıda üretebilen, biyolojik çeşitliliği koruyabilen, ekosistem hizmetleri sağlayabilen ve insanların iklim değişikliğine uyum sağlamasına yardımcı olabilen bir dizi teknik olarak tanımlanmıştır (Roberts,

2024). Tarımsal ormancılık toprak verimliliğini, su kalitesini, biyolojik çeşitliliği ve peyzaj estetiğini artırabilir, toprak erozyonunu azaltabilir ve karbonu tutabilir (Mesbahi ve ark., 2025). Solar radyasyon, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi temel mikroklimatik parametreleri düzenleyebilmede etkili olabilen ağaçlar ekosistem işlevlerinin iyileştirilmesi üzerinde katkı sağlayarak önemli bir kaba yem kaynağı olan orman altı mera bitkilerinin gelişimini ve hayvan refahını pozitif yönde etkiler (Bonizzi ve ark., 2025). Bu mikroklimatik etkilerinin ötesinde ağaçlar, çiftlik hayvanları için hem makro ve mikro besin maddelerinin alternatif kaynaklarını sağlayabilecekleri gibi yem kıtlığının olduğu dönemlerde alternatif kaba yem kaynağı olabilmektedirler (Kendall ve ark., 2021). Bilhassa mera kalitesinin azaldığı veya yeşil yem temininde sıkıntı yaşanan dönemlerde bazı ağaç türlerinin yaprakları ruminant rasyonlarına ilave edilerek yem açığının kapatılmasına katkı sağlamaktadır (Aygün ve ark., 2018; Güney, 2019).

Bazı orman ve peyzaj ağaç türlerinin besin madde kompozisyonları, gaz üretim ve anti metanojenik özelliklerini belirlemek için son yıllarda yürütülen bazı çalışma sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Birçok orman ve peyzaj ağacı türünün yaprakları ham protein (HP), kalsiyum, fosfor ve diğer bazı mineral elementler bakımından zengin olup (Gaikwad ve ark., 2017; Gbaguidi ve Sarıçiçek, 2020; Mahieu ve ark., 2021), özellikle kurak ve yem temininin zor olduğu dönemlerde ruminant beslemede destekleyici bir rol üstlenebilmektedir (Simbaya ve ark., 2020; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2020; Pala, 2023). Ağaç yapraklarında bulunan kondanse tanen (KT), saponin ve fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitler enterik CH₄ üretimi, amonyak konsantrasyonu ve *in vitro* protozoa popülasyonlarını düşürerek (Önel ve ark., 2021; Króliczewska ve ark., 2023), proteinin rumende parçalanabilirliğini sınırlayarak, gastro intestinal sistem parazitlerini hafifleterek ve besin kullanımını iyileştirerek hayvan sağlığı ve performansını olumlu etkilemektedirler (Mahieu ve ark., 2021; Dutta ve ark., 2025). Yem tüketimi (YT) ve besin emilimini yavaşlatması gibi nedenlerle tanenlerin, rasyon konsantrasyonlarının %5'in altında tutulabilmesi ile bu olumsuzlukların aksine mikrobiyal protein sentezini artırıp metanogenez baskılayarak rumen fermentasyonunu olumlu etkilediği bildirilmektedir (Keser ve Kutay, 2021). Düşük ila orta düzeyde tanen ve saponin içeren ağaç yaprakları rumende CH₄ ve amonyak üretimini düşürme, azot kayıplarını azaltarak azot kullanım verimliliğini artırma, rumen fermentasyonunu

iyileştirme yeteneğini gösterebilmektedirler (Akinbode ve ark., 2024; Bhatt ve ark., 2024). Ayrıca tanen ve saponinler, fibrolitik bakterilerle ilişkili protozoaları baskılayarak (Patra ve Saxena, 2010) YT, sindirilebilirlik derecesi ve rumen fermentasyonu özelliklerini iyileştirebilmektedirler (Vandermeulen ve ark., 2018; Cherdthong ve ark., 2019).

Orman alanları, tarımsal üretimden elde edilen sap, saman ve anız artıkları gibi geleneksel yem kaynaklarının ötesinde, yüksek biyokütle verimine sahip ağaç ve çalı türlerinin yaprakları aracılığıyla değerli yem hammaddeleri sağlayabilen ekolojik sistemlerdir (Özkan ve Şahin Demirbağ, 2016). Bu nedenle, orman alanlarının yalnızca klasik ormancılık faaliyetleri için değil, hayvansal üretimi destekleyecek şekilde yem kaynağı olarak da değerlendirilmesi, sürdürülebilir tarım ve hayvancılık açısından önemli bir yaklaşım olarak görülmektedir. Son yıllarda akasya (*Robinia pseudoacacia*), okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*), kayın (*Fagus orientalis*), söğüt (*Salix alba*) ve çınar (*Platanus orientalis*) gibi bazı ağaç türlerine ait yaprakların, alternatif kaba yem materyali olma yeteneğini değerlendirme amaçlı yem değeri, sindirilebilirliği ve antimetanojenik özellikleri bakımından çeşitli araştırmalarda incelenmektedir (Özdemir ve Kaya, 2020; Bekele ve ark., 2022; Pala, 2023; Erer, 2025; Kaya ve ark., 2025). Örneğin süt sığırları rasyonlarında kaba yem kaynağı olarak kullanılan kuru çayır otu yerine gazel formundaki kayın ağaç (*Fagus orientalis*) yapraklarının kullanılabileceği Kaya ve ark. (2025) tarafından rapor edilmektedir. Keçi rasyonlarına Mataveia ve ark. (2019), kurşun ağacı ya da ada mimozası (*Leucaena leucocephala*) ve moringa (*Moringa oleifera*) yaprakları ilavesinin; Phengsavanh ve ark. (2017) ise arjuna (*Terminalia arjuna*) yaprakları ilavesinin canlı ağırlık artışı (CAA), büyüme hızı ve üreme performansı üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu bildirmektedirler. Ruminant rasyonlarına İtalyan çimi yerine %2 söğüt (*Salix alba*) yaprakları takviyesinin sindirilebilirliği, metabolik enerji (ME), laktasyon için net enerjiyi (NEL) ve nispi yem değerini (NYD) artırdığı görülmüştür (Gürsoy, 2023). Leitanthem ve ark. (2022), rasyona *Moringa oleifera* yaprakları ilavesinin protein takviyesi olarak kullanılabileceği, sindirilebilirlik ve rumen fermentasyon parametrelerine olumsuz bir etkiye neden olmadan CH₄ emisyonunun azaltılabileceği, sürdürülebilir hayvansal üretime ulaşmak ve küresel ısınmayı hafifletmek için %10-20 düzeyine kadar *Moringa oleifera* yaprağı kullanımının önerilebileceği sonucuna varmışlardır.

Afrika yabani zeytini (*Olea africana*) ve akasya (*Acacia lahai*) kuru yapraklarının çayır otu yerine farklı oranlarda (%0, 35, 65 ve 100) koyun rasyonlarına ilavesinin günlük kuru madde (KM) tüketimi, besin madde sindirilebilirliği, CAA ve yemden yararlanma oranı (YYO)'nı artırdığı; ayrıca kesim ağırlığı, sıcak karkas ağırlığı, karkas randımanı ve göz kası alanı gibi temel karkas parametrelerinde iyileşme gözlenmiştir. Yaprak takviyeli rasyonlar ekonomik açıdan daha yüksek net gelir sağlamış ve dolayısıyla kuru dönemlerde yem kıtlığının yaşandığı bölgelerde söz konusu çok amaçlı ağaç türlerinin korunması ve yem kaynağı olarak değerlendirilmesinin küçük ölçekli çiftçiler açısından sürdürülebilir ve uygulanabilir bir besleme stratejisi olduğu ortaya konulmuştur (Abraham, 2023). Bekele ve ark. (2022), koyun rasyonlarına akasya (*Acacia nilotica*) yaprağı ilavesinin YT, CAA ve karkas verimini artırdığını, CH₄ üretimini azalttığını, rumen ve kan parametrelerinde ise olumsuz bir değişikliğe neden olmadığını ve en iyi sonuçların günlük 319.2 g (%61.3) yaprak kullanım düzeyinde olduğunu bildirmektedirler. Öte yandan koyun rasyonlarında akasya ağaç yapraklarının yonca kuru otu yerine ikame edildiği çalışmada yaprakların yüksek KT içeriği, rasyona katılacak yaprakların uygun dozunu belirlemeyi güçleştirmiş ve akasya ağaç yapraklarının koyun performanslarına etkilerini belirlemek için *in vivo* denemelere ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır (Bakır ve ark., 2023). Koyun rasyonlarına yonca kuru otu yerine farklı (% 0, 10, 20, 30) oranlarda sığla ağaç (*Liquidambar orientalis*) yapraklarının ilave edildiği çalışmada, özellikle %20 oranındaki yaprak kullanımı ile gaz ve CH₄ üretimlerinin düştüğü, mikrobiyal protein ve mikrobiyal protein sentez etkinliğinin arttığı bildirilmiştir (Selçuk ve ark., 2024). Ancak Bakır ve ark., (2023) çalışmasına benzer şekilde sığla ağaç yapraklarının içerisinde bulunan yüksek KT miktarı nedeniyle koyun rasyonlarında uygun dozun belirlenmesi için *in vivo* çalışmalarla desteklenmesine gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Doğal mera samana dayalı beslenen ve konsantre karma yem yerine dereceli (112.5 g, 225, 337.5 ve 450 g) seviyelerde *Ficus thonningii* kurutulmuş yaprakları (FTL) takviye edilen yerel Washera kuzuları için sonuçlar FTL'nin HP (126,9 g/kgKM) ve lif (377–426 g/kgKM) için iyi bir kaynak olduğunu göstermenin yanı sıra daha yüksek seviyeli FTL takviyesinin toplam KM, organik madde (OM) ve lif tüketimini artırdığını, ancak uygulamalar arasında HP ve ME alımlarında önemli bir fark olmadığını göstermektedir. *Ficus*

thoningii yapraklarının Washera koyunlarının saman bazlı beslenmesinde alternatif HP takviyesi olarak kullanılabileceği ve performansı artırmak için %75'e kadar konsantre karması yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Mekuriaw ve ark., 2018). Ardeshiri vd. (2022), kuzu rasyonlarında yonca kuru otu yerine %0, 7.5 ve 22.5 oranlarında siris ağaç (*Albizia lebbeck*) yaprakları kullanımının KM, OM, nötr deterjan lifi (NDF), asit deterjan lifi (ADF) ve HP sindirilebilirliğini etkilemediğini bildirdikleri çalışmada, rumen amonyak konsantrasyonu, pH ve protozoa popülasyonu ile kan parametrelerinin ağaç yaprağı ilavesi ile değişmediği ve ayrıca besi performansı parametreleri olan YT, CAA, YYO, karkas parçalarının ortalama ağırlığı ve boyutu gibi bazı karkas özellikleri ve kuzuların beslenme düzenindeki kas dokusunun kolorimetrik indekslerinin deneysel diyetlerden etkilenmediğini tespit etmişlerdir. Kuzu besisinde yonca yerine ağaç yaprakları kullanımının, çalışmada incelenen özellikler üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı ve bu nedenle, siris ağaç yapraklarının kuzu besisi için önerilebilir olduğu rapor edilmiştir. Mahrous ve ark. (2021), mikrobiyal inokulant katkılı hurma (*Phoenix dactylifera*) yaprağı silajının kuzu rasyonlarına %40 seviyesinde ilave edilmesinin KM tüketimi, sindirilebilirlik, CAA, YYO ve karkas verimini artırdığını ve besin değeri yüksek, ekonomik açıdan avantajlı bir kaba yem kaynağı olduğunu belirtmektedirler.

Akasya (*Robinia pseudoacacia*), okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*) ve söğüt (*Salix alba*) yapraklarının %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında kuzu rasyonlarına eklenmesiyle, en yüksek HP (%19.18) ve KT; (%14.21) içeriklerine akasya yaprağı sahipken, en yüksek ham yağ (%11.29) içeriğine okaliptus yaprağı sahip olmuştur. %10.56 ME ve %68.43 organik madde sindirim (OMS) değerleriyle söğüt yaprağı dikkat çekmiştir. Okaliptus yaprağı sindirimi %62.37'den %67.42'ye artırırken, CH₄ üretimini %17.91 ml'den %16.30 ml'ye düşürmüştür. Söğüt yaprağı mikrobiyal protein sentezini ise %26.59'dan %32.63'e yükseltmiş, CH₄ emisyonunu %15.46'dan %14.02'ye düşürmüştür. Rasyona okaliptus yaprağı ilavesi amonyak azot (NH₃-N) üretimini 56.59 mg/100 ml'den 38.31 mg/100 ml'ye düşürerek en yüksek düşüşü göstermiştir. Söğüt yaprağı ilavesinde NH₃-N üretimi, 45.89 mg/100 ml'den 48.67 mg/100 ml'ye kadar değişen oranlarda artış göstermiştir. Ruminant beslenmesinde okaliptus ve akasya yapraklarının CH₄ emisyonlarını azaltma, mikrobiyal protein sentezini artırma ve anti-proteolitik etki gösterme

potansiyeli taşıdığı, söğüt yaprağının ise anti-metanojenik etki gösterdiği ancak anti-proteolitik etki göstermediği tespit edilmiştir (Erer, 2025). Benzer şekilde ruminant beslenmesinde yaygın olarak kullanılan buğday samanı, yonca kuru otu ve mısır silajına farklı (%10, 25, 50, 75 ve 100) oranlarda söğüt (*Salix alba*) yaprağı ilavesi *in vitro* denemelerinde CH₄ gazı oluşumunu düşürmüştür. En düşük CH₄ üretimi buğday samanına %50 - %75, yonca kuru otu ve mısır silajına %75 seviyelerinde söğüt yaprağı ilave edilen gruplarda saptanırken, en düşük NH₃-N değeri yonca kuru otuna %50 - %75 seviyelerinde söğüt yaprağı eklenen gruplarda saptanmış, ancak buğday samanına yaprak ilavesi ile NH₃-N değeri yükselmiştir. Söğüt ağacı yaprağı ilavesi ME değerleri ile *in vitro* OMS derecesini buğday samanında artırırken, yonca kuru otu ve mısır silajında düşürmüştür (Oruç ve Avcı, 2018).

Horst ve ark. (2022) çeşitli okaliptus ağaç türleri yapraklarının kimyasal bileşim, sindirilebilirlik ve gaz üretimi bakımından farklılık göstermesi nedeniyle geniş getiren hayvanlar için yem olarak potansiyel besin değerlerinin de farklılık gösterdiğini ancak yaprakların kimyasal bileşimindeki mevsimsel farklılıkların küçük olup, her dem yeşil ağaçlardan beklenebileceği gibi, sınırlı biyolojik ve besinsel öneme sahip olduğunu belirledikleri çalışmada okaliptus ağaç yapraklarının geniş getiren hayvanlar için yem olarak sınırlı enerji ve protein değerine sahip olduğunu bildirmektedirler. Orkide (*Bauhinia purpurea*), okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*), sarı zakkum (*Thevetia peruviana*) ve karabiber (*Schinus molle*)'nın potansiyel yem değeri ve *in vitro* gaz üretim (İVGÜ) kinetiklerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada (Boğa, 2014), sarı zakkum ağaç yaprakları hem en düşük KT, NDF ve ADF içeriklerine hem de en yüksek İVGÜ değerlerine sahip olmuştur. Öte yandan, en düşük toplam gaz üretimi orkide ağacı yaprakları fermentasyonunda üretilmiştir. Düşük KT ve lif içeriğinin, küçükbaş hayvanların sarı zakkum ağaç yapraklarını severek tüketmelerini ve kolayca sindirim sağlayabileceğini düşündürmektedir. Hassan (2015), bazı ağaç yapraklarının potansiyel besleme değerini belirlediği çalışmada, en yüksek protein içeriği *Robinia pseudoacacia*, en düşük KT içeriği *Eucalyptus camaldulensis* ve en yüksek metan üretimi *Populus euphratica* ağaç yapraklarından elde edilmiştir. Çalışmaya konu olan ağaç yapraklarının protein ve ME içeriği ile OMS derecesinin ruminant hayvanların yaşam ve verim payını karşılayacak düzeyde olduğu ancak KT içeriğinin zararlı etkilerinin gözardı edilmemesi gerektiği ve KT içeriği %2'den

düşük olan ağaç yapraklarının hayvanlarda gaz oluşumunu önlemek ve metan emisyonunu azaltmak için kullanılabileceği bildirilmektedir.

Gazel formundaki kayın (*Fagus orientalis*) yapraklarının süt sığırı rasyonlarında kuru çayır otu yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ikame edilmesi sonucunda, *in vitro* gerçek KM sindirimi, mikrobiyal protein, mikrobiyal protein sentez etkinliği, gerçek sindirim derecesi değerleri iyileşirken propiyonik ve bütirik asit seviyeleri azalmıştır. Bu nedenle, süt sığırı rasyonlarında kaba yem kaynağı olarak kuru çayır otu yerine gazel formundaki ağaç yapraklarının kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Kaya ve ark., 2025). Doğal olarak yetişen, akasya, kayın, meşe, söğüt ve kavak ağaçlarına ait gazel formundaki yapraklar arasında en yüksek HP içeriği ve en düşük NDF, ADF ve ADL değerleri akasya yaprağında; en yüksek ME, NEL, OMS ve en düşük KT içeriği kayın yaprağında olduğu görülen çalışmada, meşe yaprağı hariç incelenen diğer yaprakların en iyi kaliteye sahip oldukları tespit edilmiş ve araştırma materyali ağaç yapraklarından kayın yaprağının, ruminant hayvan beslemede alternatif kaba yem olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Özdemir ve Kaya, 2020). Mısır silajına farklı (%0, 5 ve 10) seviyelerde akasya yaprağı (*Robinia pseudocacia*) ilavesinin HP, HK ve ADF oranlarını artırıp NDF oranı ile pH değerlerini düşürdüğü ve silaj kalitesini iyileştirdiği bildirilmiştir (Yıldız, 2024). Dut, akasya ve çınar ağaç yapraklarının KMSD ve HP değerleri açısından değerlendirilmesinde dut ve akasya ağaç yapraklarının iyi kalitede kaba yem kaynağı olabileceği fakat çınar ağacı yapraklarının bu özellikler açısından yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır (Pala, 2023). Bazı baklagil ağaç (top akasya, pembe çiçekli akasya, yalancı akasya, gülibrişim, kurşun, gladiçya ve keçiboynuzu) yapraklarının HP içeriklerinin %8.43 ile 18.88 arasında değiştiği ve en yüksek protein içeriğine pembe çiçekli akasya yapraklarının sahip olduğu; en yüksek gaz ve CH₄ üretiminin gladiçya ve gülibrişim, en düşük CH₄ üretiminin ise top akasya yapraklarında olduğu; ME değerlerinin 5.69 MJ/kg ile 7.34 MJ/kg değerler arasında değiştiği ve en yüksek ME'nin gülibrişim yaprağında olduğu; en düşük SD keçiboynuzu yaprağında, en yüksek SD gülibrişim yaprağında olduğu belirlenmiş ve baklagil ağaç yapraklarının ruminant hayvanların yaşama ve verim payı protein ve ME ihtiyacını karşılayacak potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Başer ve Kamalak, 2020). Öte yandan Kurt (2022), gladiçya yapraklarının alternatif kaba yem kaynağı olabileceği, yüksek KT içeriği nedeniyle kullanımına dikkat

edilmesi gerektiğini bildirmektedir. Farklı baklagil (*Leucaena leucacephala*, *Robinia pseudoacacia*, *Colutea arborescens*, *Cercis siliquastrum*, *Wisteria sinensis*) ağaçlarından toplanan yaprakların besin madde içeriklerinin belirlenmesinin amaçlandığı çalışmada (Boğa ve ark., 2022), baklagil yapraklarının birinci hasadında HP değerleri ikinci hasada göre sayısal olarak daha fazla çıkmıştır. İstatistik analizinde birinci dönemde hasat edilen *Robinia pseudoacacia* HP değerinin (%18,16) en fazla olduğu bulunarak besin madde içerikleri bakımından baklagil ağaç yapraklarının ruminant hayvan beslemede kullanılabileceği bildirilmektedir. Zebari (2015), türün ağaç yapraklarının kimyasal kompozisyonu ve potansiyel besleme değerine olan etkisini belirlemek amacıyla yürüttüğü çalışmada akdut (*Morus alba*), mazı meşesi (*Quercus infectoria*) ve söğüt (*Salix alba*) türlerine ait yaprakların hayvan üretimi üzerinde hiç bir olumsuz etkisi olmadığını belirtmenin çok mümkün olmadığını ancak menengiç (*Pistacia terebinthus*), akasya (*Robinia pseudoacacia*), gladiçya (*Gleditsia triacanthos*), defne (*Laurus nobilis*) ve keçiboyunu (*Ceratonia siliqua*) türlerinden elde edilen yaprakların, özellikle yüksek düzeyde KT içermeleri nedeniyle, hayvan performansı ve besin madde kullanımına yönelik olumsuz etkiler oluşturma ihtimalinin daha yüksek olduğunu bildirmektedir. Bu nedenle, söz konusu yaprakların ruminant rasyonlarına dâhil edilmeden önce anti-besleyici özelliklerini azaltmak amacıyla polietilen glikol (PEG) ile desteklenmeleri veya alkali kimyasal işlemlere tabi tutulmalarını önermektedir.

Tablo 3. Orman ve peyzaj ağaç türlerinin besin madde kompozisyonu, gaz üretim ve anti metanojenik özellikleri (1)

Ağaçlar	KM	HK	HY	HP	ADF	NDF	KT	OMS	ME	Gaz	CH4	Literatür
Okaliptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	94.87	8.37		12.65	30.17	39.64	1.73					Akçıl ve Denek, 2013
Doğu Anadolu Meşesi (<i>Quercus brantii</i>)	47.77	8.05	4.20	5.51	30.09	42.51	1.84					Kılıç, 2015
Mazi Meşesi (<i>Quercus infectoria</i>)	44.71	8.93	3.20	6.69	37.43	44.51	3.10					Kılıç, 2015
Soğut ağacı (<i>Salix alba</i>)	94.87	9.15		15.49	27.96	33.24	10.5	56.19	8.95			Oruç ve Ayvı, 2018
Akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	92.09	12.17	4.31	10.43	16.15	25.53	13.87	38.45	5.02	101.6	15.05	Özdemir ve Kaya, 2020
Kavak (<i>Populus L.</i>)	91.47	15.98	3.09	5.37	19.42	32.73	12.21	45.89	6.44	155.0	22.85	Özdemir ve Kaya, 2020
Kayın (<i>Quercus orientalis Ljedyk</i>)	95.40	10.64	3.85	6.75	24.99	38.22	1.38	50.02	7.03	176.7	27.05	Özdemir ve Kaya, 2020
Meşe (<i>Quercus L.</i>)	79.21	8.09	3.34	10.26	26.45	45.88	2.63	35.43	4.61	86.7	13.50	Özdemir ve Kaya, 2020
Soğut (<i>Salix L.</i>)	91.44	12.49	3.25	7.88	19.94	37.87	12.91	39.98	5.41	116.7	16.40	Özdemir ve Kaya, 2020
Akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	43.84	10.58	5.63	17.54	29.50	39.29		51.48	7.75			Demirölç, 2019
Dişbudak (<i>Fraxinus L.</i>)	62.18	8.18	7.88	8.08	30.93	38.95		54.33	11.58			Güney, 2019
Meşe (<i>Quercus L.</i>)	57.33	4.75	4.35	7.68	35.03	43.28		57.05	8.48			Güney, 2019
Soğut (<i>Salix alba</i>)	32.97	4.42	8.23	14.71	33.09	50.21	1.59	60.86	8.41			Şimşek ve Kamalak, 2019
Karaağaç (<i>Ahnus glutinosa</i>)	33.47	6.99	5.68	18.40	22.73	40.35	10.28	67.85	9.07			Şimşek ve Kamalak, 2019
Sandal Ağacı (<i>Arbutus andrachne</i>)	97.89	6.37		5.61	42.62	50.12	7.42	44.27	6.94			Tatlıyer ve ark., 2019
Top akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	92.89	8.95	1.16	13.52	29.32	51.79	12.10	60.67	6.06	102.0	11.56	Bağcı ve Kamalak, 2020
Pembe çiçekli akasya (<i>Robinia hispida</i>)	93.17	7.44	2.29	18.88	33.07	49.53	13.66	59.94	6.89	110.4	13.54	Bağcı ve Kamalak, 2020
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	93.68	10.80	2.99	16.83	31.36	48.12	6.59	58.50	7.16	116.4	16.78	Bağcı ve Kamalak, 2020
Gülbirşim (<i>Albizia julibrissin</i>)	93.68	9.20	3.14	10.20	25.27	44.70	6.49	65.25	7.34	140.4	19.48	Bağcı ve Kamalak, 2020
Kurşun ağacı (<i>Leucaena leucocephala</i>)	92.51	12.35	3.76	15.54	27.00	51.32	8.60	60.82	7.17	112.8	12.48	Bağcı ve Kamalak, 2020
Gladiyus (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	94.46	8.14	3.74	8.43	32.56	46.82	8.25	62.40	7.11	135.2	20.94	Bağcı ve Kamalak, 2020
Keçiboynuzu (<i>Cerconia siliqua</i>)	92.48	4.87	0.88	9.90	47.43	56.38	3.75	37.36	5.69	104.4	11.92	Bağcı ve Kamalak, 2020
Kurşun ağacı (<i>Leucaena leucocephala</i>)	92.44	9.49	7.13	11.24	27.70	32.44						Bağcı vd, 2022
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	92.61	10.22	7.32	16.49	23.61	28.71						Bağcı vd, 2022
Çim Mor salıkmı (<i>Wisteria sinensis</i>)	91.37	10.66	3.91	12.10	21.52	26.29						Bağcı vd, 2022
Gladiyus (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	89.70	18.86	5.10	16.45	17.23	22.73						Bağcı vd, 2022
Erguvan (<i>Cereis siliquastrum</i>)	92.21	6.76	6.77	13.22	18.04	23.58						Bağcı vd, 2022
Gladiyus (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	94.57	9.75	6.78	13.05	29.34	43.28	16.65	56.05	7.52	162.9		Kurt, 2022
Akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	38.04	16.61		14.54	29.45	46.72						Pala, 2023
Çınar (<i>Platanus orientalis</i>)	38.88	12.10		8.97	48.29	58.00						Pala, 2023
Akasya (<i>Robinia pseudocacia L.</i>)	94.41	6.15	4.23	21.34			12.55		8.58			Bakır ve ark., 2023

KM: kuru madde (%), HK: Ham kül (%), HY: Ham yağ (%), HP: ham protein (%), ADF: asit deterjan fiber (%), NDF: nötral deterjan fiber (%), KT: Kondanase tane (%), OMS: organik madde sindirimi (%), ME: metabolik enerji (MJ/kg KM), Gaz (ml/g KM), metan (ml/g KM)

Tablo 3. Orman ve peyzaj ağaç türlerinin besin madde kompozisyonu, gaz üretim ve anti metanojenik özellikleri (II)

Ağaçlar	KM	HK	HY	HP	ADF	NDF	KT	OMS	ME	Gaz	CH ₄	Literatür
Teak (<i>Tectona grandis</i>)		17.5	3.04	7.62	51.4	71.3			5.57	131.6	7.61	Abd-El Rahman vd. 2024
Gambur (<i>Gmelina arborea</i>)		8.4	5.58	19.7	28.8	56.4			6.05	128.5	7.8	Abd-El Rahman vd. 2024
Akasya (<i>Acacia mangium</i>)		7.1	4.14	14.8	33.6	55.4			5.03	108.3	6.96	Abd-El Rahman vd. 2024
Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i>)	94.82	4.79	3.91	11.82			12.73		2.04	73.78		Selçuk ve ark., 2024
Akasya (<i>Robinia pseudocacia</i> L.)	93.00	8.00		18.40	26.20	30.50						Yıldız, 2024
Karabiber (<i>Schinus molle</i>)	31.48	8.20	4.93	9.61	31.69	32.33	10.56	36.2	5.3	92.5		Boğa, 2014
Ortide (<i>Bauhinia purpurea</i>)	35.83	5.65	1.62	13.03	43.81	45.63	9.26	40.3	5.9	108.0		Boğa, 2014
Okaliptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	31.67	8.54	0.80	11.81	38.82	41.13	6.32		5.5	93.0		Boğa, 2014
San zakkum (<i>Thevetia peruviana</i>)	32.29	12.22	5.60	8.65	24.30	28.83	1.67		8.0	190.0		Boğa, 2014
Niege (<i>Quercus</i> L.)	50.25	6.83	4.42	6.80	34.43	47.65			7.51	130.28	16.78	Kaya, 2021
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	94.20	6.06	6.35	15.82	31.60	36.86	4.74	56.76	8.18	158.85	21.10	Zebari, 2015
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	93.09	14.74	5.62	19.63	20.78	38.69	6.06	56.61	7.80	139.50	24.75	Zebari, 2015
Gladıya (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	94.56	10.78	8.63	12.18	27.94	43.43	11.72	54.82	8.42	151.45	28.00	Zebari, 2015
Keciboynuzu (<i>Ceratonia siliqua</i>)	91.79	5.21	3.05	12.64	32.85	51.45	6.03	47.22	5.53	102.45	16.25	Zebari, 2015
Menengiç (<i>Pistacia terebinthus</i>)	93.35	7.34	8.23	8.56	32.97	39.44	14.79	41.16	5.75	77.20	8.45	Zebari, 2015
Defne (<i>Laurus nobilis</i>)	93.56	6.44	8.08	13.18	49.68	59.62	6.34	47.96	6.91	105.40	17.45	Zebari, 2015
Defne (<i>Laurus nobilis</i>)	40.21	4.12	6.57	10.94	26.65	42.23	5.77	46.28	7.81	133.95	15.20	Yavuz, 2021
Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i>)	43.40	5.61	5.26	10.25	32.47	49.66	16.19	45.27	7.25	124.5	11.45	Yavuz, 2021
Gülhüşün (<i>Albizia julibrissin</i>)	24.28	5.57	3.85	25.94	18.81	31.25	2.12	65.72	10.24	200.15	24.90	Yavuz, 2021
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	37.23	7.68	4.74	18.75	16.20	28.69	13.83	55.81	8.68	154.75	11.70	Yavuz, 2021
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	36.92	6.75	5.16	19.81	19.83	29.68	14.14	56.68	8.98	161.45	17.50	Yavuz, 2021
Sandal Ağacı (<i>Arbutus andrachne</i>)	39.45	4.75	3.79	9.95	26.38	41.37	5.08	51.21	7.95	162.30	15.00	Yavuz, 2021
Sedir (<i>Cedrus libani</i>)	36.65	4.27	6.36	7.94	30.49	45.17	15.12	46.39	7.77	141.50	13.20	Yavuz, 2021
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	90.64	14.09	4.35	16.23	19.51	29.97	6.11	58.22	7.70	155.25	31.05	Hassan, 2015
Okaliptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	94.89	17.43	10.82	11.08	24.31	28.73	1.65	51.64	7.61	115.00	22.60	Hassan, 2015
Fıstık kavacağı (<i>Populus euphratica</i>)	97.25	15.31	9.92	12.80	22.14	26.07	3.43	70.15	10.64	222.50	43.5	Hassan, 2015
Adı dişliğün (<i>Prunus excelisor</i>)	39.3	8.46	9.87	14	30.1	39.7		58.1		197.7	40.6	Bonizzi vd. 2025
Karadut (<i>Morus nigra</i>)	28.3	7.06	1.96	20.5	28.2	34.5		76.8		167.8	38.3	Bonizzi vd. 2025
Yalancı akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	34.7	6.91	3.01	22.4	34.5	45.3		53.2		145.2	38.1	Bonizzi vd. 2025
Ağlayan söğüt (<i>Salix babylonica</i>)	30.9	9.2	2.46	20	38.9	49.4		60.4		183.7	42.6	Bonizzi vd. 2025
Adı karaağaç (<i>Ulmus minor Mill</i>)	40.5	10.67	2.4	15.1	33.3	57.2		57.2		134.4	31.3	Bonizzi vd. 2025

KM; kuru madde (%), HK; Ham küll (%), HY; Ham yağ (%), HP; ham protein (%), ADF; asit deterjan fiber (%), NDF; nötröl deterjan fiber (%), KT; Kondanse taren (%), OMS; organik madde sindirimi (%) ME; metabolik enerji (MJ/kg KM), Gaz (ml/g KM), metan(ml/g KM).

Tablo 3. Orman ve peyzaj ağaç türlerinin besin maddesi kompozisyonu, gaz üretim ve anti metanojenik özellikleri (III)

Ağaçlar	KM	HK	HY	HP	ADF	NDF	KT	OMS	ME	Gaz	Metan	Literatür
<i>Eucalyptus astringens</i>	92.1	5.69	6.53	7.02	22.3	31.3		69.5	5.69	46.6		Horst vd. 2022
<i>Eucalyptus leucoxylon</i>	91.3	5.35	5.12	7.51	24.6	37.5		64.4	5.63	48.94		Horst vd. 2022
<i>Eucalyptus sideroxylon</i>	92.4	5.22	4.57	6.65	20.8	29.5		72.7	5.34	61.48		Horst vd. 2022
<i>Eucalyptus lehmannii</i>	91.4	5.05	9.06	5.40	18.3	25.2		75.1	6.20	48.11		Horst vd. 2022
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	90.3	7.35	5.81	8.62	25.3	35.7		66.1	6.07	52.00		Horst vd. 2022
Mango (<i>Mangifera indica</i>)		8.12	4.30	11.08	37.8	58.8	9.33	8.2	182.2	35.6		Deuri ve ark., 2020
Akasya (<i>Acacia nilotica</i>)		6.92	4.05	18.74	23.2	37.2	8.84	8.24	183.4	35.6		Deuri ve ark., 2020
Guava (<i>Psidium guajava</i>)		7.68	3.10	11.18	29.9	50.3	10.68	8.29	185.9	35.5		Deuri ve ark., 2020
<i>Cassia fistula</i>		6.13	4.90	24.29	27.2	44.8	3.49	8.42	191.2	36.0		Deuri ve ark., 2020
<i>Eucalyptus globules</i>		5.62	6.55	15.86	20.3	56.4	0.89	8.42	191.3	36.1		Deuri ve ark., 2020
Kağıt (<i>Phoenix dactylifera</i>)		9.05	5.30	13.28	51.0	59.5	2.30	8.44	192.2	35.8		Deuri ve ark., 2020
<i>Setima wallichii</i> , _s	31.9	3.6	3.1	8.6	41.7	56.2	4.8		18.3	4.1		Choudhary vd. 2022
<i>Ficus hirta</i>	36.2	13.4	2.6	13.5	28.1	51.3	0.3		69.1	15.2		Choudhary vd. 2022
<i>Portia roxburghii</i>	31.8	4.5	3.5	14.1	37.2	61.2	3.2		29.8	4.7		Choudhary vd. 2022
<i>Schefflera wallichiana</i>	32.7	9.4	3.3	9.7	17.1	43.3	0.1		82.0	9.4		Choudhary vd. 2022
<i>Exbucklandia populnea</i>	34.6	3.7	1.9	10.5	27.5	52.8	2.6		73.7	7.8		Choudhary vd. 2022
<i>Ficus auriculata</i>	34.9	11.0	2.3	10.9	43.4	55.8	1.7		40.4	9.4		Choudhary vd. 2022
<i>Ficus hookeri</i>	39.1	15.4	3.7	10.2	37.1	55.1	4.9		33.7	7.8		Choudhary vd. 2022
<i>Prunus nepalensis</i>	28.4	3.3	2.2	30.8	19.4	44.3	5.0		79.4	11.8		Choudhary vd. 2022
<i>Ficus elastica</i>	38.2	7.0	4.8	9.4	42.9	54.8	1.1		45.8	6.9		Choudhary vd. 2022
<i>Terminalia tomentosa</i>		7.94	4.81	10.42	30.91	47.96			5.83	111.8		Dutta ve ark., 2025
<i>Bauhinia variegata</i>		7.43	2.32	15.88	30.80	40.73			6.21	114.5		Dutta ve ark., 2025
Kuruşun (<i>Leucaena leucocephala</i>)		6.77	4.48	22.02	22.02	32.62			6.49	111.8		Dutta ve ark., 2025
<i>Butia monosperma</i>		12.84	4.33	15.42	33.74	42.78			5.86	104.6		Dutta ve ark., 2025
Akasya (<i>Robinia pseudacacia</i>)		9.07	2.67	19.18				14.21	62.2	71.00		Eret, 2025
Okaliptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)		8.53	11.29	16.63				1.10	48.2	42.06		Eret, 2025
Soğut (<i>Salix alba</i>)		5.56	6.02	14.73				3.08	68.4	93.84		Eret, 2025
İhanur (<i>Tilia rubra</i>)				17.34	26.68	41.98						Oyrazıcı ve Açıkbaz, 2020

KM: kuru madde (%), HK: Ham kül (%), HY: Ham yağ (%), HP: ham protein (%), ADF: asit deterjan fiber (%), NDF: nötral deterjan fiber (%), KT: Kondanse tane (%), OMS: organik madde sindirimi (%) ME: metabolik enerji (MJ/kg KM), Gaz (ml/g KM), metan(ml/g KM).

Tablo 3. Orman ve peyzaj ağaç türlerinin besin madde kompozisyonu, gaz üretim ve anti metanojenik özellikleri (IV)

Ağaçlar	KM	HK	HY	HP	ADF	NDF	KT	OMS	ME	Gaz	Metan	Literatür
Akasya (<i>Acacia nilotica</i>)	6.93	4.33	15.9	21.4	33.6	0.46	81.9	153	15.3			Pal vd. 2015
Sakız akasyası (<i>Acacia senegal</i>)	9.71	4.92	14.1	16.8	31.0	0.07	66.3	111	13.5			Pal vd. 2015
Akasya (<i>Acacia tortilis</i>)	5.52	5.21	15.3	21.5	32.2	4.72	76.8	112	10.5			Pal vd. 2015
Cennet ağacı (<i>Albizia excelsa</i>)	9.04	5.89	14.6	21.9	36.9	0.19	73.9	89.1	13.6			Pal vd. 2015
Siris (<i>Albizia lebbek</i>)	13.1	5.55	18.4	20.2	32.0	0.13	74.6	106	9.37			Pal vd. 2015
Jackfruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	13.9	4.31	13.5	25.4	42.6	2.41	81.5	148	13.2			Pal vd. 2015
Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	12.2	6.07	14.9	23.4	32.7	0.30	74.5	65.3	11.1			Pal vd. 2015
Bambu (<i>Bambusa</i> sp.)	11.2	2.79	13.2	33.4	52.3	0.09	46.4	65.8	7.93			Pal vd. 2015
Hut inciri (<i>Ficus benghalensis</i>)	12.6	4.90	12.0	30.1	41.5	1.70	50.1	65.1	8.64			Pal vd. 2015
Kutsal incir (<i>Ficus religiosa</i>)	12.6	4.37	12.5	29.1	40.2	0.21	75.7	122	10.5			Pal vd. 2015
Kursun (<i>Leucaena leucocephala</i>)	11.4	5.15	17.4	20.2	30.3	0.53	55.8	125	10.2			Pal vd. 2015
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	12.7	5.60	10.6	21.1	36.4	1.20	81.6	128	12.1			Pal vd. 2015
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	13.1	7.46	29.6	12.4	26.6	1.20	69.4	88.6	12.0			Pal vd. 2015
Dut (<i>Morus alba</i>)	12.5	6.51	18.4	15.9	28.5	1.45	83.1	130	16.4			Pal vd. 2015
Khejri (<i>Prosopis cineraria</i>)	11.2	6.00	13.4	28.2	43.1	4.32	65.3	52.6	8.4			Pal vd. 2015
Guaava (<i>Psidium guajava</i>)	7.86	4.95	9.59	20.1	32.7	4.66	68.9	58.4	10.3			Pal vd. 2015
Jannun (<i>Syzgium cumini</i>)	6.69	2.43	10.8	24.8	39.4	2.19	69.0	59.4	9.53			Pal vd. 2015
Demirhindi (<i>Tamarindus indica</i>)	6.79	6.66	11.9	30.8	43.1	2.61	72.0	135	15.6			Pal vd. 2015
Akasya (<i>Acacia mellifera</i>)	91.3	13.5		19.5	14.1	31.2						Bayssa vd. 2016
Habeş akasyası (<i>Acacia abyssinica</i>)	91.2	20.5		18.8	13.7	29.7						Bayssa vd. 2016
Nubiya akasyası (<i>Acacia nubica</i>)	91.6	18.6		19.9	15.4	34.1		53.1	7.52	205	58.5	Bayssa vd. 2016
Semsiye akasya (<i>Acacia tortilis</i>)	91.2	16.8		22.9	20.4	45.9						Bayssa vd. 2016
Çöl hurması (<i>Balanitis aegyptica</i>)	91.2	12.8		22.7	17.8	31.2		56.9	8.63	187.5	72.5	Bayssa vd. 2016
<i>Dobera glabra</i>	92.0	13.5		19.1	15.4	48.4		54.6	8.68	241.5	75.5	Bayssa vd. 2016
Meskit (<i>Prosopis juliflora</i>)	89.7	20.2		19.6	10.7	23.8		50.7	7.61	225	61.5	Bayssa vd. 2016
Mıstak ağacı (<i>Salvadora persica</i>)	91.6	12.1		24.9	14.3	26.9		55.3	8.31	158.5	68.0	Bayssa vd. 2016
İleam (<i>Tamarix aphylla</i>)	90.8	18.4		20.5	12.9	40.3		48.6	7.49	161.0	58.5	Bayssa vd. 2016

KM; kuru madde (%), HK; Ham kül (%), HY; Ham yağ (%), HP; ham protein (%), ADF; asit deterjan fiber (%), NDF; nötral deterjan fiber (%), KT; Kondanse tanen (%), OMS; organik madde sindirimi (%) ME; metabolik enerji (MJ/kg KM), Gaz (ml/g KM), metan(ml/g KM).

Tatlıyer ve ark. (2019), amacı hasat zamanının sandal ağacı (*Arbutus andrachne*) yapraklarının kimyasal kompozisyonuna, ME değerine ve kuru madde sindirim derecesi (KMSD) üzerine olan etkisini belirlemek olan çalışmada yaprakların KMSD %28.56 ile % 67.73 arasında değişmiş olduğunu ve en yüksek KMSD'nin Ocak ve Nisan aylarında, en düşüğünün ise Ekim ayında hasat edilen yapraklarda olduğunu bulmuştur. Yaprakların ME içeriğinin % 3.11 ile %9.02 MJ/kg arasında değişmiş olduğu ve en yüksek ME Ocak ayında ve en düşük ME değerinin ise Ekim ayında hasat edilen yapraklarda olduğunu belirtmişlerdir. Farklı ağaç (defne, gülibrişim, söğüt, akasya, sığla, meşe, sedir, sandal) türlerinin yaprak kısımlarının ve 3 farklı dozaj düzeyinde (0.6 ml, 1.2 ml ve 1.8 ml) yaprak ekstraktelerinin yonca kuru otuyla İVGÜ yöntemiyle antimetanojenik potansiyelleri ve kimyasal bileşimlerinin incelendiği çalışma sonuçları, bu ağaç türlerine ait yaprakların taşıdığı besin madde kompozisyonları, in-vitro gaz üretimleri ve antimetanojenik özellikleri ruminant hayvan beslemede kesif veya kaba yemle verilerek alternatif bir yem kaynağı olabileceklerini bildirmektedir. Yaprakların HP içeriklerinin yeterli düzeyde olduğu ancak, KT içeriği %5 ve üzerinde bulunan ağaç yapraklarının (defne, sığla, söğüt, akasya ve sedir) hayvanlara verilirken dikkatli olunması gerektiğine vurgu yapılmıştır (Yavuz, 2021).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma, ruminant beslemede orman ve peyzaj ağaçlarının yapraklarının potansiyelini kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Bulgular, akasya, okaliptus, kayın, sığla ve benzeri türlerin yapraklarının sınırlı oranlarda rasyonlara eklenmesinin, hayvan performansını ve besin alımını olumsuz etkilemeden artırabileceğini göstermektedir. Yapraklarda bulunan tanen, saponin ve fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitler, düşük ve orta düzeyde kullanıldığında metan emisyonlarını azaltmak, azot kayıplarını sınırlamak ve mikrobiyal protein sentezini desteklemek gibi ekolojik faydalar sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, yaprakların besin değeri türler ve mevsimsel koşullara göre farklılık göstermektedir; örneğin akasya yaprakları yüksek protein ve tanen içeriği ile öne çıkarken, kayın yaprakları daha düşük tanen ve yüksek enerji içeriği ile süt sığırları rasyonları için uygun bulunmuştur. Bu nedenle, rasyonlarda ağaç yapraklarının kullanım oranlarının belirlenmesi, güvenli ve etkili bir şekilde uygulanabilmesi için in vivo ve in vitro çalışmalarla

desteklenmelidir. Ayrıca, tanen ve fenolik bileşiklerin olası anti-besleyici etkilerini azaltmak amacıyla PEG veya alkali işlemler gibi uygulamalar önerilmektedir. Sonuç olarak, orman ve peyzaj ağaçlarının yapraklarının ruminant beslemesinde kullanımı, hem kaba yem açığını kapatma hem de üretim maliyetlerini düşürme açısından ekonomik fayda sağlamakta ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek uzun vadeli hayvansal üretimde stratejik öneme sahip bir besleme alternatifi sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abd-El Rahman, M.A., Mohamed, N.H., El-Nile, A.E. *et al.* Vegetative growth response and in vitro evaluation of three multipurpose fodder tree leaves and shrubs as potential feeds for farm animals. *Agroforest Syst* **98**, 3019–3033 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01071-x>
- Abraham, H. (2023). Effect of indigenous browse-tree leaves supplementation on growth performance and carcass characteristics of sheep. *Livest. Res. Rural Dev*, **35**, 7-14.
- Adesogan, A. T., Havelaar, A. H., McKune, S. L., Eilittä, M., & Dahl, G. E. (2020). Animal source foods: sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, **25**, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100325>
- Akçıl, E., & Denek, N. (2013). Investigation of different levels Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) leaves effect on in vitro methane production of some roughages. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, **2**(2), 75-81.
- Akinbode, R. M., Adebayo, K. O., Isah, O. A., Oyewusi, I. K., Oloyede, A. R., & Adebayo, F. D. (2024). Effects of guava leaf (*Psidium Guajava*) supplementation in the diet of ruminant on *in vitro* methane production, degradability and protozoa population. *Nigerian Journal of Animal Production*, 1752-1756. <https://doi.org/10.51791/njap.vi.7294>
- Akman, N., Aksoy, F., Şahin, O., Kaya, Ç. Y., Erdoğan, G., 2007. Cumhuriyetimizin 100. Yılında Türkiye'nin Hayvansal Üretimi. Türkiye Damızlık Sığır Yetiştiriciliği Birliği Yayınları 4: 116 s
- Alçiçek A, Kılıç A, Ayhan V, Özdoğan M, 2010. Türkiye’de Kaba Yem Üretimi ve Sorunları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak, Ankara.
- Alçiçek, A. (2021). Türkiye Kaba Yem Üretimi, Sorunları ve Çözüm Önerileri. III International and XII National Animal Science Conference, 27-28 November 2021, Bursa, Türkiye, 117-125.
- Amad, A. A., & Zentek, J. (2023). The use of *Moringa oleifera* in ruminant feeding and its contribution to climate change mitigation. *Frontiers in Animal Science*, **4**, 1137562. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1137562>

- Ardeshiri, H., Chaji, M. & Khorasani, O. Effects of using siris (*Albizia lebbeck*) foliage in the diet of fattening lambs on nutrient digestibility, blood and rumen parameters, growth performance, and meat quality characteristics. *Trop Anim Health Prod* **54**, 247 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03239-y>
- Argov-Argaman, N., Eshel, O., Moallem, U., Lehrer, H., Uni, Z., & Arieli, A. (2012). Effects of dietary carbohydrates on rumen epithelial metabolism of nonlactating heifers. *Journal of dairy science*, 95(7), 3977-3986. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5089>
- Aydoğdu, M., Yıldız, H., Ünal, E., Özaydın, K. A., Dedeoğlu, F., Ataker, S., & Kuz, V. Ö. (2020). Mera Varlığının ve Mera Durum Sınıflarının Belirlenmesi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Proje Sonuç Raporu.
- Aygün, C., Kara, İ., Oral, H. H., Erdoğan, İ., Atalay, A. K., & Sever, A. L. (2018). Bazı çalı bitkilerinin sezonluk (ilkbahar, yaz, sonbahar) yaprak örneklerindeki makro ve mikro besin elementi içerikleri. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 7(1), 51-65. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bdbad/issue/38577/447680>
- Bakır, T., Selçuk, B., Bilal, Y., & Akçam, H. (2023). Koyun TMR'larına Artan Seviyelerde Akasya Ağaç Yapraklarının Sindirim Derecesi ve Fermentasyon Parametrelerine Etkisi. *Kocatepe Veterinary Journal*, 16(2), 226-233. <https://doi.org/10.30607/kvj.1238271>
- Baldwin RL., Allison MJ., 1983. Rumen metabolism. *J. Anim. Sci.*, 57, 461--477. https://doi.org/10.2527/animalsci1983.57Supplement_2461x
- Başer, A., & Kamalak, A. (2020). Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde yetişen bazı baklagil ağaç yapraklarının yem değerleri ve in vitro fermentasyon özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 940-947. <https://doi.org/10.30910/turkjans.734767>
- Başer, A., Kaya, A., Bakır, T., & Selçuk, B. (2025). Aspir Küspesine (*Carthamus tinctorius*) yem katkı maddesi olarak Çınar Yapağının (*Platanus orientalis* L.) İkamesi; *In Vitro* Gaz Üretimi ve Sindirilebilirlik Üzerine Etkileri. *Journal of Animal Science and Economics*, 4(2), 81-87. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16410013>
- Bayssa, M., Negesse, T., & Tolera, A. (2016). Leaf biomass yield, chemical composition, in vitro gas and methane production and rumen degradation

- characteristics of some woody plant species in afar rangeland of north eastern Ethiopia. *Middle-East J. Scientific Res*, 24(4), 1252-1265. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.23362>
- Bekele, W., Kassa, G., Taddes, T., Girma, M., Mengistu, A., & Assefa, G. (2022). Acacia nilotica leaf meal-potential supplement to 25% dorper crosses of local sheep fed a basal diet of natural pasture hay. *Heliyon*, 8(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10181>
- Bhatt, R. S., Sarkar, S., Soni, L., Sharma, P., Sahoo, A., & Soni, A. (2024). Effect of supplementation of bioactive rich tree leaves on nutrient utilization, growth performance, methane emission and fatty acid profile in finisher lambs fed energy dense diet. *Small Ruminant Research*, 234, 107259. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107259>
- Boga, M. (2014). Chemical composition and in vitro gas production kinetics of some tree leaves obtained in the mediterranean region of Turkey. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 143-146. <https://doi.org/10.7161/anajas.2014.29.2.143-146>
- Boğa, M., Avcı, B. C., Kılıç, H. N., & Civaner, A. G. (2022). Bazı Baklagil Ağaç Yapraklarının Alternatif Yem Kaynağı Olarak Besin Madde İçerikleri ve Sindirilebilirliklerinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(5), 1191-1197. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.993655>
- Bonizzi, S., Colombini, S., Pavesi, M. *et al.* Can tree leaves be an alternative source of feed for dairy ruminants?. *Agroforest Syst* **99**, 47 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01150-7>
- Castillo-González A, Burrola-Barraza M, Domínguez-Viveros J, Chávez-Martínez A. Rumen microorganisms and fermentation. *Arch Med Vet*. (2014) 46:349–61. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2014000300003>
- Castro-Montoya, J. M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2011). Chemical composition of rumen microbial fraction and fermentation parameters as affected by tannins and saponins using an in vitro rumen fermentation system. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(3), 433-448. <https://doi.org/10.4141/cjas2010-028>
- Cherdthong A, Khonkhaeng B, Foiklang S, Wanapat M, Gunun N, Gunun P, Chanjula P, Polyorach S (2019). Effects of supplementation of *piper sarmentosum* leaf powder on feed efficiency, rumen ecology and rumen

- protozoal concentration in Thai native beef cattle. *Animals* 9:1–9. <https://doi.org/10.3390/ani9040130>
- Choudhary, S., Santra, A., Muwel, N., Sarkar, S., Mandal, A., & Das, S. K. (2022). Screening of forest tree leaves from North Eastern Himalayan region as feed additives for modulating in vitro rumen fermentation and methanogenesis from total mixed ration. *Agroforestry Systems*, 96(2), 359-374. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00724-5>
- Demirkol, İ. (2019). Akasya yaprağının besleme değeri ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Detzel, A., Krüger, M., Busch, M., Blanco-Gutiérrez, I., Varela, C., Manners, R., ... & Zannini, E. (2022). Life cycle assessment of animal-based foods and plant-based protein-rich alternatives: an environmental perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5098-5110. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11417>
- Deuri, P., Sood, N., Wadhwa, M., Bakshi, M. P. S., & Salem, A. Z. M. (2020). Screening of tree leaves for bioactive components and their impact on in vitro fermentability and methane production from total mixed ration. *Agroforestry Systems*, 94(4), 1455-1468. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00374-8>
- Dijkstra, J. A. N., France, J., & Davies, D. R. (1998). Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3370-3384. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75902-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75902-8)
- Dutta, T. K., Gupta, R., Chatterjee, A., Das, S. K., Mandal, D. K., Bhakat, C., ... & Rai, S. (2025). Modulating rumen fermentation and methane emissions in vitro with Terminalia tomentosa, Bauhinia variegata, and Butea monosperma forest tree leaves of Ajodhya hill areas, Purulia (India): a comparative study. *Agroforestry Systems*, 99(7), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01282-w>
- Erer, M. (2025). Kuzu Rasyonlarında Kullanılan Bazı Ağaç Yapraklarının Anti-Metanojenik Ve Anti-Proteolitik Etkilerinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Zootekni Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye

- Faniyi, T. O., Owolabi, A., & Soyelu, O. T. (2024). Rumen pH and microbial shift: implications for ruminant nutrition-a review. *Nigerian Journal of Animal Production*, 51(5), 103-120. <https://doi.org/10.51791/njap.v51i5.8269>
- FAO, Food (2018a). The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*, 228.
- FAO. (2018b). *Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/I8384EN/>
- FAO. Food (2021). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. (2023). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023–2032*. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/102ed69c-en>
- Firkins, J. L., Yu, Z., Park, T., & Plank, J. E. (2020). Extending Burk Dehority's perspectives on the role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology*, 11, 123. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00123>
- Gaikwad, U. S., Pawar, A. B., & Kadlag, A. D. (2021). Determining the nutritional value of fodder tree leaves and shrubs of scarcity zone of maharashtra. *New Visions in Biological Science*, 1, 12-17. <https://doi.org/10.9734/bpi/nvbs/v1/11199D>
- Gbaguidi, G., & Sariçiçek, Z. (2020). Availability of some tropical plants as alternative roughage source in ruminant feeding. *Black Sea Journal of Agriculture*, 4(3), 107-111. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.873660>
- Gökkuş, A., & Coşkun, E. (2023). Geleceğin Türkiye'sinde Doğal Çayır ve Meraların Önemi. *Acta Natura & Scientia*, 4(1). <https://doi.org/10.29329/actanatsci.2023.353.06>
- Guoyao, W. *Principles of Animal Nutrition*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2018; pp. XXIII–XXIV. <https://doi.org/10.1201/9781315120065>
- Güney, A.S. (2019). Van yöresi bazı çalı ve ağaç türlerinin yem değerlerinin ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.

- Gürsoy, E. (2023). Potential feeding value, feed quality, microbial protein production, and anti-methanogenic properties of tree leaves admixed with Italian ryegrass at different ratios using in vitro gas production. *South african journal of animal science*, 53(4), 550-559. https://hdl.handle.net/10520/ejc-sajas_v53_n4_a9
- Hacısalıhoğlu, S., & Çetingül, İ. S. (2025). Ruminantlarda Rumenin Önemi. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 14(1), 95-103. <https://doi.org/10.31196/huvfd.1589847>
- Hall, M. B., & Huntington, G. B. (2008). Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *Journal of Animal Science*, 86(suppl_14), E287-E292. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0516>
- Hanoğlu Oral, H., (2022). Status of Roughage Production and Sufficiency in Muş Province , *J. Anim. Prod.*, 63 (2): 152-161 <https://doi.org/10.29185/hayuretim.900005>
- Harmanşah F (2018). Türkiye’de Kaliteli Kaba Yem Üretimi, Sorunlar ve Öneriler, *TÜRKTOB Dergisi*, 25: 9-13.
- Hassan, K.G. (2015). Erbil şehrinden elde edilen bazı ağaç yapraklarının besleme değeri, metan emisyonu ve tanin içeriklerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Graduate School Of Natural And Applied Science. Master Thesis, Kahramanmaraş, Turkey.
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Henchion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, 15, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
- Hillman, E. T., Lu, H., Yao, T., & Nakatsu, C. H. (2017). Microbial ecology along the gastrointestinal tract. *Microbes and environments*, 32(4), 300-313. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME17017>
- Horst, E. H., Ammar, H., Ben Rhouma, R., Khouja, M., Khouja, M. L., Giráldez, F. J., & López, S. (2022). Seasonal and species variations in the nutritive value of eucalyptus foliage as a potential feed resource for

- ruminants in silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 96(8), 1189-1198. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00777-0>
- Hossain, M. E., & Islam, S. (2025). Integrating Trees, Shrubs, and Perennial Biomass Crops into Livestock Systems: A Pathway to Sustainable Tropical Farming Systems. *International Journal of Animal Biotechnology and Applications*, 11(1), 11-28p.
- Kaya , A. (Adem), Kaya , A. (Ali), Kaya , H., Macit , M., & Palangi, V. (2025). Usability of Gazelle Form Beech Tree (*Fagus Orientalis* L.) leaves as an alternative roughage source in dairy cattle: using *in vitro* gas production method. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(4), 8325–8334. <https://doi.org/10.12681/jhvms.36990>
- Kaya, H. (2024). Çalı yapraklarının potansiyel yem değeri. *Tarım ve Hayvancılık Alanında Bilimsel Çalışmalar*. Bölüm 2. İKSAD YAYINEVİ. 1. Baskı. 33-62.
- Kaya, M. (2021). Diyarbakır yöresinde keçilerin beslenmesinde kullanılan bazı çalı ve ağaç türlerinin yem değerlerinin ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Kendall NR, Smith J, Whistance LK, Stergiadis S, Stoate C, Chesshire H, Smith AR (2021) Trace element composition of tree fodder and potential nutritional use for livestock. *Livest Sci* 250:104560. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104560>
- Keser, O., & Kutay, C. (2021). Küresel ısınmaya karşı ruminantlarda metan emisyonunu azaltmaya yönelik besleme stratejileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 14(2), 138-159. <https://www.derleme.gen.tr/index.php/derleme/article/view/395/365>
- Kılıç, S. 2015. Doğu Anadolu Meşesi (*Quercus Brantii*) ve Mazı Meşesi (*Quercus Infectoria*) Yapraklarının Silajlarına ilave edilen meyve posalarının silaj kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi. Diyarbakır, Türkiye
- Kocadayıoğulları, F. (2022). Niğde Bölgesinde Farklı Meyve Ağaç Yapraklarının (Elma, Kayısı, Kiraz, Asma, Dut) Besin Madde İçerikleri Ve İn Vitro Sindirilebilirliğinin Belirlenmesi. Niğde Ömer Halisdemir

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hayvansal Üretim Ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde, Türkiye.
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., & Bujok, J. (2023). Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: Controversies and issues. *Agriculture*, 13(3), 602. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>
- Kurt, Ö. (2022). Gladiçya (*Gleditsia triacanthos*) Ağaç Yapraklarının Potansiyel Yem Değerinin Saptanması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(Ek Sayı 2), 576-582. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1065537>
- Kutlu HR, Çelik L. 2018. Yemler bilgisi ve yem teknolojisi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 266, Adana, 378 s.
- Kutlu, H.R., Görgülü, M., Baykal Çelik, L. (2015). Genel Hayvan Besleme Ders Notu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü.
- Lalu, K., Suraj, P. T., & George, J. (2015). Importance of rumen pH monitoring in dairy cattle. *Journal of Indian Veterinary Association*, 13(1): 32-34. https://www.jivaonline.net/archive/jivafiles/pdf_239.pdf
- Lata, M., & Mondal, B. C. (2021). Uses of tree leaves as alternative feed resources for ruminant animals. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(1), 2239-2247. <http://www.pashudhanpraharee.com/wp-content/uploads/2023/04/Uses-of-tree-leaves-as-alternative-feed-resources-for-ruminant-animals.pdf>
- Leitanthem, V. K., Chaudhary, P., Bhakat, M., Mohini, M., & Mondal, G. (2022). Impact of *Moringa oleifera* on rumen fermentation and methane emission under in vitro condition. *AMB Express*, 12(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01480-0>
- Liu, K., Zhang, Y., Yu, Z., Xu, Q., Zheng, N., Zhao, S., ... & Wang, J. (2021). Ruminant microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Animal Nutrition*, 7(1), 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001>
- Liu, L., Wu, P., Guo, A., Yang, Y., Chen, F., & Zhang, Q. (2023). Research progress on the regulation of production traits by gastrointestinal microbiota in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1206346. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1206346>

- Mahieu, S., Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Niderkorn, V., Gastal, F., & Emile, J. C. (2021). Diversity in the chemical composition and digestibility of leaves from fifty woody species in temperate areas. *Agroforestry Systems*, 95(7), 1295-1308. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00662-2>
- Mahrous, A. A., El-Tahan, A. A. H., Hafez, Y. H., El-Shora, M. A., Olafadehan, O. A., & Hamdon, H. (2021). Effect of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves on productive performance of growing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 72. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02493-2>
- Maia, M. R., Chaudhary, L. C., Figueres, L., & Wallace, R. J. (2007). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 91(4), 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10482-006-9118-2>
- Mataveia, G. A. (2019). *The use of moringa oleifera and Leucaena leucocephala tree leaves to improve smallholder goat production in Mozambique*. University of Pretoria (South Africa). <https://www.proquest.com/docview/2901486134?pqorigsite=gscholar&fromopenview=true>
- Matthews, C., Crispie, F., Lewis, E., Reid, M., O'Toole, P. W., & Cotter, P. D. (2019). The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut microbes*, 10(2), 115-132. <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1505176>
- Mekuriaw, Y., Asmare, B. Nutrient intake, digestibility and growth performance of Washera lambs fed natural pasture hay supplemented with graded levels of *Ficus thonningii*(*Chibha*) leaves as replacement for concentrate mixture. *Agric & Food Secur* 7, 30 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0182-4>
- Mesbahi, G., Barre, P., Delagarde, R., Ginane, C., & Novak, S. (2025). Seasonal dynamics of the nutritive value of temperate forage trees differ among species. *Agroforestry Systems*, 99(6), 172. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01258-w>

- Millen DD, Arrigoni MDB, Pacheco RDL, (Eds.). 2016: Rumenology (pp. 39-40). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30533-2_5
- Oral, H. H. (2024). Changes in the Sufficiency of Roughage Production for Animal Stock in Balıkesir Province Over the Years. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(9), 1608–1619. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i9.1608-1619.6726>
- Oruç, A., & Avcı, M. (2018). Bazı kaba yemlere farklı seviyelerde ilave edilen söğüt ağacı (*Salix alba*) yaprağının in vitro sindirim ve metan oluşumu üzerine etkisi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7(1), 60-66. <https://doi.org/10.31196/huvfd.470754>
- Önel, S.E., Aksu, T., Alaşahan, S. (2021). Ruminantlarda enterik metan emisyonunu azaltma stratejilerinde tanenlerin rolü ve önemi. *Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 127-138. <https://www.kadirliubfd.com/index.php/kubfd/article/view/9/13>
- Özdemir, Ö., & Kaya, A. (2020). Bazı ağaç yapraklarının in vitro gaz üretim tekniğiyle yem değerlerinin belirlenmesi. *Yüzuncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(3), 454-461. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.721969>
- Özek, K. (2022). TR22 Güney Marmara Bölgesinde Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvancılığın Durumu, Kaba Yem Üretimi, Yeterliliği ve Hayvan Beslemedeki Önemi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 1187-1200. <https://doi.org/10.21597/jist.1094669>
- Özel, O., & Sarıçiçek, B. (2009). Ruminantlarda rumen mikroorganizmalarının varlığı ve önemi (derleme). *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(3), 277-285. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/200884>
- Özkan, U., & Şahin Demirbağ, N. (2016). Türkiyede kaliteli kaba yem kaynaklarının mevcut durumu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 9(1), 23-27.
- Öztürk, H., & Gur, G. (2021). Rumen physiology: microorganisms, fermentation and manipulation. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 68(4), 423-434. <https://doi.org/10.33988/auvfd.960447>
- Özyazıcı, M. A., & Açıkbaz, S. (2020). İhlamur Ağacı (*Tilia rubra* subsp. *caucasica* (Rupr.) V. Engl.) Yapraklarının Yem Değeri Potansiyelinin

- Belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 581-596. <https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol4iss3pp581-596>
- Pal, K., Patra, A. K., Sahoo, A., & Kumawat, P. K. (2015). Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation in vitro. *Livestock Science*, 180, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011>
- Pala, M. (2023). Şanlıurfa’da yetiştirilen bazı ağaç yapraklarının besin madde içeriği ve sindirilebilirliğinin değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Paris, P., Camilli, F., Rosati, A., Mantino, A., Mezzalana, G., Dalla Valle, C., ... & Burgess, P. J. (2019). What is the future for agroforestry in Italy?. *Agroforestry systems*, 93(6), 2243-2256. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00346-y>
- Patra AK, Saxena J (2010) A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochem* 71:1198–1222. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Pekağırbaş H., (2025). Aydın Çine İlçesi Hastalıktan Ari Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Kullanılan Kaba Yem Kaynaklarının Kalitesinin ve Süt Verimi ile Kalitesine Olan Etkilerinin Belirlenmesi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları, Doktora Tezi. Aydın, Türkiye.
- Phengsavanh, P., Ogle, B., Stür, W., Frankow-Lindberg, B. E., Lindberg, J. E., Radostits, O. M., ... & Talukdar, D. J. (2017). Performance of surti goats fed with Albizia lebbeck and Terminalia arjuna tree leaves. *Indian Vet. J*, 94(12), 20-23.
- Rabee, A. E., Younan, B. R., Kewan, K. Z., Sabra, E. A., & Lamara, M. (2022). Modulation of rumen bacterial community and feed utilization in camel and sheep using combined supplementation of live yeast and microalgae. *Scientific reports*, 12(1), 12990. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16988-5>
- Reddy, P. R. K., & Hyder, I. (2023). Ruminant digestion. *Textbook of Veterinary Physiology*, 353-366. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_14

- Roberts, E. (2024). Agroforestry for the Northeastern USA: Research, Practice, and Possibilities. In *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (pp. 199-245). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54270-1_7
- Russell JB, Rychlik JL, 2001: Factors that alter rumen microbial ecology. *Science*, 292, 1119-1122. <https://doi.org/10.1126/science.1058830>
- Sahu NP, Kamra DN. (2002) Microbial eco-system of the gastro-intestinal tract of wild herbivorous animals. *J Appl Anim Res.* 21:207–30. <https://doi.org/10.1080/09712119.2002.9706370>
- Selçuk, B., Bakır, T., Bilal, Y., & Akçam, H. (2024). Sığla (*Liquidambar orientalis*) Ağaç Yapraklarının Koyun Diyetlerine İlavesinin Fermantasyon ve Sindirim Derecelerine Etkilerinin İn vitro Gaz Üretim Tekniği ile Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 674-683. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1246377>
- Serumula, M. D., Pepeta, B. N., Moyo, M., Suinyuy, T. N., & Nsahlai, I. V. (2025). Effect of Vachellia tortilis Leaf Meal and Sunflower Oil Inclusion in Supplementary Diets of Lambs on *In Vitro* Short-Chain Fatty Acid and Gas Production and In Vivo Growth Performance. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 15(6), 863. <https://doi.org/10.3390/ani15060863>
- Seshadri, R., Leahy, S. C., Attwood, G. T., Teh, K. H., Lambie, S. C., Cookson, A. L., ... & Kelly, W. J. (2018). Cultivation and sequencing of rumen microbiome members from the Hungate1000 Collection. *Nature biotechnology*, 36(4), 359-367. <https://doi.org/10.1038/nbt.4110>
- Simbaya J, Chibinga O, Salem AZM (2020) Nutritional evaluation of selected fodder trees: mulberry (*Morus alba* Lam.), leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit.) and moringa (*Moringa oleifera* Lam.) as dry season protein supplements for grazing animals. *Agrofor Syst* 94:1189–1197. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00504-7>
- Simeanu, D., & Radu-Rusu, R. M. (2023). Animal nutrition and productions. *Agriculture*, 13(5), 943. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050943>

- Şimşek, N., & Kamalak, A. (2019). Bazı ağaç yapraklarının anti metanojenik özelliklerinin in vitro gaz üretim tekniği ile belirlenmesi. *Black Sea Journal of Agriculture*, 2(1), 1-5. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bsagriculture/issue/42011/462726>
- Tatlıyer, A., Kamalak, A., & Öztürk, D. (2019). Sandal ağacı (*Arbutus andrachne*) yapraklarının potansiyel besleme değerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(2), 315-321. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.a.vi.478849>
- Tekce, E., & Gül, M. (2014). Ruminant beslemede NDF ve ADF'nin önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 9(1), 63-73.
- Tseten, T., Sanjorjo, R. A., Kwon, M., & Kim, S. W. (2022). Strategies to mitigate enteric methane emissions from ruminant animals. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(3), 269. <https://doi.org/10.4014/jmb.2202.02019>
- Türkmen İ., Biricik H., Deniz G., Gezen ŞŞ., Tuncer ŞD., Çolpan İ., Küçükersan MK., Küçükersan S., Yalçın S., Şehu A., Saçaklı P., Ergün A., Yıldız G., 2011. Temel Yem Bilgisi ve Hayvan Besleme. Anadolu Üniversitesi yayını, 70-88. 1. baskı, Eskişehir.
- UN, (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables. United Nations Department of Economic and Social Affairs and Population Division. *Working Paper No. ESA/P/WP/248*.
- Ülgen, H., Zeydanlı, U., Lise, Y. (editörler). 2020. Orman ve Biyolojik Çeşitlilik. Doğa Koruma Merkezi, Ankara, 219 sayfa. <https://dkm.org.tr/sites/other/dkm/uploads/yayinlar/kitaplar/kitap-7.pdf>
- Vandermeulen, S., Ramírez-Restrepo, C. A., Beckers, Y., Claessens, H., & Bindelle, J. (2018). Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Animal Production Science*, 58(5), 767-777. <https://doi.org/10.1071/AN16434>
- Wahrmund, J. L., Ronchesel, J. R., Krehbiel, C. R., Goad, C. L., Trost, S. M., & Richards, C. J. (2012). Ruminant acidosis challenge impact on ruminal temperature in feedlot cattle. *Journal of animal science*, 90(8), 2794-2801. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4407>

- World Health Organization (WHO). (2023). *Feeding of infants and young children: Guideline*. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240081864>
- Wu, G., Fanzo, J., Miller, D. D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J. L., Thalacker-Mercer, A. E., & Walsh, T. (2014). *Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations*. Annals of the New York Academy of Sciences, 1321(1), 1–19. <https://doi.org/10.1111/nyas.12500>
- Xu Q, Qiao Q, Gao Y, Hou J, Hu M, Du Y, Zhao K, Li X, 2021: Gut microbiota and their role in health and metabolic disease of dairy cow. Front Nutr, 8, 701511. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.701511>
- Yavuz, S. (2021). Bazı ağaç yapraklarının ve ekstraktlarının in-vitro gaz üretim yöntemiyle anti-metanojenik etkilerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Yıldız M., (2024). Mısır silajına farklı seviyelerde akasya yaprağı katkısının kimyasal kompozisyon üzerine etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Zebari, H. M. Z. (2015). Potential nutritive value, methane production and tannin contents of some tree leaves. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Graduate School Of Natural And Applied Science. Master Thesis, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Zhou Z, Fang L, Meng Q, Li S, Chai S, Liu S, Schonewille JT, 2017: Assessment of ruminal bacterial and archaeal community structure in yak (*Bos grunniens*). Frontiers in Microbiology, 8, 179. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00179>

BÖLÜM 5

RUMİNANT DİYETLERİNDE AĞAÇ YAPRAKLARI KULLANIMININ ANTİMETANOJENİK ETKİLERİ

Hacer KAYA¹
Musa KARAALP²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17990091>

¹ Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Gümüşhane, Türkiye. hacerkaya@gumushane.edu.tr, orcid id: 0000-0001-9024-8525

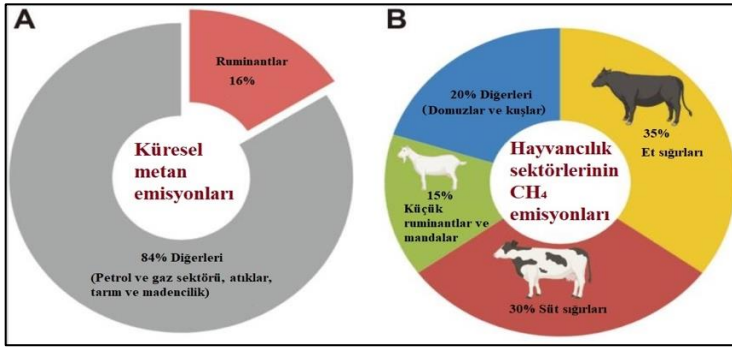
² Doç. Dr., Kayseri Üniversitesi, Yeşilhisar Meslek Yüksekokulu , Veterinerlik Bölümü, Kayseri, Türkiye. eposta@eposta.com, orcid id: 0000-0002-1794-031X

GİRİŞ

Ruminant hayvanlar, monogastrik hayvanların ve insanların sindiremediği ya da çok az sindirebildiği selüloz ve protein tabiatında olmayan nitrojenli bileşikleri sindirerek insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan süt ve ete dönüştürmektedirler. Süt ve et hayvansal protein kaynaklarının başlıcalarındandır. Hayvansal proteinler sağlıklı ve dengeli beslenebilme ihtiyacında olan insanlar için vazgeçilmez önemdedir. Sağlıklı bir insanın kilogram vücut ağırlığı için günde 1 g protein tüketmesine ve bu miktar proteinin de en az %42'sinin hayvansal orjinli olması gerektiğine vurgu yapılmaktadır (Anonim, 2023). Günümüzde 8,2 milyar olduğu tahmin edilen dünya nüfusunun 2030 yılında 8,6 milyara, 2050 yılında 9,8 milyara, 2100 yılında ise 11,2 milyara ulaşacağı (Anonymous, 2025) ve süt/et ürünlerine olan talebin sırasıyla 1,04 milyon ton ve 465 milyon ton artması (Ribeiro Pereira ve ark., 2015) beklenmektedir. Süt ve ete olan talebi karşılayabilmek için dünya ruminant hayvan popülasyonunun artış göstermesi kaçınılmazdır. Bu durumun hayvancılık faaliyetleriyle ilişkili daha yüksek sera gazı emisyonlarını yol açarak küresel ısınmayı hızlandırması beklenmektedir (Hao ve ark., 2025). Bataklıklar, pirinç tarlaları, enerji sektörleri, çöp sahaları ve biyokütle gibi farklı metan (CH_4) emisyon kaynakları arasında ruminant hayvanların bağırsak fermantasyonundan kaynaklanan CH_4 emisyonu en büyük kaynağı oluşturmaktadır (Kumar ve ark., 2009).

Ruminant hayvanlar tarafından yılda yaklaşık 86 milyon metrik ton (Tg) CH_4 üretildiği bilinmektedir (Ghanbari Maman ve ark., 2020). Ruminant hayvanlar, sindirim sistemlerindeki mikroorganizma faaliyetleri sonucu yapısal karbonhidratları sindirerek insanlar için son derece değerli olan gıda maddelerine dönüştürebilmeleri nedeniyle besin zincirinde oldukça önemli bir yere sahiptirler (Króliczewska ve ark., 2023). Ancak ruminant hayvanlar sindirim sürecinde metanojenik arkea metabolizmalarının yan ürünü olarak önemli miktarlarda CH_4 , karbondioksit (CO_2) ve azot oksit (N_2O) gibi güçlü sera gazları üretmektedirler. CH_4 ve N_2O hayvan üretim sistemlerinden kaynaklanan en önemli sera gazlarıdır ve bu gazlar güçlü bir diğer sera gazı olan CO_2 'den sırasıyla 28 ve 298 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahiptirler (Solomon ve ark., 2007). CH_4 , CO_2 'den sonra en fazla bulunan sera gazıdır (Calabrò, 2009). Küresel CH_4 emisyonlarının yaklaşık üçte ikisi antropojenik faaliyetlerden (Saunio ve ark., 2016) ve bunun %41'i tarımsal

faaliyetlerden, yaklaşık %16'sı geviş getiren hayvanlardan kaynaklanmaktadır (Şekil 1A; Tseten ve ark., 2022). Tarım sektöründen kaynaklanan CH₄ emisyonunun %73'ünü hayvancılık faaliyetleri oluştururken bunun %35'i sığır eti, %30'u süt sığırıcılığı olmak üzere %65'i büyükbaş hayvanlardan, %15'i de küçükbaş hayvanlar ile mandalardan, %20'si ise domuz ve kanatlılardan kaynaklanmaktadır (Şekil 1B).



Şekil 1. Küresel metan emisyonları (Tseten ve ark., 2022)

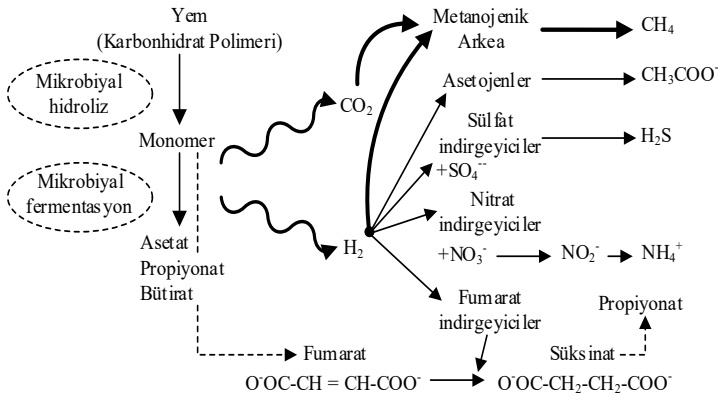
Ruminant hayvanlar enterik fermentasyon, gübre yönetimi, yem üretimi ve yem temini için ormanların meraya dönüştürülmesi gibi nedenlerle sera gazı emisyonlarına ve küresel iklim değişikliğine yol açmaktadırlar (Jayasundara ve ark., 2019). Hayvansal ürün sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarını en fazla etkileyeni enterik CH₄ üretimi olup, toplam sektör emisyonlarının %34-86'sını oluşturmaktadır (Mazzetto ve ark., 2022). Dışkı, idrar ve geğirme (ruktus) ile vücuttan atılan CH₄'ün yanı sıra NH₃, CO₂ ve H₂ gazları (Şekil 2) sığır, koyun ve keçiler için brüt enerji alımının %2-12'sine tekabül etmektedir (Kumar ve ark., 2009). Günlük kuru madde tüketimine bağlı olarak yetişkin bir sığırın ortalama 250-500 litre, koyunların 20-55 litre kadar CH₄ ürettiği ve açığa çıkan bu gazın enerji karşılığının yaklaşık 3500-4000 kcal olduğu (Önel ve ark., 2021) ve bu miktar enerjinin 550 kg canlı ağırlıktaki bir sığırın yaşama payı enerji ihtiyacının 1/3'ünü karşılayabileceği bildirilmektedir (Aksoy ve ark., 2000). Yetişkin bir sığırın yılda yaklaşık 60-160 kg, koyun ve keçilerin ise 10-16 kg CH₄ ürettiği (Hristov ve ark., 2013) ve 1,7 milyarı sığır/manda, 2,5 milyarı koyun/keçi olmak üzere 4,2 milyar olan dünya ruminant hayvan varlığı (Anonim, 2023) göz önünde bulundurulduğunda, toplam CH₄ emisyon hacmi

ve ekolojik etkileri daha anlaşılır olmaktadır. Özetle sera gazı etkisine sahip hayvansal kaynaklı CH₄ emisyonu, çevre ve iklim için tehdit olmanın yanı sıra yemlerle alınan enerjinin hayvan tarafından kullanılmayıp atılmasıyla ekonomik kayıplara da neden olmaktadır (Canbolat ve ark., 2013). Bu nedenle özellikle son yıllarda ruminant sindirimi ile ilişkili enterik CH₄ emisyonlarını azaltmak için oldukça farklı ve kapsamlı stratejiler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunlardan bazıları sürü yönetimi stratejileri (hayvan sayısının azaltılması, çayır ve meraların düzenlenmesi, seleksiyonun iyileştirilmesi vb.), rumen manipülasyonları (metanojen önleyicilerle biyolojik kontrol, mikroorganizma etki yollarını değiştirmeye yönelik genomik girişimler, genetik mühendisliği vb.), besleme stratejileri (yüksek kaliteli kaba yem ve rasyonların kullanımı, rasyon modifikasyonları, propiyonat arttırıcıların kullanılması, emisyonu azaltmaya yönelik besleme metodları vb.) ve ileri stratejiler (immunizasyon, bakteriyofajlar vb.) şeklinde sıralanabilir (Altan ve Acar, 2022). Birçok inorganik yem katkı maddesi ruminantlardan kaynaklanan CH₄ emisyonlarını önemli ölçüde azaltmış olsa da, sağlık ve güvenlik endişeleri nedeniyle yem katkı maddesi olarak kullanılmaları cazip değildir (Tseten ve ark., 2022). Enterik fermentasyonla üretilen CH₄ emisyonunu azaltmaya yönelik en yaygın olarak kullanılan biyolojik yem katkı maddeleri tanenler, saponinler, flavonoidler, probiyotikler, organik asitler ve yağlardır (Kumar ve ark., 2014; Króliczewska ve ark., 2023). Sekonder bitkisel metabolitler içerisinde yer alan tanenler rumen mikroflorasını ve yemin sindirilebilirliğini etkileyerek rumen CH₄ üretimini azaltmaktadırlar (Önel ve ark., 2021). Tanenler yem katkı maddesi ya da tanen içeren kaba yem olarak diyetle dahil edildiklerinde, enterik CH₄ emisyonu %20'ye kadar azalabilmekle beraber bağırsaklardan amino asit emilimini yavaşlatması nedeniyle diyetle %5'ten fazla olması arzu edilmemektedir (Keser ve Kutay, 2021). Bu derlemede, tanen içeren ağaç yapraklarının ruminant hayvan diyetlerinde kaba yem olarak kullanımının anti-metanojenik etkilerini inceleyen güncel çalışmalar irdelenmiştir.

Ruminant Hayvanlarda Metanojenez ve Azaltma Stratejileri

Artiodactyla (çift tırnaklılar) takımına mensup olan ruminantlar (Rafferty, 2010) rumen, retikulum, omasum, abomasum ve bağırsak gibi büyük bölmeli gastrointestinal sisteme sahiptirler (Reddy ve Hyder, 2023).

Ruminantlardaki bu özel sindirim sistemi ve sofistike bir mikroorganizma simbiyotik ağının varlığı (Cammack ve ark., 2018) yüksek miktarda lifli bitkisel materyalin işlenmesini sağlamaktadır (Özel ve Sarıççek, 2009). Rumen, çeşitli mikrobiyal popülasyonların karşılıklı etkileşim içerisinde bulunduğu ve anaerobik fermentasyon süreçlerinin gerçekleştiği biyolojik bir ekosistemdir (Mitsumori ve Sun, 2008). Bu ortamda bakteriler (10^{10} – 10^{11} hücre/ml), siliat protozoalar (10^4 – 10^6 hücre/ml), mantarlar (10^3 – 10^6 hücre/ml) ve metanojenik arkeler (10^6 – 10^8 hücre/ml) simbiyotik bir ilişki içerisinde faaliyet göstererek yemlerde bulunan selüloz, hemiselüloz, lignin, nişasta ve protein gibi kompleks makromoleküllerin parçalanmasını sağlayan çeşitli hidrolitik ve fermentatif enzimlerin sentezlenmesine yol açmaktadırlar (Matthews ve ark., 2019). Yemin karbonhidrat fraksiyonu, rumen mikrobiyotasının bir konsorsiyumu ile oluşan anaerobik fermentasyon vasıtasıyla çoğunluğunu asetat (%65), propiyonat (%20) ve bütiratın (%15) oluşturduğu kısa zincirli uçucu yağ asitlerinin (Tseten ve ark., 2022) yanı sıra daha az miktarda formiat, etanol, laktat, süksinat ve dallı zincirli uçucu yağ asitleri ve ayrıca amonyak (NH_3), hidrojen (H_2) ve karbondioksit (CO_2) gazları üretilir (Videv ve ark., 2024). Anaerobik fermentasyon esnasında NADH, NADPH ve FADH gibi indirgenmiş kofaktörlerin oksidatif geri dönüşümü rumen ortamında H_2 birikimine yol açar. Üretilen H_2 ve CO_2 gazları rumen metanojenlerinin başlıca substratlarıdır (Şekil 2) ve rumende CH_4 üretiminin ana öncülleri olarak kabul edilirler (Króliczewska ve ark., 2023).



Şekil 2. Rumende mikrobiyal fermentasyon ve H_2 indirgenme yollarının şematik gösterimi (Morgavi ve ark., 2010)

Metanojenler, hidrojenotrofik ve metilotrofik metanojenler şeklinde sınıflandırılabilir (Videv ve ark., 2024). Hidrojenotrof arkeler (*Methanobacterium*, *Methanomicrobium* ve *Methanobrevibacter* spp.) karbonhidrat fermentasyonu sonucu oluşan CO₂'yi, H₂ veya format ile indirgeyerek CH₄ sentezini gerçekleştirirken; metilotrof metanojenler (*Methanospaera* spp.) CH₄ üretiminde substrat olarak metil türevli bileşikler, asetik asit metanojenler (*Methanospaera* spp.) ise asetatı kullanarak CH₄ oluşumuna katkı sağlamaktadır (Cuervo ve ark., 2025). Bu çeşitlilik, rumen mikrobiyotasının esnekliğini ve metanogenez yollarının çok yönlülüğünü ortaya koyar. Format, birçok hidrojenotrofik rumen metanojen tarafından H₂'nin alternatif olarak kullanılır ve rumendeki toplam CH₄ üretiminin %18'i kadarını oluşturmaktadır. Asetat, rumen ortamında yüksek oranda bulunsun da, asetat kullanan metanojen *Methanosarcinales*'in büyüme hızının çok düşük olması, asetojenlerin H₂'ye afinitelerinin zayıf olması ve ruminant sindirim sisteminden kolayca atılması nedenleriyle rumen ekosisteminde sınırlı etkiye sahiptir. Öte yandan CH₄ üretimi için metanol kullanan metilotrofik metanojenler rumende bol miktarda bulunmadıkları için bu substratların toplam CH₄ üretimine katkısı daha düşüktür. Bu nedenle ruminantlarda CH₄ oluşumunun en yaygın ve etkin yolu, H₂'nin oksidasyonu sürecinde CO₂'nin harici bir elektron alıcısı olarak kullanıldığı metanojenik reaksiyonlardır (Haque, 2018). Metanojenik arkelerin katkısı ile rumende H₂'nin CO₂'yi indirgemesi yoluyla oluşan CH₄ üretimi süreci olarak tanımlanan metanogenez, H₂'nin rumende oluşturduğu kısmi basıncı azaltarak fermentasyonun sürekliliğini sağlar. H₂'nin rumenden uzaklaştırılmaması durumunda, indirgenmiş kofaktörlerin (NADH, NADPH ve FADH) yeniden oksidasyonu ve dolayısıyla da uçucu yağ asitlerinin üretimi engellenir (Haque, 2018). Rumende H₂'nin uzaklaştırılması metanogenez (CO₂+4H₂→CH₄+2H₂O) ve asetojeniz (2CO₂+4H₂→CH₃COOH+2H₂O) yoluyla olabileceği gibi H₂'nin uzaklaştırılmasının bir diğer yolu da propiyonik asit (C₆H₁₂O₆+ 2H₂ → 2C₃H₆O₂+2H₂O) üreten mikroorganizmaların uyarılmasıdır. Buna karşın asetat (C₆H₁₂O₆+ 2H₂O → 2C₂H₄O₂+ 2CO₂+ 4H₂) ve bütirat (C₆H₁₂O₆→ C₄H₈O₂+ 2CO₂+ 2H₂) üretimleri H₂ birikimine katkı sağlayan süreçlerdir (Videv ve ark., 2024).

CO₂, H₂ ve format esas olarak karbonhidratlardan elde edilir ve rumende CH₄ üretimi için kullanıldığından, çoğu strateji öncelikle rumende CO₂, H₂ ve

formatın azaltılmasını hedefler (Mitsumori ve Sun, 2008). Ruminantların sindirim sisteminde toplam CH₄ üretiminin yaklaşık %87'si rumende, %13'ü alt sindirim kanalında üretilir (Videv ve ark., 2024). Koyun ve süt ineklerinde CH₄ emisyonlarının büyük çoğunluğu (%85-95) geviş getirme sırasında akciğerler yoluyla solunumla atılırken, daha küçük bir kısmı (%2-3) anüs yoluyla yani rektal emisyon olarak dışarı atılmaktadır (Janssen, 2010).

Küresel ısınma üzerindeki toplam etkinin yaklaşık %18'inin CH₄'ten kaynaklandığı, bu etkinin yaklaşık yarısının hayvancılık sektörüne ait olduğu ve hayvansal kaynaklı küresel emisyonların yaklaşık %94'ünün evcil hayvanlar tarafından üretildiği bilinmektedir (Haque, 2018). Önümüzdeki yıllar içinde artması muhtemel olan dünya nüfusunun et ve süt talebinin karşılanması enterik CH₄ emisyonundalarını da artıracaktır. Bu nedenle enterik CH₄ emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması önem taşımaktadır. Son yıllarda, geviş getiren hayvanlarda CH₄ üretimini azaltmaya yönelik çeşitli besleme ve mikrobiyal manipülasyon, genetik seleksiyon ve yönetim temelli stratejiler üzerinde yoğun biçimde çalışılmaktadır (Borhan ve ark., 2012; Gowthami ve ark., 2014). Bu yaklaşımlar, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hem de hayvansal üretimde sürdürülebilirliğin artırılmasını hedeflemektedir. CH₄ emisyonlarının azaltılmasına yönelik en etkili ve uygulanabilir yöntemlerden biri olan diyet manipülasyonu, hem hayvan verimliliğini artırabilen hem de emisyonları önemli ölçüde azaltabilen pratik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Moate ve ark., 2017). Yapılan çalışmalar, diyetin bileşimi ve müdahalenin düzeyine bağlı olarak CH₄ emisyonlarının %78'e kadar azaltılabileceğini göstermektedir (Moate ve ark., 2017; Broucek ve ark., 2018). Diyet manipülasyonları genel olarak yem kalitesinin ve rasyon oranlarının iyileştirilmesi ile metanojenleri baskılayan veya metanojenez için gerekli substratların oluşumunu azaltan yem katkı maddelerinin kullanımını içermektedir (Haque, 2018). Enterik CH₄, rumen içindeki substratların fermentasyonu sonucu oluşur ve kuru madde tüketimi enterik CH₄ emisyonunu doğrudan etkilemektedir (Tee ve ark., 2022). Öte yandan, rumende fermente edilen besin maddelerinin türü de rumen metanojenezinde önemli rol oynamaktadır ve farklı yem türleri kimyasal bileşimlerindeki farklılıklar nedeniyle CH₄ emisyonunu etkilemektedir (Hristov, 2024). Örneğin sığırların nişastaca zengin ve selüloz oranı düşük rasyonlarla beslenmesi, iştahla asetat oluşumunu sınırlayarak CH₄

üretiminin azalmasına neden olmaktadır (Borhan ve ark., 2012; Niu ve ark., 2018; Congio ve ark., 2022). Rasyon konsantre oranının artırılması, enerji yoğunluğunu ve rumen çıkış hızını artırarak, yapısal karbonhidratların oranını ve rumen pH'ını düşürerek CH₄ emisyonunu azaltır (Beauchemin ve ark., 2022). Baklagil yem bitkilerinin CH₄ emisyonu yoğunlaşmış tanen, düşük lif ile yüksek kuru madde içerikleri ve yüksek geçiş hızı nedeniyle daha düşüktür (Beauchemin ve ark., 2008). Yemlerin silolanma işlemi sırasında kısmen fermente olması silolanmış yemlerde metanogenez daha düşük olma eğilimindedir (Boadi ve ark., 2004). Yemlerin doğranması veya peletlenmesinin rumende daha az parçalanma gerektirmesi nedeniyle enterik CH₄ emisyonları azaltılabileceği; ayrıca silolama sürecinde yemlerin kısmen fermente olması nedeniyle de silaj yemlerde metanojenizin daha düşük düzeyde gerçekleşebileceği bildirilmektedir (Boadi ve ark., 2004). Laktasyondaki süt ineklerinin diyetinde ot, yonca veya diğer baklagil silajlarının yerini mısır silajının aldığı durumlarda enterik CH₄ emisyonunun orta düzeyde (%5-15) azaldığı bir çok çalışmada (Hassanat ve ark., 2013; Arndt ve ark., 2015; Benchaar ve ark., 2015; Hammond ve ark., 2016; Uddin ve ark., 2020; van Gastelen ve ark., 2022) gösterilmektedir. Bu yaklaşımlar, hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de hayvansal üretimde sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlamaktadır.

Fitojenik yem katkı maddeleri, tüm dünyadaki araştırmacıların son zamanlarda dikkatini çekmektedir. Fitojenik yem katkı maddelerinin yemden yararlanmayı, büyümeyi, verimliliği ve hayvan sağlığını iyileştirdiği, CH₄ emisyonlarını azalttığı bildirilmektedir (Pal ve ark., 2015; Patra ve ark., 2017; Choudhary ve ark., 2022). Fitojenik yem katkı maddeleri, bilim insanları tarafından test edilmiş ve CH₄ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı, rumen mikrobiyal ekolojisini değiştirdiği ve ruminantların fermentasyon dinamiklerini değiştirdiği bulunmuştur (Cieslak ve ark., 2013). Fitojenik yem katkı maddeleri arasında bitkiler, bitkisel yağ özleri, ağaçlar, çalılar, otlar ve baklagiller bulunmaktadır. Bu fitojenik yem katkı maddeleri saponinler, tanenler, flavonoidler, probiyotikler, organik asitler, uçucu yağlar, propolis, terpenler ve glikozitler gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir (Kumar ve ark., 2014; Króliczewska ve ark., 2023). Bu biyoaktif bileşikler metanojenler ve protozoaların aktivitesini inhibe ederek, protozoa sayısını azaltarak, CH₄ emisyonu yerine metabolik H₂'nin propiyonat üretimine kanalize edilmesini

sağlayarak rumen fermentasyon dengesini değiştirip CH_4 üretiminde düşüşe yol açmaktadır (Liu ve ark., 2011; Ángeles-Mayorga ve ark., 2022). Fitojenik yem katkı maddeleri, rumen mikrobiyal hücreleri üzerinde çok yönlü etki mekanizmalarına sahiptir. Antibiyotiklerle karşılaştırıldığında, bu bileşiklerin rumen mikrobiyotasını modüle etme ve CH_4 emisyonlarını azaltma potansiyeli daha yüksektir. Bu etkilerini, hücre zar bütünlüğünü bozarak, sinyal iletim yollarını ve gen ekspresyonunu düzenleyerek, enzim aktivitesini inhibe ederek ve bakteriyel kolonizasyonu engelleyerek gösterirler (Bodas ve ark., 2012). Fitojenik bileşikler, hücre zarının geçirgenliğini ve akışkanlığını artırarak iyon ve metabolit kaybına, hücre içeriğinin sızmasına ve mikrobiyal ölümün gerçekleşmesine neden olabilir. Ayrıca, belirli rumen bakterilerinin zar geçirgenliğini değiştirerek rumen metabolizmasının yönünü etkileyebilirler (Omojate Godstime ve ark., 2014). Bu süreçler; sitoplazmik zarın bozulması, proton hareket kuvvetinin zayıflaması, elektron taşınım zincirinin kesintiye uğraması, aktif taşıma mekanizmalarının engellenmesi ve hücre bileşenlerinin koagülasyonu gibi çeşitli biyokimyasal etkilerle ilişkilidir (Lillehoj ve ark., 2018; Bature ve ark., 2024).

Ağaç Yaprakları

Metanojenik aktiviteyi baskılayabilen biyoaktif bileşikler açısından zengin birçok ağaç ve çalı çeşidi CH_4 emisyonunu azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Ağaç yaprakları tanenler, saponinler, terpenler, kumarinler, siyanojenik glikozitler, flavonlar, izoflavonlar ve diğer fenolikler dahil olmak üzere birçok biyoaktif bileşik içermektedirler (Tava ve ark., 2022). Bu bitkilerdeki biyoaktif bileşikler rumen mikrobiyal ekosistemini manipüle ederek CH_4 üretimini azaltabilir (Dhanasekaran ve ark., 2020). Bu biyoaktif bileşiklerin etki mekanizması metanojenler üzerinde doğrudan etkilere, anti-protozoal etkilere veya lif sindiriminin inhibisyonuna ve ardından metanojenlere daha düşük bir H_2 tedarikine sahip olabilir (Bature ve ark., 2024). Polifenol içeriği yüksek pavlonyayaprakları veya lif içeriği yüksek pavlonya dallarının ruminal CH_4 'e etkisinin incelendiği çalışmada *in vitro* sonuçlar, pavlonya yaprakları kullanımının CH_4 üretimi, metanojen sayısı ve asetat/propiyonat oranını azalttığı; pavlonya dallarının ise CH_4 üretimi, substrat parçalanabilirliği ve uçucu yağ asidi konsantrasyonunu azaltıp asetat/propiyonat oranını artırdığı bildirilmiştir (Puchalska ve ark., 2021).

Polifenol içeriği yüksek pavlonya yapraklarının CH₄ emisyonunu düşürmesi, metanojen popülasyonundaki azalmaya atfedilirken, lif içeriği yüksek pavlonya dallarındaki azalma ise substrat parçalanabilirliğinin azalması ve bunun sonucunda metanojenlere sınırlı H₂ sağlanmasına atfedilmiştir.

Ruminant rasyonlarına polifenol içeriği yüksek ağaç yaprağı ilavelerinin antimetanojenik etkilerini inceleyen bazı güncel çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir. Başer ve ark. (2025), ruminant beslenmesinde alternatif yem katkı maddeleri kullanımı kapsamında aspir küspesine (*Carthamus tinctorius*) %1, 2 ve 4 oranlarında çınar (*Platanus orientalis*) yaprağı ilavesinin; Erer ve Kamalak (2025) ise kuzu rasyonlarına yonca otu yerine %5, 10, 15 ve 20 oranlarında dut (*Morus alba*) yaprağı ilavelerinin anti-metanojenik etkilerinin olmadığını bildirmektedirler. Benzer şekilde ruminant hayvanların rasyonlarında bulunan samanlara %1, 2 ve 5 oranlarında yaban mersini yaprakları ilavesinin *in vitro* CH₄ üretimini düşürmede yeterli olmadığı ancak daha yüksek oranlarda (%7-15) yaban mersini yapraklarının CH₄ emisyonunu düşürebileceği bildirilmektedir (Kılıç, 2021). Ruminant rasyonlarında mısır silajı yerine %10, 20 ve 30 oranlarında sandal ağacı (*Arbutus andrachne*) yaprağı ikamesinin *in vitro* CH₄ değerlerinin 5.76-7.51 ml arasında olduğu ve artan dozlarda yaprak ilavesinin CH₄ üretimini azaltmıştır (Kaya ve ark., 2022a). Ruminant beslemede yaygın olarak kullanılan bazı kaba yemlere (mısır silajı, yonca kuru otu, çayır kuru otu ve buğday samanı) farklı seviyelerde (%0, %0.5, %1.0, %1.5, %2.0 ve %2.5) ilave edilen okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*) yaprağının *in vitro* CH₄ emisyonu, yaprak oranının artışına paralel olarak azalarak en düşük %2.5 ilave seviyesinde üretilmiştir (Akçıl ve Denek, 2013). Oruç ve Avcı (2018), buğday samanı, yonca kuru otu ve mısır silajına farklı oranlarda (%0, %10, %25, %50, %75 ve %100) söğüt ağacı (*Salix alba*) yaprağı ilavesinin *in vitro* CH₄ emisyonlarına etkilerini belirledikleri çalışmada en düşük CH₄ emisyonunu buğday samanına %50 ve 75, yonca kuru otu ve mısır silajına %75 seviyelerinde söğüt ağacı yaprağı ilave ettikleri gruplardan elde etmiş ve kaba yemlere söğüt ağacı yaprağı ilavesinin CH₄ gazı emisyonunu düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Ayrıca Cengiz ve Kamalak (2020) ise söğüt (*Salix alba*) yapraklarının ruminantlara besin maddesi sağlamasının yanında fermentasyon sırasında açığa çıkan CH₄’ü de azaltma potansiyeli olduğunu bildirmektedirler. CH₄ üretimleri sırasıyla 29,78 ve 28,57 mmol/L olarak bulunan kurutulmuş ve silolanmış pavlonya (*Paulownia sp.*) yapraklarının

rumen fermentasyon özellikleri açısından ruminant beslemede alternatif bir kaba yem kaynağı olarak kullanılabileceği (Özelçam ve ark., 2021) ve pavlonya taze yaprak ve silajının *in vitro* CH₄ emisyonunun yonca silajına kıyasla azaldığı bildirilmektedir (Huang ve ark., 2021). Süt sığırı toplam rasyon karışım (TMR)'larında yer alan kuru çayır otu yerine %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında zeytin (*Folium olivae*) yaprağı ikamesinin *in vitro* gaz ve CH₄ üretim değerlerinin tespit edildiği çalışmada, en yüksek gaz ve CH₄ üretim %0 ve %25 ikame gruplarında, en düşük gaz üretimi %50 ikame grubunda, en düşük CH₄ üretimi ise %100 zeytin yaprağı ikame edilen gruplarda tespit edilmiştir (Göncü ve Kaya, 2024). Süt sığırı rasyonlarına ve yonca kuru otuna %0, 2.5, 5 ve 10 seviyelerinde meşe palamudu, aynı seviyelerde meşe palamudu + %2.5 zeolit ilavelerinin CH₄ gazı oluşumu üzerine etkisinin belirlendiği çalışmada *in vitro* gaz üretim tekniği ile 24 saatlik inkubasyon sonunda süt sığırı rasyonu için en düşük CH₄ üretimi, %10 meşe palamudu + %2.5 zeolit grubundan elde edilmiş ve yüksek düzeyde meşe palamudu ilavesinin CH₄ üretimini azaltabileceği kanaatine varılmıştır (Ece ve Avcı, 2018). Koyun rasyonlarında, mısır silajı yerine %10, 20 ve 30 oranlarında sumak (*Rhus coriaria* L.) çalı yaprağı ilavesinin 24 saatlik *in vitro* gaz üretim değerleri 43,11- 46,77 ml/200 mg KM, CH₄ üretim değerleri 6,8-7,48 ml arasında bulunmuş ve sumak yaprağı dozunun artırılmasına paralel olarak gaz ve CH₄ üretiminin azaldığı (Kaya ve ark., 2022b); yonca kuru otu yerine %0, 10, 20, 30 oranlarında sığla (*Liquidambar orientalis*) ağaç yaprağı ilavesinin *in vitro* CH₄ emisyonu sırasıyla 13,23, 11,54, 7,37 ve 10,21 ml olarak belirlenerek sığla ağaç yapraklarını kullanımının başta %20 düzeyi (%44 azalma) olmak üzere tüm seviyelerinin CH₄ emisyonlarını önemli derecede düşürdüğü (Selçuk ve ark., 2024) bildirişlerinin aksine; Bakır ve ark. (2023) koyun TMR'larına yonca kuru otu yerine %0, 7,5, 15 ve 22,5 oranında akasya (*Robinia pseudocacia*) ağaç yaprakları ikamesinin *in vitro* CH₄ üretimi değerlerini sırasıyla 10,44, 9,52, 9,63 ve 11,76 ml olarak belirlemiş ve yaprak ikamelerinin anti-metanojenik etki göstermediğini rapor etmişlerdir.

Tablo 1. Ruminant rasyonlarına çeşitli ağaç yaprağı ilavelerinin CH₄ emisyonuna etkisi

Yaprak Kaynağı	Metan Emisyonu Üzerindeki Etkisi	Referans
Ada mimozası (<i>Leucaena leucocephala</i>) ya da İndigo (<i>Indigofera zollingeriana</i>)	- Ruminant rasyonlarında bataklık çimi (<i>Leersia hexandra</i>) yerine %30 ada mimozası (<i>Leucaena leucocephala</i>) ya da %30 indigo (<i>Indigofera zollingeriana</i>) yaprağı ya da %15 ada mimozası yaprağı + %15 indigo yaprağı ilavelerinin CH ₄ emisyonunu %20 civarında düşürdüğü,	Ali, 2025
Zeytin (<i>Olea europaea</i>)	- Ruminant alternatif yem kaynağı olan zeytin yapraklarının fermentasyonu sırasında sodyum hidroksit (NaOH) ile optimize edilmesinin CH ₄ ve CO ₂ üretimlerini azaltmada etkili olduğu	Ammar ve ark., 2025
Çınar (<i>Platanus orientalis</i> L.)	-Ruminant rasyonlarında aspir küspesine (<i>Carthamus tinctorius</i>) farklı oranlarda çınar yaprağı (%1, %2 ve %4) ilavelerinin CH ₄ üretimini etkilemediği,	Başer ve ark., 2025
Dut (<i>Morus alba</i>)	- Kuzu rasyonlarında yonca otu yerine farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20) dahil edilen dut yaprakları ilavesinin anti-metanojenik etkili olmadığı,	Erer ve Kamalak, 2025
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	- Koyun rasyonlarında yonca kuru otu yerine %15 moringa yaprağı ilavesinin CH ₄ emisyonunu %9 civarında azaltırken, %30 moringa ilavesinin CH ₄ emisyonunu %13 artırdığı,	Gómez-Chávez ve ark., 2025
Guava (<i>Psidium guajava</i>)	- Ruminant rasyonlarındaki mısır silajının %50, %75 ve %100'ünün guava yaprağı ile değiştirilmesi ile CH ₄ emisyonunda sırasıyla %9, %25 ve %34 azalma,	Momen ve ark., 2025
Afrika akasyası (<i>Vachellia tortilis</i>)	- Merinos kuzularının kesif yemlerine 121,5 g/kg Afrika akasyası (<i>Vachellia tortilis</i>) yaprak unu ilavesinin CH ₄ emisyonu üzerine etkili olmadığı,	Serumula ve ark., 2025
Defne (<i>Laurus nobilis</i>)	-Koyun rasyonlarına %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında defne yaprağı ilavesi ile CH ₄ emisyonunda sırasıyla %10,5, %12, %14 ve %18 azalma,	Kholif, 2024
Kayın (<i>Fagus orientalis</i>)	Süt sığırı rasyonlarında kuru çayır otu yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında gazel formunda kayın yaprağı ikamesi ile CH ₄ emisyonunun değişmediği,	Kaya ve ark., 2025
Guava (<i>Psidium guajava</i>)	-Batı Afrika cüce keçilerinin rasyonunda Panicum otu yerine %15, 30, 45 ve 60 seviyelerinde guava yaprağı ikamesinin <i>in vitro</i> CH ₄ üretimini düşürdüğü, özellikle %30 guava yaprağı ikamesinin %59 CH ₄ azaltımına neden olduğu,	Akinbod e ve ark., 2024a

Sodom elması (<i>Calotropis procera</i>)	-Ruminant rasyonlarına beş seviye (0, 5, 10, 15 ve 20 mg/g) <i>Calotropis procera</i> yaprağı ilavesinin CH ₄ üretimini düşürdüğü; 15 ve 20 mg/g yaprak ilavelerinin CH ₄ emisyonunu sırasıyla %29,67 ve %28,89 oranlarında azalttığı,	Akinbod e ve ark., 2024b
Anjan (<i>Hardwickia binata</i>)	-90 günlük erkek kuzuların yoğun enerjili bitirme rasyonlarına %6 anjan ağaç yaprakları ilavesinin hidrolize edilebilir tanen içeriğini artırdığı, rumen fermentasyonunu orta düzeyde etkileyerek metan üretimini azalttığı,	Bhatt ve ark., 2024
Zeytin (<i>Folium olivae</i>)	-Süt sığırı TMR'larında kuru çayır otunun yerine zeytin yaprağı (<i>Folium olivae</i>)'nın tamamen ikamesi ile CH ₄ gazı oluşumunda %23,4 azalma ölçümlendiği,	Göncü ve Kaya, 2024
Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i>)	- Koyun rasyonlarına yonca kuru otu yerine %20 sığla ağaç yaprağı ilavesi ile CH ₄ emisyonunda %44 azalma tespit edildiği,	Selçuk ve ark., 2024
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	-İtalyan çimine %4 oranında söğüt yaprağı ilavesi ile CH ₄ emisyonunda %6,7'lik azalma	Gürsoy, 2023
Akasya (<i>Robinia pseudocacia</i>)	- Koyun rasyonlarına yonca kuru otu yerine %0, 7,5, 15 ve 22,5 oranında akasya ağaç yaprağı ilavesi ile anti-metanojenik etkili olmadığı,	Bakır ve ark., 2023
Sandal (<i>Arbutus andrachne</i>)	- Ruminant rasyonlarında yer alan mısır silajı yerine farklı dozlarda %30 sandal ağacı (<i>Arbutus andrachne</i>) yaprağı ikamesi ile CH ₄ üretiminin %23.3 azaldığı,	Kaya ve ark., 2022a
Sumak (<i>Rhus coriaria</i> L.)	- Koyun rasyonlarında mısır silajı yerine farklı dozlarda (%10, %20 ve %30) sumak (<i>Rhus coriaria</i> L.) çalı yaprağı ikamesini doz artışına paralel olarak CH ₄ üretiminin düştüğü,	Kaya ve ark., 2022b
Meşe palamudu, meşe palamudu + zeolit	-Yonca kuru otu CH ₄ emisyon düzeyi ilavelerden etkilenmedi, ancak süt sığırı rasyonuna %2,5 ve %5 meşe palamadu ile %10 meşe palamudu + %2,5 zeolit ilavesi ile CH ₄ emisyonunda azalma,	Ece ve Avcı, 2018
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	- Buğday samanına % 50 ve %75, yonca kuru otu ve mısır silajına %75 seviyelerinde söğüt ağacı yaprağı ilavesinin CH ₄ üretimini düşürdüğü,	Oruç ve Avcı, 2018
Okaliptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	- Mısır silajı, yonca kuru otu, çayır kuru otu ve buğday samanına artan seviyelerde (%0.5, %1.0, %1.5, %2.0 ve %2.5) okaliptus yaprağı ilavesi ile CH ₄ gazı üretiminde azalma olduğu bildirilmiştir.	(Akçıl ve Denek, 2013)

Kocadayıoğulları ve ark. (2024), asma (*Vitis vinifera*), urum dutu (*Morus rubra*), elma (*Malus domestica*), kayısı (*Prunus armeniaca*) ve kiraz (*Prunus avium*) yapraklarının *in vitro* CH₄ gazı üretiminin sırasıyla 22,91, 25,12, 21,52, 23,84 ve 22,49 ml olduğunu ve CH₄ içeriklerinin

elma<üzüm=kiraz<kayısı<urum dutu şeklinde sıralandığını belirtmişlerdir. Kuşburnu (*Rosa canina*), siyah meyveli kuşburnu (*Rosa pimpinellifolia*), dağ muşmulası (*Cotoneaster nummularia*), yaban elması (*Malus sylvestris*), yalancı iğde (*Hippophae rhamnoides*), tüylü kartopu (*Viburnum lantana*), alıç (*Crataegus orientalis*) ve kuş eriği (*Prunus divaricata*) çalı yapraklarının yem değerlerini belirlemek ve kaba yem kaynaklarının yeterli olmadığı zamanlarda kaba yemlere alternatif olarak ruminant beslemede kullanılabirliklerini tespit etmek amacıyla yürütülen çalışmada çalı yapraklarının rumen sıvısıyla 24 saatlik *in vitro* inkübasyonlarında üretilen CH₄ gazı en fazla 7,31 ml/g KM ile kuş eriğinde, en az ise 4,51 ml/g KM ile siyah meyveli kuşburnuda bulunmuştur. *In vitro* CH₄ gazı üretimlerinin toplam gaz üretimi içerisindeki oranları %15,43 ile en yüksek kuş eriği yaprağında, %10,53 ile en düşük yaban elması yaprağında olan sıralama kuş eriği> alıç> dağ muşmulası> tüylü kartopu> kuşburnu> yaban elma $\geq$ yalancı iğde $\geq$ siyah meyveli kuşburnu şeklindedir (Yılmaz, 2021). Akasya (*Robinia pseudocacia*), kayın (*Fagos adsidue*), meşe (*Quercus* L), söğüt (*Salix alba*) ve kavak (*Populus* L) ağaçlarına ait gazel formundaki yaprakların *in vitro* CH₄ üretiminin 2.70-5.41 ml/200 mg KM arasında olduğu ve en yüksek CH₄ üretiminin kayın yaprağı, en düşük CH₄ üretiminin ise meşe yaprağında olduğu saptanmıştır (Özdemir ve Kaya, 2020). Fermente edilmiş ve edilmemiş yeşil çay, siyah çay, oolong çay ve beyaz çay (*Camellia sinensis*) yapraklarının CH₄ emisyonunun değerlendirildiği çalışmada en yüksek CH₄ üretimi fermente yeşil çayda (%2,35), en düşük CH₄ üretimi fermente oolong çayında (%0,89) gözlenmiş ve ruminant yemlerinde yem katkı maddesi olarak kullanılan fermente oolong çayının enterik CH₄ üretimini azalttığı bildirilmiştir (Wahyuni ve ark., 2025). Türkiye'nin birçok bölgesinde bulunan ve ruminantlar için potansiyel yem kaynağı olan akasya (*Robinia pseudacacia*) yaprağının Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos olmak üzere 4 farklı dönemde toplanan bitki örneklerinde CH₄ üretimi Mayıs ve Haziran aylarında diğer dönemlerden daha düşük düzeyde olmak koşulu ile CH₄ (ml) ve %CH₄ düzeyleri sırasıyla 4.11-5.56 ml ve %10.60-12.57 arasında değişmiştir (Demirkol, 2019). Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz olmak üzere 4 farklı dönemde toplanan meşe, dişbudak ve patlangaç yaprağının CH₄ miktarı ve %CH₄ düzeyleri dönemlere göre sırasıyla meşe yapraklarında 3,5-3,7 ml ve %11.4-14.6, patlangaç yapraklarında 8.2-9.4 ml ve %20.2-28.6, diş budak yapraklarında 6.0-8.4 ml ve %19.6-36.8 arasında olduğu ve Mayıs-Haziran

aylarında toplanan yaprakların diğer dönemlerden daha düşük miktarda CH₄ ürettiği görülmüştür (Güney, 2019). Öte yandan Şirin ve Atalay (2024), farklı illerden toplanan at kestanesi (*Aesculus hippocastanum*) yapraklarının küresel ısınma ve çevre kirliliğinin çözümlenmesine katkı sağlayacak oranlarda antimetanojenik özellik göstermediğini ancak yaprakların besleme değerlerinin yüksek olması nedeniyle hayvan yemi olarak kullanılabileceğini ve ekonomiye katma değer sağlayabileceğini rapor etmişlerdir.

Çeşitli ağaç yapraklarının *in vitro* olarak tespit edilen CH₄ gazı emisyonları Tablo 2’de verilmiştir. Defne, gülibrişim, meyan, söğüt, akasya, sığla, ardıç, meşe, sedir, sandal ağaç yapraklarının 24 saatlik inkübasyonları sonucu oluşan CH₄ (ml) ve %CH₄ üretimleri sırasıyla 1,50-4,98 ml, %6,76-12,46 arasında değişmiş olup (Tablo 2) en düşük CH₄ ve %CH₄ üretim değerleri meyan yapraklarında, en yüksek üretim ise gülibrişim yapraklarında bulunmuştur (Yavuz ve Öztürk, 2023). Bazı baklagil ağaçlarından (top akasya, pembe çiçekli akasya, yalancı akasya, gülibrişim, kurşun, gladiçya, keçiboynuzu) toplanan yaprakların CH₄ miktarı 5.78 ile 10.47 ml arasında değişmiş olup en yüksek CH₄ üretimi gladiçya ile gülibrişim yaprağında olmuştur. En düşük *in vitro* CH₄ üretim değeri %11.08 ile kurşun yapraklarında belirlenirken, en yüksek CH₄ üretim değeri %15.71 ile gladiçya yapraklarında belirlenmiştir (Başer ve Kamalak, 2020). Meyan (*Glycyrrhiza glabra*), söğüt (*Salix alba*), menengiç (*Pistacia terebinthus*), yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*), sumak (*Rhus coriaria*), gladiçya (*Gleditsia triacanthos*), mazı meşesi (*Quercus infectoria*), defne (*Laurus nobilis*), beyaz dut (*Morus alba*) ve keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*) ağaç yapraklarının *in vitro* CH₄ üretimi 1,69 ve 6,87 ml arasında değişmiş olup (Tablo 2) en yüksek CH₄ emisyonu *Morus alba* yapraklarında, en düşük CH₄ emisyonu *Pistacia terebinthus* yapraklarında olmuştur. CH₄ emisyonu yüzde olarak %11,14 ile 18,68 arasında değişmiştir. *Morus alba* yapraklarından üretilen CH₄ yüzdesel olarak en yüksek en düşük değer ise yine *Pistacia terebinthus* yapraklarında olmuştur. Öte yandan, toplam gaz üretimi CH₄ (ml) ve %CH₄ değerleri mikrobiyal büyüme için sınırlayıcı faktörlerden biri olan ham protein ile pozitif korelasyon göstermiştir (Zebari, 2015). Şeftali (*Prunus persica*), erik (*Prunus domestica*), kiraz (*Prunus avium*), kayısı (*Prunus armeniaca*), elma (*Malus domestica*), kara erik (*Prunus domestica spp.*), armut (*Pyrus communis*) ağaçlarının sonbahar aylarında dökülen yapraklarının 24 saatlik inkübe işlemi sonucu üretilen CH₄ miktarı

10,52-15,63 ml aralığında değişmiş, en yüksek CH₄ üretimi erik, kayısı ve şeftali ağaç yapraklarından; en düşük CH₄ üretimi ise, armut yapraklarında görülmüş (Tablo 2) ve CH₄ üretim değerleri erik=kayısı=şeftali>elma=kara erik>kiraz>armut şeklinde sıralanmıştır (Malgaz ve Atalay, 2022). Badem, sedir, akasya, mersin, nar, okaliptus, kara mürver, zeytin, kayısı, üzüm, kavak ve ceviz yapraklarının *in vitro* CH₄ gazı üretim değerleri 4,52-8,7 ml arasında değişip, en yüksek CH₄ üretim değeri kavak (*Populus euphratica*), en düşük CH₄ üretim değeri okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*) yaprağından elde edilmiştir (Hassan, 2015). Küçükbaş hayvan beslemede kullanılan meşe yaprağının *in vitro* gaz ve CH₄ üretim değerleri sırasıyla 27,47 ml ve 3,14 ml, meşe palamudunun *in vitro* gaz ve CH₄ üretim değerleri sırasıyla 66,44 ml ve 11,64 ml olarak bulunmuş ve kermes meşesi yapraklarının orta seviyede CH₄ emisyonunu düşürme potansiyeli nedeniyle ruminant rasyonlarında kullanılabileceğine vurgu yapılmıştır (Kamalak ve ark., 2015). Öte yandan Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında meşe ağaçlarından toplanan yapraklarda 3,25-3,51 ml arasında değişen CH₄ düzeylerine ayların etkisi olmazken, mazı ağaç yapraklarının CH₄ düzeyleri ilerleyen aylara göre istatistiki olarak azalmış ve sırasıyla 4,21, 3,67, 3,47 ve 3,34 ml arasında değişmiştir (Kaya, 2021). Tanen içeren tesbih (*Styrax officinalis*), söğüt (*Salix alba*) ve karaağaç (*Alnus glutinosa*) yapraklarının anti-metanojenik özelliklerini *in vitro* gaz üretim testiyle belirlendiği çalışmada CH₄ miktarı ve CH₄ yüzdesi sırasıyla 4.03-5.59 ml ve %10.79 ile 13.05 arasında olup, en düşük CH₄ üretimi ve CH₄ yüzdesi söğüt yapraklarında bulunmuştur (Şimşek ve Kamalak, 2019).

Tablo 2. Çeşitli ağaç ve çalı yapraklarının CH₄ emisyon değerleri

Ağaç Kaynağı	Metan Emisyonu		Referans
	CH ₄ (ml)	CH ₄ (%)	
Defne (<i>Laurus nobilis</i>)	3,04	11,36	Yavuz ve Öztürk, 2023
Gülibrişim (<i>Albizia julibrissin</i>)	4,98	12,46	
Meyan (<i>Glycyrrhiza glabra</i>)*	1,50	6,76	
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	2,34	7,56	
Akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	3,50	10,89	
Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i>)	2,29	9,21	
Ardıç (<i>Juniperus communis</i>)	3,56	11,11	

Meşe (<i>Quercus coccifera</i>)	1,91	8,31	
Sedir (<i>Cedrus libani</i>)	2,64	9,32	
Sandal (<i>Arbutus andrachne</i>)	3,00	9,27	
Beyaz akasya (<i>Leucaena leucocephala</i>)*	0,56	28,00	Ángeles-Mayorga ve ark., 2022
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	17,44	46,80	
Siris (<i>Albizia lebbek</i>)	12,63	48,80	
Kulak kabuklu (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	6,85	51,80	
Balık ağacı (<i>Piscidia piscipula</i>)	5,20	41,50	
Ekmek cevizi (<i>Brosimum alicastrum</i>)	14,07	43,40	
Yabani demirhindi (<i>Lysiloma latisiliquum</i>)	4,18	35,60	
Hint karaağacı (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	4,00	23,70	
Chaya (<i>Cnidioscolus aconitifolius</i>)	19,45	44,30	
Hızlı çit ağacı (<i>Gliricidia sepium</i>)	13,61	42,60	
Reçine ağacı (<i>Bursera simaruba</i>)	7,36	38,20	
Şeftali (<i>Prunus persica</i>)	14,61	13,57	Malgaz ve Atalay, 2022
Erik (<i>Prunus domestica</i>)	15,63	13,72	
Kiraz (<i>Prunus avium</i>)	11,80	13,92	
Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i>)	15,36	14,56	
Elma (<i>Malus domestica</i>)	13,05	15,52	
Erik (<i>Prunus domestica</i> spp.)	13,20	14,51	
Armut (<i>Pyrus communis</i>)*	10,52	12,09	
Akasya (<i>Robinia pseudoecacia</i>)*	5,78	11,34	Başer ve Kamalak, 2020
Pembe çiçekli akasya (<i>Robinia hispida</i>)	6,77	12,27	
Akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	8,39	14,42	
Gülbrişim (<i>Albizia julibrissin</i>)	9,74	13,89	
Kurşun (<i>Leucaena leucocephala</i>)	6,24	11,08	
Gladiçya (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	10,47	15,71	
Keçiboynuzu (<i>Ceratonia siliqua</i>)	5,96	11,42	
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	6,44	22,44	Hassan, 2015
Sedir (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	5,56	20,81	
Akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	6,21	20,60	
Mersin (<i>Myrtus communis</i>)	7,99	19,87	
Nar (<i>Punica granatum</i>)	6,45	17,54	
Okalıptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)*	4,52	19,44	
Kara mürver (<i>Sambucus nigra</i>)	8,49	21,78	
Zeytin (<i>Olea europaea</i>)	6,19	20,43	
Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i>)	8,45	19,78	
Üzüm (<i>Vitis vinifera</i>)	5,92	18,11	
Kavak (<i>Populus euphratica</i>)	8,70	19,54	
Adi ceviz (<i>Juglans regia</i>)	8,26	21,70	
Meyan (<i>Glycyrrhiza glabra</i>)	4,39	17,22	Zebari, 2015
Söğüt (<i>Salix alba</i>)	4,22	13,29	
Menengiç (<i>Pistacia terebinthus</i>)*	1,69	11,14	

Akasya (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	4,95	17,74
Sumak (<i>Rhus coriaria</i>)	6,07	14,81
Gladiçya (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	5,60	18,46
Mazı meşesi (<i>Quercus infectoria</i>)	3,41	15,29
Defne (<i>Laurus nobilis</i>)	3,49	16,56
Beyaz dut (<i>Morus alba</i>)	6,87	18,68
Keçiboynuzu (<i>Ceratonia siliqua</i>)	3,25	15,83

**İlgili çalışmada istatistikî olarak en düşük CH₄ emisyonuna sahip yaprak kaynağı

SONUÇ

Ruminant hayvanlarda CH₄ üretimi hem enerji kaybına yol açması hem de küresel ısınmaya katkı sağlaması bakımından önemli bir sorundur. Rumen fermentasyonu sırasında oluşan CH₄, hayvanın aldığı enerjinin bir kısmının gaz formunda atmosfere salınmasıyla sonuçlanır ve bu durum yemden yararlanma verimini düşürür. Bu nedenle, CH₄ üretimini azaltmaya yönelik doğal ve sürdürülebilir stratejiler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ağaç ve çalı yapraklarının ruminant beslemede kullanımı hem besin değeri yüksek hem de anti-metanogenez özellikleri nedeniyle çevre dostu bir alternatif uygulama olarak öne çıkmaktadır. Bu bitkiler tanen, saponin, flavonoid, fenolik bileşikler ve diğer fitokimyasallar bakımından zengindir. Söz konusu bileşikler, rumen mikrobiyal ekosisteminde metanojenik arkeleri baskılayarak veya protozoa popülasyonunu azaltarak CH₄ üretimini sınırlayabilir. Ayrıca bazı türlerin uçucu yağ asidi profilini olumlu yönde değiştirdiği ve yem sindirilebilirliğini kısmen iyileştirdiği de bildirilmiştir. Bu derlemedeki ağaç ve çalı yapraklarının anti-metanojenik etkileri büyük ölçüde *in vitro* çalışmalardan elde edilen bulgulara dayanmaktadır. Dolayısıyla, farklı ağaç ve çalı türlerinin etkinliğini daha iyi anlayabilmek için *in vivo* koşullarda, farklı hayvan türleri, iklim ve besleme sistemleri altında yapılacak uzun süreli çalışmalar gerekmektedir. Böylece hem CH₄ azaltımının kalıcılığı hem de hayvan performansı üzerindeki etkiler daha net ortaya konulabilecektir.

Öneriler:

1. Metan üretimini azaltmada en etkili bitki türlerinin ve bu türlerdeki biyolojik aktif bileşiklerin (özellikle tanen ve saponinlerin) yapısal özellikleri detaylı olarak incelenmelidir.
2. Farklı ağaç ve çalı türlerinin kombinasyonları denenerek sinerjistik etkiler araştırılmalıdır.

3. *İn vitro* çalışmaların bulguları, *in vivo* denemeler ile doğrulanarak rumen mikrobiyal yapısı, hayvan performansı ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmeli; optimum kullanım düzeyleri belirlenmelidir.
4. Ağaç ve çalı yapraklarının yem kaynağı olarak kullanımı, yerel yem kaynaklarının etkin değerlendirilmesi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından desteklenmelidir.

Sonuç olarak, ağaç ve çalı yaprakları ruminant beslemede CH₄ azaltıcı, ekonomik ve çevre dostu yem kaynakları olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Bu tür doğal kaynakların rasyona uygun düzeylerde dahil edilmesi, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasına hem de sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akçıl, E., & Denek, N. (2013). Investigation of different levels Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis) leaves effect on *in vitro* methane production of some roughages. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 2(2), 75-81.
- Akinbode, R. M., Adebayo, K. O., Isah, O. A., Oyewusi, I. K., Oloyede, A. R., & Adebayo, F. D. (2024a). Effects of guava leaf (Psidium Guajava) supplementation in the diet of ruminant on *in vitro* methane production, degradability and protozoa population. *Nigerian Journal of Animal Production*, 1752-1756. <https://doi.org/10.51791/njap.vi.7294>
- Akinbode, R. M., Osigwe, E. H., Adebayo, K. O., & Rahman, K. F. (2024b). Effects of sodom apple (Calotropis procera) leaf powder as additive in a total mixed ration on *in vitro* rumen fermentation characteristics and methane production. *Nigerian Journal of Animal Production*, 51(5), 86-102. <https://doi.org/10.51791/njap.v51i5.8268>
- Aksoy, A., Macit, M., Ve Karaoğlu, M., 2000. Hayvan Besleme Ders Kitabı, Enerji Metabolizması, Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 220, Erzurum.
- Ali, A. I. M. (2025). Effect of combining leucaena and indigofera leaves in swamp grass-based diets on digestibility, rumen fermentability and methanogenesis. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 56(1), 391-401. <https://doi.org/10.36103/kk0g8487>
- Altan, N. N., & Acar, M. C. (2022). Ruminant Beslemede Enterik Metan Salınımını Azaltmaya Yönelik Stratejiler. In *6th International Students Science Congress.(1)* (pp. 1-7).
- Ammar, H., Kholif, A. E., Adegbeye, M. J., Anele, U. Y., Morsy, T. A., Abdo, M. M., ... & Chahine, M. (2025). Optimizing olive (olea europaea) Leaves as a sustainable ruminant feed: effects of chemical treatments on nutritional value and greenhouse gas emissions. *Animals*, 15(5), 705. <https://doi.org/10.3390/ani15050705>
- Ángeles-Mayorga, Y., Cen-Cen, E. R., Crosby-Galván, M. M., Ramírez-Bribiesca, J. E., Candelaria-Martínez, B., Sánchez-Villarreal, A., & Ramírez-Mella, M. (2022). Foliage of tropical trees and shrubs and their secondary metabolites modify *in vitro* ruminal fermentation, methane

- and gas production without a tight correlation with the microbiota. *Animals*, 12(19), 2628. <https://doi.org/10.3390/ani12192628>
- Anonim. (2023). 2023 Yılı hayvancılık sektör raporu. <https://www.tigem.gov.tr/Folder/CarouselDosyasi/d722366d-7a4d-4929-ab06-10bc2614778e.pdf> (Erişim Tarihi:13.03.2025)
- Anonymous. (2025). UN Population Division Data Portal. <https://population.un.org/dataportal/> (Erişim Tarihi: 13.03.2025)
- Arndt, C., Powell, J. M., Aguerre, M. J., & Wattiaux, M. A. (2015). Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 418-430. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8298>
- Bakır, T., Selçuk, B., Bilal, Y., & Akçam, H. (2023). Koyun TMR'larına Artan Seviyelerde Akasya Ağaç Yapraklarının Sindirim Derecesi ve Fermentasyon Parametrelerine Etkisi. *Kocatepe Veterinary Journal*, 16(2), 226-233. <https://doi.org/10.30607/kvj.1238271>
- Başer, A., & Kamalak, A. (2020). Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde yetişen bazı baklagil ağaç yapraklarının yem değerleri ve *in vitro* fermentasyon özellikleri. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(4), 940-947. <https://doi.org/10.30910/turkjans.734767>
- Başer, A., Kaya, A., Bakır, T., & Selçuk, B. (2025). Aspir Küspesine (*Carthamus tinctorius*) yem katkı maddesi olarak Çınar Yapağının (*Platanus orientalis* L.) İkamesi; *In Vitro* Gaz Üretimi ve Sindirilebilirlik Üzerine Etkileri. *Journal of Animal Science and Economics*, 4(2), 81-87. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16410013>
- Bature, I., Xiaohu, W., & Ding, X. (2024). The roles of phytogenic feed additives, trees, shrubs, and forages on mitigating ruminant methane emission. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1475322. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1475322>
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21-27. <https://doi.org/10.1071/EA07199>
- Beauchemin, K. A., Ungerfeld, E. M., Abdalla, A. L., Alvarez, C., Arndt, C., Becquet, P., ... & Kebreab, E. (2022). Invited review: Current enteric

- methane mitigation options. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9297-9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- Benchaar, C., Hassanat, F., Martineau, R., & Gervais, R. (2015). Linseed oil supplementation to dairy cows fed diets based on red clover silage or corn silage: Effects on methane production, rumen fermentation, nutrient digestibility, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7993-8008. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9398>
- Bhatt, R. S., Sarkar, S., Soni, L., Sharma, P., Sahoo, A., & Soni, A. (2024). Effect of supplementation of bioactive rich tree leaves on nutrient utilization, growth performance, methane emission and fatty acid profile in finisher lambs fed energy dense diet. *Small Ruminant Research*, 234, 107259. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107259>
- Boadi, D. A., Wittenberg, K. M., Scott, S. L., Burton, D., Buckley, K., Small, J. A., & Ominski, K. H. (2004). Effect of low and high forage diet on enteric and manure pack greenhouse gas emissions from a feedlot. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(3), 445-453. <https://doi.org/10.4141/A03-079>
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 78-93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
- Borhan, MS, Mukhtar, S, Capareda, S & Rahman, S 2012, 'Greenhouse Gas Emissions from Housing and Manure Management Systems at Confined Livestock Operations', Waste Management - An Integrated Vision, Dr. Luis Fernando Marmolejo Rebellon (Ed.), ISBN: 978-953- 51-0795-8, InTech, <http://dx.org/10.5772/511175>
- Broucek, J. (2018). Methane abatement strategies based on genetics and dietary manipulation of ruminants: a review. *Archivos de zootecnia*, 67(259).
- Calabrò, P. S. (2009). Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection. *Waste management*, 29(7), 2178-2187. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.011>
- Cammack KM, Austin KJ, Lamberson WR, Conant GC, Cunningham HC. Ruminant nutrition symposium: tiny but mighty: the role of the rumen

- microbes in livestock production. *J. Anim. Sci.* 2018;96:752–770. <https://doi.org/10.1093/jas/skx053>
- Canbolat Ö, Kara F, Filya İ. (2013). Bazı baklagil kaba yemlerin *in vitro* gaz üretimi, metabolik enerji, organik madde sindirimi ve mikrobiyal protein üretimlerinin karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 71-81.
- Cengiz, T., & Kamalak, A. (2020). Farklı bölgelerde yetişen söğüt yapraklarının potansiyel besleme değerlerinin ve anti-metanojenik özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1351-1358. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.679689>
- Choudhary, S., Santra, A., Muwel, N., Sarkar, S., Mandal, A., & Das, S. K. (2022). Screening of forest tree leaves from North Eastern Himalayan region as feed additives for modulating *in vitro* rumen fermentation and methanogenesis from total mixed ration. *Agroforestry Systems*, 96(2), 359-374. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00724-5>
- Cieslak, A., Szumacher-Strabel, M., Stochmal, A., and Oleszek, W. Plant components with specific activities against rumen methanogens. *Animal*. (2013) 7:253–65. doi: <https://doi.org/10.1017/s1751731113000852>
- Congio, G. F., Bannink, A., Mayorga, O. L., Rodrigues, J. P., Bougouin, A., Kebreab, E., ... & Hristov, A. N. (2022). Prediction of enteric methane production and yield in dairy cattle using a Latin America and Caribbean database. *Science of the Total Environment*, 825, 153982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153982>
- Cuervo, W., Gomez-Lopez, C., & DiLorenzo, N. (2025). Methane Synthesis as a Source of Energy Loss Impacting Microbial Protein Synthesis in Beef Cattle—A Review. *Methane*, 4(2), 10. <https://doi.org/10.3390/methane4020010>
- Demirkol, İ. (2019). Akasya yaprağının besleme değeri ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye.
- Dhanasekaran, D. K., Dias-Silva, T. P., Filho, A. L. A., Sakita, G. Z., Abdalla, A. L., Louvandini, H., & Elghandour, M. M. (2020). Plants extract and bioactive compounds on rumen methanogenesis. *Agroforestry*

- Systems*, 94(4), 1541-1553. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00411-6>
- Ece Z, Avcı M. 2018. Yonca kuru otu ve süt sığırı rasyonuna zeolit ve meşe palamudu ilavesinin *in vitro* organik madde sindirimi ve metan oluşumu üzerine etkisi. *Harran Üniv Vet Fak Derg*, 7(1): 67-73. <https://doi.org/10.31196/huvfd.470790>
- Erer, M., & Kamalak, A. Kuzu Rasyonlarında Kullanılan Dut Yapraklarının Anti-Metanojenik ve Anti-Proteolitik Etkilerinin Belirlenmesi. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 8(5), 17-18. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1642846>
- Ghanbari Maman, L., Palizban, F., Fallah Atanaki, F., Elmi Ghiasi, N., Ariaeenejad, S., Ghaffari, M. R., ... & Kavousi, K. (2020). Co-abundance analysis reveals hidden players associated with high methane yield phenotype in sheep rumen microbiome. *Scientific Reports*, 10(1), 4995.
- Gómez-Chávez, J. A., Castillo-Castillo, Y., Castillo-Rangel, F., Domínguez-Viveros, J., & Ordóñez-Baquera, P. L. (2025). Effect of Moringa oleifera in *in vitro* rumen fermentation tests and its impact on greenhouse gases. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 16(1), 16-30. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i1.6471>
- Gowthami, R., Raghavendra, K. V., Shashank, R. (2014): Agriculture practices on GHG production: Adaptation and mitigation of GHG emission from agriculture sector. *Popular Kheti*, 2(4): 149-153.
- Göncü, M., & Kaya, H. (2024). Zeytin yaprağının (*Folium olivae*) süt sığırı toplam rasyon karışımlarında (TMR) kuru çayır otu yerine ikame edilebilirliğinin *in vitro* gaz üretim tekniği ile belirlenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(1), 106-114.
- Güney, A.S. (2019). Van yöresi bazı çalı ve ağaç türlerinin yem değerlerinin ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye*.
- Gürsoy, E. (2023). Potential feeding value, feed quality, microbial protein production, and anti-methanogenic properties of tree leaves admixed with Italian ryegrass at different ratios using *in vitro* gas production. *South african journal of animal science*, 53(4), 550-559. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/za>

- Hammond, K. J., Jones, A. K., Humphries, D. J., Crompton, L. A., & Reynolds, C. K. (2016). Effects of diet forage source and neutral detergent fiber content on milk production of dairy cattle and methane emissions determined using GreenFeed and respiration chamber techniques. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 7904-7917. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10759>
- Hao, P., Wu, X., Liu, Z., Tian, L., Zhang, X., Wang, X., ... & Ma, L. (2025). Integrating traditional and biotechnological innovations for mitigating greenhouse gas emissions in dairy farming in China. *Journal of Cleaner Production*, 486, 144457. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144457> Get rights and content
- Haque, M. N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of animal science and technology*, 60,1-10. <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>
- Hassan, K.G. (2015). Estimation of nutritive values, methane emission and tannins of some tree leaves around Erbil city in Iraq/Irak Erbil şehrinde elde edilen bazı ağaç yapraklarının besleme değeri, metan emisyonu ve tanin içeriklerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Graduate School Of Natural And Applied Science. Master Thesis, Kahramanmaraş, Turkey.
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D. I., Lettat, A., Chouinard, P. Y., ... & Benchaar, C. (2013). Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4553-4567. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6480>
- Hristov AN, Oh J, Firkins JL, Dijkstra J, Kebreab E, Waghorn G, Tricarico JM., 2013. Special Topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. 136 A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11): 5045– 5069. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- Hristov, A. N. (2024). Invited review: Advances in nutrition and feed additives to mitigate enteric methane emissions. *Journal of dairy science*, 107(7), 4129-4146. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24440>
- Huang, H., Szumacher-Strabel, M., Patra, A. K., Ślusarczyk, S., Lechniak, D., Vazirigohar, M., ... & Cieślak, A. (2021). Chemical and phytochemical

- composition, *in vitro* ruminal fermentation, methane production, and nutrient degradability of fresh and ensiled Paulownia hybrid leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 115038. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115038>
- Janssen, P. H. (2010). Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*, 160, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.002>
- Jayasundara, S., Worden, D., Weersink, A., Wright, T., VanderZaag, A., Gordon, R., & Wagner-Riddle, C. (2019). Improving farm profitability also reduces the carbon footprint of milk production in intensive dairy production systems. *Journal of cleaner production*, 229, 1018-1028. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.013>
- Kamalak, A., Hassan, K. G., Ameen, S. M., Zebari, H. M., Hasan, A. H., & Aslan, F. (2015). Determination of chemical composition, potential nutritive value and methane emission of oak tree (*Quercus coccifera*) leaves and nuts. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 4(1), 1-5.
- Kaya , A. (Adem), Kaya , A. (Ali), Kaya , H., Macit , M., & Palangi, V. (2025). Usability of Gazelle Form Beech Tree (*Fagus Orientalis* L.) leaves as an alternative roughage source in dairy cattle: using *in vitro* gas production method. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(4), 8325–8334. <https://doi.org/10.12681/jhvms.36990>
- Kaya, A., Başer, A., Kaya, A., & Selçuk, B. (2022a). Ruminant rasyonlarına farklı oranlarda ikame edilen Sandal Ağacı (*Arbutus Andrachne*) yapraklarının potansiyel yem değeri ve anti-metanojenik özelliklerinin *in vitro* gaz üretim yöntemi ile belirlenmesi. *Palandöken Journal of Animal Sciences Technology and Economics*, 1(1), 1-6.
- Kaya, A., Başer, A., Kaya, A., Selçuk, B., & Cengiz, T. (2022b). Determination of the antimethanogenic properties of sumac leaves (*Rhus coriaria* L.) substitution at different ratios instead of corn silage in sheep rations by *in vitro* gas production method. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(2), 309-312. [ttps://doi.org/10.24925/turjaf.v10i2.309-312.4887](https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i2.309-312.4887)

- Kaya, M. (2021). Diyarbakır yöresinde keçilerin beslenmesinde kullanılan bazı çalı ve ağaç türlerinin yem değerlerinin ve metan üretim potansiyelinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Urfa, Türkiye.
- Keser, O., & Kutay, C. (2021). Küresel ısınmaya karşı ruminantlarda metan emisyonunu azaltmaya yönelik besleme stratejileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 14(2), 138-159.
- Kholif, A. E. (2024). The impact of varying levels of *Laurus nobilis* leaves as a sustainable feed additive on ruminal fermentation: *in vitro* gas production, methane and carbon dioxide emissions, and ruminal degradability of a conventional diet for ruminants. *Fermentation*, 10(8), 387. <https://doi.org/10.3390/fermentation10080387>
- Kılıç, Ü. (2021). Buğday Samanına Farklı Dozlarda Yaban Mersini (*Myrtus communis*) Yaprakları İlavesinin Metan Üretimi Üzerine Etkisi. *International Multilingual Journal of Science and Technology*. 6(12):4595-4600.
- Kocadayıoğulları, F., Boğa, M., & Ermetin, O. (2024). Nutrient composition and metabolic energy of different fruit tree leaves as feeding sources for ruminants. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(3), 816-829. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1405298>
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., & Bujok, J. (2023). Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: Controversies and issues. *Agriculture*, 13(3), 602. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>
- Kumar, S., Choudhury, P. K., Carro, M. D., Griffith, G. W., Dagar, S. S., Puniya, M., ... & Puniya, A. K. (2014). New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(1), 31-44. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5365-0>
- Kumar, S., Puniya, A. K., Puniya, M., Dagar, S. S., Sirohi, S. K., Singh, K., & Griffith, G. W. (2009). Factors affecting rumen methanogens and methane mitigation strategies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 1557-1566. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0041-3>

- Lillehoj, H, Liu, Y, Calsamiglia, S, Fernandez-Miyakawa, ME, Chi, F, Cravens, RL, et al. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res.* (2018) 49:1–18. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>
- Liu, H., Vaddella, V., & Zhou, D. (2011). Effects of chestnut tannins and coconut oil on growth performance, methane emission, ruminal fermentation, and microbial populations in sheep. *Journal of dairy science*, 94(12), 6069-6077. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4508>
- Malgaz, M., & Atalay, A. İ. (2022). Sonbaharda dökülen ağaç yapraklarının kimyasal kompozisyonu ve metan üretim kapasiteleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1871-1883. <https://doi.org/10.21597/jist.1107876>
- Matthews C, Crispie F, Lewis E, Reid M, O'Toole PW, Cotter PD. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*. 2019;10:115–132. <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1505176>
- Mazzetto, A. M., Falconer, S., & Ledgard, S. (2022). Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9713-9725. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22117>
- Mitsumori, M., & Sun, W. (2008). Control of rumen microbial fermentation for mitigating methane emissions from the rumen. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(1), 144-154. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.r01>
- Moate, PJ, Williams, SRO, Jacobs, JL, Hannah, MC, Beauchemin, KA, Eckard, RJ & Wales, WJ 2017, 'Wheat is more potent than corn or barley for dietary mitigation of enteric methane emissions from dairy cows', *Journal of Dairy Science*, vol. 100, pp. 7139-7153. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12482>
- Momen, N. T., Sallam, S., Ibrahim, N., Attia, M. F., & Helal, A. (2025). Effect of using guava leaves in ruminant ration on ruminal fermentation characteristics, methane emission and nutrients digestibility. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 81-91. <https://doi.org/10.21608/avmj.2025.371043.1643>

- Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*. 2010;4:1024–36. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A. N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., ... & Yu, Z. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global change biology*, 24(8), 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Omojate Godstime, C, Enwa Felix, O, Jewo Augustina, O, and Eze Christopher, O. Mechanisms of antimicrobial actions of phytochemicals against enteric pathogens—a review. *J Pharm Chem Biol Sci*. (2014) 2:77–85.
- Oruç, A., & Avcı, M. (2018). Bazı kaba yemlere farklı seviyelerde ilave edilen söğüt ağacı (*Salix alba*) yaprağının *in vitro* sindirim ve metan oluşumu üzerine etkisi. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 7(1), 60-66. <https://doi.org/10.31196/huvfd.470754>
- Önel, S.E., Aksu, T., Alaşahan, S. (2021). Ruminantlarda enterik metan emisyonunu azaltma stratejilerinde tanenlerin rolü ve önemi. *Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 127-138.
- Özdemir, Ö., & Kaya, A. (2020). Bazı ağaç yapraklarının *in vitro* gaz üretim tekniğiyle yem değerlerinin belirlenmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(3), 454-461. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.721969>
- Özel, O., & Sarıçiçek, B. (2009). Ruminantlarda rumen mikroorganizmalarının varlığı ve önemi (derleme). *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(3), 277-285.
- Özelçam, H., İpçak, H. H., Özüretmen, S., & Canbolat, Ö. (2021). Feed value of dried and ensiled paulownia (*Paulownia* spp.) leaves and their relationship to rumen fermentation, *in vitro* digestibility, and gas production characteristics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e20210057. <https://doi.org/10.37496/rbz5020210057>
- Pal, K., Patra, A. K., Sahoo, A., & Kumawat, P. K. (2015). Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation *in vitro*. *Livestock Science*, 180, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011>
- Patra, A, Park, T, Kim, M, and Yu, Z. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *J*

- Anim Sci Biotechnol.* (2017) 8:1–18. doi: 10.1186/s40104-017-0145-9.
<https://doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>
- Puchalska, J., Szumacher-Strabel, M., Patra, A. K., Ślusarczyk, S., Gao, M., Petrič, D., ... & Cieślak, A. (2021). The effect of different concentrations of total polyphenols from Paulownia hybrid leaves on ruminal fermentation, methane production and microorganisms. *Animals*, 11(10), 2843.
<https://doi.org/10.3390/ani11102843>
- Rafferty, J.P., (2010). *Grazers*. Britannica Educational Publishing, 1. edn, New York.
- Reddy, P.R.K., Hyder, I. (2023). Ruminant Digestion. In: Das, P.K., Sejian, V., Mukherjee, J., Banerjee, D. (eds) *Textbook of Veterinary Physiology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_14
- Ribeiro Pereira, L. G., Machado, F. S., Campos, M. M., Guimaraes Júnior, R., Tomich, T. R., Reis, L. G., & Coombs, C. (2015). Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(2), 124-143.
<https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n2a02>
- Saunio, M., Jackson, R. B., Bousquet, P., Poulter, B., & Canadell, J. G. (2016). The growing role of methane in anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*, 11(12), 120207.
<https://doi.org/10.1039/c6em00111a>
- Selçuk, B., Bakır, T., Bilal, Y., & Akçam, H. (2024). Sığla (*Liquidambar orientalis*) Ağaç Yapraklarının Koyun Diyetlerine İlavesinin Fermentasyon ve Sindirim Derecelerine Etkilerinin İn vitro Gaz Üretim Tekniği ile Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 674-683.
<https://doi.org/10.47495/okufbed.1246377>
- Serumula, M. D., Pepeta, B. N., Moyo, M., Suinyuy, T. N., & Nsahlai, I. V. (2025). Effect of Vachellia tortilis Leaf Meal and Sunflower Oil Inclusion in Supplementary Diets of Lambs on *In Vitro* Short-Chain Fatty Acid and Gas Production and *In Vivo* Growth Performance. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 15(6), 863.
<https://doi.org/10.3390/ani15060863>

- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., ... & Wratt, D. (2007). Technical summary. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor and HL Miller (eds.)].
- Şimşek, N., & Kamalak, A. (2019). Bazı ağaç yapraklarının anti metanojenik özelliklerinin *in vitro* gaz üretim tekniği ile belirlenmesi. *Black Sea Journal of Agriculture*, 2(1), 1-5.
- Şirin, N., Atalay, A. İ. (2024). Farklı Bölgelerde Yetişen At Kestanesinin (*Aesculus hippocastanum*) Potansiyel Besleme Değeri ve Anti Metanojenik Potansiyelinin Belirlenmesi. *Journal of Agriculture*, 7(2), 212-220. <https://doi.org/10.46876/ja.1569380>
- Tava, A, Biazzi, E, Ronga, D, Pecetti, L, and Avato, P. Biologically active compounds from forage plants. *Phytochem Rev.* (2022) 21:471–501. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09779-9>
- Tee, T. P., Goh, Y. M., Zainudin, M. H. M., Candyrine, S. C. L., Sommart, K., Kongphitee, K., ... & Liang, J. B. (2022). Enteric methane emission models for diverse beef cattle feeding systems in South-east Asia: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 294, 115474. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115474>
- Tseten, T., Sanjorjo, R. A., Kwon, M., & Kim, S. W. (2022). Strategies to mitigate enteric methane emissions from ruminant animals. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(3), 269. <https://doi.org/10.4014/jmb.2202.02019>
- Uddin, M. E., Santana, O. I., Weigel, K. A., & Wattiaux, M. A. (2020). Enteric methane, lactation performances, digestibility, and metabolism of nitrogen and energy of Holsteins and Jerseys fed 2 levels of forage fiber from alfalfa silage or corn silage. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6087-6099. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17599>
- van Gastelen, S., Dijkstra, J., Heck, J. M., Kindermann, M., Klop, A., de Mol, R., ... & Bannink, A. (2022). Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of dairy science*, 105(5), 4064-4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>

- Videv, E., Angelova, T., & Krustanov, J. (2024). Opportunities to reduce methane emissions (CH₄) in the digestive processes of ruminant animals. Review. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry/Životnov Dni Nauki*, 61(1). <https://doi.org/10.61308/HDZX9447>
- Wahyuni, S., Sudarman, A., Sofyan, A., Permata, D., Darma, I. N. G., Ramdani, D., ... & Jayanegara, A. (2025). Methane emission and nutritive evaluation of green, black, oolong, and white tea leaves. *Biodiversitas*, 26(7), 3423-3433. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260733>
- Yavuz, S., & Öztürk, D. (2023). Investigation of potential nutritive values of some tree leaves and its extracts by using in vitro gas production. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(2), 459-469. <https://orcid.org/0000-0002-7706-1798>
- Yılmaz F. (2021). Erzurum ilinde yetişen bazı çalı formulu ağaç yapraklarının *in vitro* gaz üretim tekniğiyle yem değerlerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye.
- Zebari, H. M. Z. (2015). Potential nutritive value, methane production and tannin contents of some tree leaves. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Graduate School Of Natural And Applied Science. Master Thesis, Kahramanmaraş, Turkey.

BÖLÜM 6

RUMİNANT BESLEMEDE VİTAMİNLERİN MODERN FİZYOLOJİK VE METABOLİK YÖNETİMİ: GENOMİK, SİSTEM BİYOLOJİSİ VE KLİNİK UYGULAMALAR

Bilal SELÇUK¹, Yakup BİLAL², Tuğba BAKIR²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17990148>

¹ Öğr. Gör. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ladik Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Samsun, Türkiye ORCID 0000-0001-9136-5707

²Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Kahramanmaraş ORCID 0000-0001-9785-5395

²Arş. Gör., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Kahramanmaraş ORCID 0000-0003-2185-7137

1. Giriş: Ruminant Vitamin Beslemesinde Paradigma Değişimi

Ruminant besleme biliminin tarihsel gelişimi incelendiğinde, vitaminlerin uzun süre boyunca sadece "karanlıkta kalan" mikro besin maddeleri olarak görüldüğü ve rumen mikroorganizmalarının sentez kapasitesine aşırı güven duyulduğu görülmektedir. Geleneksel zootekni ve veteriner hekimliği öğretisi, ruminantların (sığır, koyun, keçi) rumenlerinde simbiyotik olarak yaşayan bakterilerin, suda eriyen vitaminlerin (B kompleksi ve C vitamini) ve K vitamininin tamamını sentezleyebildiğini; dışarıdan sadece A, D ve E vitaminlerinin takviye edilmesinin yeterli olduğunu savunmuştur. Ancak son 20 yılda genetik seleksiyonla elde edilen yüksek verimli süt ineklerinin ve hızlı büyüyen besi sığırlarının metabolik talepleri, bu evrimsel dengenin sınırlarını zorlamıştır.

Modern yaklaşım, vitaminleri sadece enzim kofaktörü olarak değil, nükleer reseptörlere bağlanarak gen transkripsiyonunu düzenleyen hormon benzeri sinyal molekülleri olarak tanımlar. Özellikle geçiş dönemindeki ineklerde gözlenen negatif enerji dengesi, oksidatif stres ve immünosupresyon, vitamin gereksinimlerini "idame" seviyesinin çok üzerine çıkarmaktadır. Bu bölümde, vitaminlerin ruminant metabolizmasındaki çok katmanlı rolleri, en güncel literatür ışığında ve moleküler mekanizmalarla detaylandırılacaktır.

Bu bölümde, ruminant beslemesinde vitaminlerin rolünü, geleneksel "eksiklik önleme" paradigmasından çıkarıp, gen ekspresyonu, immünomodülasyon, reproduktif performans ve ürün kalitesini optimize etmeyi hedefleyen modern bir "sistem biyolojisi" yaklaşımıyla ele almaktadır. Rapor, yağda ve suda eriyen vitaminlerin metabolizmasını, rumen mikrobiyotasının biyosentez kapasitesine dair en yeni metagenomik bulguları ve geçiş dönemi (periparturient) sığırlarında kritik olan vitamin-mineral etkileşimlerini derinlemesine irdellemektedir. Özellikle 2020-2025 yılları arasında yayımlanan (Ding ve ark., 2025; Ametaj, 2025; Herrera ve ark., 2024) ve ruminant fizyolojisinde paradigma değişikliği yaratan araştırmalar temel alınmıştır.

2. Yağda Eriyen Vitaminler: Homeostaz, Toksisite ve Genomik Etkileşimler

Yağda eriyen vitaminler (A, D, E ve K), diyetteki lipidlerle birlikte misel formasyonuna girerek ince bağırsaktan emilir ve şilomikronlar aracılığıyla lenfatik sisteme taşınır. Ruminantlarda bu vitaminlerin yönetimi, rumen fermantasyonunun yıkıcı etkileri ve karaciğerin depolama kapasitesi nedeniyle monogastriklerden farklılaşır.

2.1. Vitamin A ve Beta-Karoten: Epitel Bütünlüğünden Gen Regülasyonuna

Ruminantlar için A vitamininin (retinol) birincil doğal kaynağı, taze yeşil yemlerde bol miktarda bulunan ancak kurutulmuş otlarda ve silajlarda hızla okside olan beta-karotendir. Beta-karoten, intestinal mukozada *beta-karoten 15,15'-monooksijenaz* enzimi tarafından parçalanarak retinola dönüştürülür. Ancak bu dönüşüm verimliliği sığırlarda düşüktür ve ırk, yaş ve rasyon kompozisyonuna göre değişir.

2.1.1. Ruminal Yıkım ve Biyoyararlanım Sorunsalı

Uzun yıllar boyunca diyetle alınan A vitamininin rumende stabil olduğu düşünülmüştür. Ancak yapılan in vitro ve in vivo çalışmalar, özellikle yüksek nişasta içeren (high-concentrate) rasyonlarda ruminal yıkımın %60 seviyelerine ulaşabildiğini göstermiştir (Weiss ve ark., 1995; Warner ve ark., 1970). Bu durum, besi sığırlarında ve yüksek verimli süt ineklerinde NRC (2001) tarafından önerilen seviyelerin (süt inekleri için ~110 IU/kg canlı ağırlık) yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Rasyonun silaj ağırlıklı olması veya nitrat içeriğinin yüksek olması, ruminal ortamda nitrit birikimine yol açarak beta-karoten ve retinolün yıkımını daha da hızlandırmaktadır.

2.1.2. İmmün Fonksiyon ve Reprodüktif Etkiler

Vitamin A'nın en kritik rolü, mukozal bariyer bütünlüğünün korunması ve immün hücre proliferasyonudur. Retinoik asit, lenfositlerde spesifik nükleer reseptörlere (RAR/RXR) bağlanarak gen ekspresyonunu modüle eder. Eksikliğinde; gece körlüğü, kornea keratinizasyonu (kseroftalmi), epitel doku dejenerasyonu ve buna bağlı solunum/sindirim sistemi enfeksiyonları artar.

Reprodüktif açıdan ise, boğalarda spermatogenez bozuklukları, ineklerde ise abort, retensiyo sekundinarum (eşin atılamaması) ve zayıf buzağı doğumları görülür.

Önemli Bir Ayrım: Toksisite

Ruminantlar karaciğerde önemli miktarda A vitamini depolayabilirler. Ancak uzun süreli aşırı doz (günlük gereksinimin 50-100 katı) uygulamaları, periost (kemik zarı) kalınlaşması, eklem anomalileri ve deri lezyonları ile karakterize kronik toksisiteye yol açar. İlginç bir şekilde, beta-karotenin retinola dönüşümü fizyolojik geri bildirim mekanizmalarıyla sınırlandırıldığı için, provitamin kaynaklarından toksisite gelişmesi beklenmez; bu durum sentetik retinol takviyeleri için geçerli bir risktir.

2.2. Vitamin D: Kalsiyum Homeostazından Sistem Biyolojisine

Geleneksel olarak "kemik vitamini" olarak bilinen Vitamin D'nin (Kolekalsiferol), son yıllarda immün sistemin en güçlü düzenleyicilerinden biri olduğu anlaşılmıştır. Ruminantlarda Vitamin D metabolizması, özellikle laktasyonun başlangıcında görülen Süt Humması (Hipokalsemi) etyolojisinde merkezi bir rol oynar.

2.2.1. Süt Hummasına Modern Bakış: Kalsi-Enflamatuar Eksen

Doğumla birlikte başlayan kolostrum ve süt üretimi, ineklerde ani ve devasa bir kalsiyum talebi yaratır. Kandaki kalsiyumun düşmesi (hipokalsemi), paratiroid hormon (PTH) salınımını tetikler; PTH ise böbreklerde 25(OH)D3'ün aktif form olan 1,25(OH)2D3'e dönüşümünü sağlar. Bu aktif vitamin, bağırsaklardan kalsiyum emilimini ve kemiklerden kalsiyum mobilizasyonunu artırır. Ancak, bu klasik mekanizma her zaman işe yaramaz ve inek "yatar" (parezis).

Ametaj (2025) tarafından *Veterinary Sciences* dergisinde yayımlanan devrim niteliğindeki makale, süt hummasını basit bir mineral eksikliği olmaktan çıkarıp, "sistem biyolojisi" çerçevesine oturtmaktadır. Çalışmaya göre:

- **Enflamasyonun Rolü:** Doğum stresi ve bakteriyel translokasyon (endotoksinler), pro-enflamatuar sitokinlerin (TNF- α , IL-1 β) salınımına neden olur.
- **Reseptör Duyarsızlaşması:** Bu sitokinler, dokuların (böbrek ve kemik) PTH ve Vitamin D sinyallerine verdiği yanıtı köreltir. Buna "Kalsi-Enflamatuar Eksen" (Calci-Inflammatory Axis) adı verilmiştir.
- **Sonuç:** İnekte yeterli hormon ve vitamin öncülü olsa bile, enflamasyon nedeniyle kalsiyum mobilize edilemez ve hipokalsemi derinleşir.

Bu bulgular, süt humması yönetiminde sadece kalsiyum tuzu vermenin veya rasyonun anyon-kasyon dengesini (DCAD) ayarlamanın ötesinde, enflamasyonu yöneten immünomodülatör stratejilerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Ametaj, 2025).

2.2.2. Genomik Belirteçler

Süt hummasına yatkınlıkta genetik faktörlerin rolü de artık daha iyi anlaşılmaktadır. Yapılan genom geniş çaplı ilişkilendirme çalışmaları (GWAS), *CYP27A1* (Vitamin D 25-hidroksilaz) ve *GC* (Vitamin D bağlayıcı protein) genlerindeki varyasyonların, ineklerin Vitamin D'yi ne kadar hızlı aktifleyebileceğini belirlediğini göstermiştir. Bu genlerdeki polimorfizmler, bazı ineklerin neden diğerlerine göre hipokalsemiye daha yatkın olduğunu açıklamaktadır.⁹

2.3. Vitamin E ve Selenyum: Sinerjistik Koruma ve Ürün Kalitesi

Vitamin E (alfa-tokoferol) ve iz element Selenyum (Se), hücre membranlarını oksidatif hasara karşı koruyan entegre bir savunma hattı oluşturur. Vitamin E, hücre zarındaki çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) peroksidasyonunu önlerken (zincir kırıcı antioksidan), Se, sitozolde hidroperoksitleri suya indirgeyen Glutatyon Peroksidaz (GSH-Px) enziminin yapısına girer.

2.3.1. Mastitis ve Metritis Yönetiminde E+Se Sinerjisi

Geçiş dönemi ineklerinde nötrofil fonksiyonlarının (fagositoz ve intrasellüler öldürme) baskılanması, mastitis ve metritis vakalarının temel nedenidir. **Ding ve ark. (2025)** tarafından *Veterinary World* dergisinde yayımlanan çalışma, bu iki mikro besinin kombine kullanımının etkilerini net bir şekilde ortaya koymuştur.

- **Metodoloji:** Geçiş dönemindeki ineklere (n=40), Vitamin E (3000 IU/baş, enjeksiyon) ve Selenyum (1.5 mg/kg, oral) tek başına ve kombine olarak uygulanmıştır.
- **Bulgular:** Kombine grup (VE+Se), plazma antioksidan kapasitesini (T-AOC, SOD, GSH-Px) maksimize ederken, oksidatif stres belirteci olan Malondialdehit (MDA) seviyelerini düşürmüştür. En önemlisi, mastitis, metritis ve ketozis insidansında istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) bir azalma sağlanmıştır.
- **Ekonomik Analiz:** Hastalık maliyetlerinin azalması ve süt veriminin korunması sayesinde, en yüksek günlük net kar kombine grupta elde edilmiştir (Ding ve ark., 2025).

2.3.2. Et Kalitesi: Raf Ömrü ve Renk Stabilitesi Üzerine Yeni Bulgular

Besi sığırlarında Vitamin E, sadece hayvan sağlığı için değil, karkas kalitesi ve etin raf ömrü için de kritiktir. Tüketici tercihini belirleyen en önemli faktör olan et rengi (parlak kiraz kırmızısı), miyoglobinin oksitlenerek metmiyoglobine (kahverengi) dönüşmesiyle bozulur.

Herrera ve ark. (2024) tarafından *Meat and Muscle Biology* dergisinde yayımlanan güncel bir araştırma, "supranutrisyonel" (besinsel gereksinimin çok üzerinde) Vitamin E uygulamasının, özellikle uzun süreli olgunlaştırma (aging) süreçlerinde et kalitesini nasıl koruduğunu incelemiştir.

- **Uygulama:** Besi sığırlarına kesimden önceki son 100 gün boyunca günlük 2.200 IU alfa-tokoferol verilmiştir.
- **Sonuçlar:** Yüksek doz Vitamin E alan gruptan elde edilen etler, 21, 42 ve hatta 63 günlük vakumlu olgunlaştırma süreçlerinden sonra bile perakende raflarında daha az renk bozulması (discoloration) ve daha düşük lipid oksidasyonu göstermiştir.

- **Önemi:** Bu bulgu, özellikle et ihracatı yapan ve uzun lojistik sürelerle ihtiyaç duyan ülkeler için kritik bir ekonomik avantaj sunmaktadır. Vitamin E, hücre zarlarındaki fosfolipidlerin oksidasyonunu geciktirerek miyoglobinin stabilitesini korumakta ve "raf ömrünü" uzatmaktadır (Herrera ve ark., 2024)

3. Suda Eriyen Vitaminler: B Grubu ve C Vitamininde "Sentez Yeterliliği" Efsanesinin Çöküşü

Ruminant beslemesindeki en büyük yanılgılardan biri, sağlıklı bir ruminanın B grubu vitaminleri (B1, B2, B3, B6, B7, B9, B12) konağın tüm ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde sentezlediği varsayımıdır. Bu görüş, düşük verimli ekstansif sistemler için kısmen doğru olabilir; ancak günümüzün yüksek verimli süt ineklerinde "sub-klinik" eksiklikler verim kaybının gizli nedenidir. Tablo 2, B vitaminlerinin ruminal akıbetini özetlemektedir.

3.1. Biotin: Keratinizasyonun Ötesinde Glukoneogenez

Biotin, sadece tırnak sağlığı (keratin sentezi) için değil, glukoneogenez (pirüvat karboksilaz) ve yağ asidi sentezi (asetil-CoA karboksilaz) için kritik bir kofaktördür. Rumen asidozu, biyotin sentezleyen bakterilerin popülasyonunu azaltarak eksikliğe yol açar.

Chen ve ark. (2011) tarafından *Journal of Dairy Science* dergisinde yayımlanan meta-analiz, biyotin takviyesinin metabolik etkilerini nicel olarak kanıtlamıştır.

Tablo 2. B grubu vitaminlerin rumen metabolizması ve takviye stratejileri (Santschi ve ark., 2005 verilerine dayanarak derlenmiştir).

Vitamin	Ruminal Sentez Durumu	Ruminal Yıkım Oranı	Kritik Takviye Alanları
Biyotin (B7)	Sentezlenir (Selülitik bakterilerce)	Düşük pH'da sentez azalır	Ayak sağlığı, Süt verimi
Niasin (B3)	Sentezlenir	Yüksek (~%98 yıkım)	Ketozis, Isı stresi
Folik Asit (B9)	Sentezlenir	Çok Yüksek (~%97)	Reprodüksiyon, DNA sentezi
B12 (Kobalamin)	Kobalt varlığına bağlı	Değişken	Enerji metabolizması (Propiyonat)
Kolin	Sentezlenmez (Mikrobiyal yıkım yüksek)	Çok Yüksek	Karaciğer yağlanması (Geçiş dönemi)

11 çalışmayı kapsayan bu analizde, laktasyondaki ineklere günlük 20 mg biyotin verilmesinin:

- Kuru madde tüketimini (DMI) ortalama **0.87 kg/gün**,
- Süt verimini ortalama **1.66 kg/gün** artırdığı belirlenmiştir ($p < 0.01$).
- Bu verim artışı, biyotinün glukoz üretimini destekleyerek laktoz sentezini artırmasıyla açıklanmaktadır (Chen ve ark., 2011)

3.2. Folik Asit ve Vitamin B12: Reprodüktif Başarı ve Enerji Dengesi

Folik asit (B9) ve B12 vitamini, tek karbon metabolizmasında ve DNA sentezinde birbirine bağımlı çalışır. Rumen mikroorganizmaları B12 sentezleyebilir ancak bunun için diyetle yeterli Kobalt (Co) bulunması şarttır

(optimal sentez için rasyonda 0.20 ppm Co önerilmektedir. Ancak, **Santschi ve ark. (2005)**, oral yolla verilen folik asidin %97'sinin rumende yıkımlandığını göstermiştir.¹⁵ Bu nedenle, bu vitaminlerin etkili olabilmesi için ya "rumen-protected" (korunmuş) formda ya da enjeksiyonla verilmesi gerekir.

Duplessis ve ark. (2014), ticari süt işletmelerinde yaptıkları geniş çaplı çalışmada, geçiş dönemindeki ineklere haftalık intramusküler folik asit ve B12 enjeksiyonlarının etkilerini incelemişlerdir.

- **Çarpıcı Sonuç:** Multipar ineklerde distosi (güç doğum) oranı, vitamin takviyesi yapılan grupta **%50 oranında azalmıştır**.
- **Mekanizma:** Bu vitaminlerin, uterus involüsyonunu ve genel enerji dengesini iyileştirerek doğum sürecini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Ayrıca, erken laktasyonda vücut kondisyon skorunun (BCS) korunmasına yardımcı oldukları belirlenmiştir (Duplessis ve ark., 2014)

3.3. Rumen Korumalı Kolin (RPC): Karaciğerin Koruyucusu

Kolin, fosfolipidlerin (fosfatidilkolin) yapısına katılarak karaciğerden trigliseritlerin VLDL (Çok Düşük Yoğunluklu Lipoproteinler) formunda uzaklaştırılmasını sağlar. Geçiş döneminde inekler, negatif enerji dengesi nedeniyle yağ dokusundan yoğun miktarda yağ asidi (NEFA) mobilize ederler. Karaciğer bu yağ asitlerini işleyemezse "Yağlı Karaciğer Sendromu" gelişir.

Rumen mikroorganizmaları diyetdeki kolini hızla yıktığı için, kolinin mutlaka "Rumen Korumalı" (encapsulated) formda verilmesi gerekir. **Lima ve ark. (2024)** ve **Arshad ve ark. (2020)** tarafından yapılan meta-analizler, geçiş döneminde RPC kullanımının:

- Süt verimini ortalama 2,2 kg/gün artırdığını,
- Kuru madde tüketimini iyileştirdiğini,
- Karaciğerde trigliserit birikimini ve ketozis riskini anlamlı düzeyde azalttığını göstermiştir (Lima ve ark., 2024, Arshad ve ark., 2020).

3.4. C Vitamini: Buzağılar İçin Yeni Bir Fırsat mı?

Yetişkin sığırlar, glukozdan C vitamini sentezleyebilirler. Ancak süt emme dönemindeki buzağılarda bu mekanizma henüz tam gelişmemiştir ve stres durumlarında (sütten kesme, nakliye) plazma C vitamini seviyeleri hızla düşer.

Olfat ve ark. (2025), *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* dergisinde yayımlanan çalışmalarında, buzağılara "miselize edilmiş" (yağ ile kaplanmış nano-partikül) C vitamini takviyesinin etkilerini incelemiştir.

- **Bulgu:** %10 yağ içeriği ile miselize edilmiş C vitamini, klasik toz forma göre çok daha yüksek biyoyararlanım göstermiş ve buzağıkların yem tüketimini artırmıştır. Bu formülasyon, C vitamininin ruminal/asidik ortamda bozulmasını önleyerek antioksidan kapasiteyi kanda yükseltmiştir (Olfat ve ark., 2025).

4. Metagenomik Perspektif: Rumen Mikrobiyotasının Biyosentez Haritası

Hangi bakterilerin hangi vitaminleri sentezlediğini bilmek, besleme stratejilerini optimize etmek için yeni bir cephedir. **Jiang ve ark. (2022)**, *Microbiome* dergisinde yayımladıkları devasa metagenomik çalışmada, ruminant gastrointestinal sisteminden elde edilen 17.425 mikrobiyal genomu analiz etmişlerdir.

Bu çalışmanın (Jiang ve ark., 2022) temel bulguları şunlardır:

1. Bölgesel Uzmanlaşma: Vitamin sentez genlerinin toplam bolluğu (abundance) en çok midede (rumen) bulunsa da; Tiamin, Niasin ve Piridoksin sentezi şaşırtıcı bir şekilde kalın bağırsakta daha yoğundur. Bu durum, vitaminlerin emilim yerinin (ince bağırsak) sentez yerinden (kalın bağırsak) önce gelmesi nedeniyle koprophaji (dışkı yeme) yapmayan ruminantlarda biyoyararlanım sorununa işaret edebilir.

2. Sentez Kapasitesi: İncelenen bakterilerin sadece %2.7'si "prototrof"tur (yani 5 veya daha fazla vitamini sentezleyebilir). Çoğu bakteri "oksotrof"tur, yani yaşamak için diğer bakterilerin ürettiği vitaminlere muhtaçtır. Bu, mikrobiyal topluluktaki dengenin ne kadar hassas olduğunu gösterir.

3. Diyetin Etkisi: Yüksek tahıl (nişasta) içeren rasyonlar, asidojenik bakterileri artırırken, B12 vitamini (Kobalamin) sentezleyen bakterileri baskılamaktadır. Bu bulgu, yoğun besideki hayvanlarda B12 eksikliğinin moleküler temelini açıklamaktadır.²⁶

5. Sonuç ve Gelecek Perspektifi

Ruminant beslemede vitaminler, artık "olmazsa olmaz" minimum gereksinimlerin ötesinde, hayvanın genetik potansiyelini ortaya çıkaran biyolojik anahtarlar olarak değerlendirilmelidir. 2020-2025 yılları arasındaki araştırmalar şu sonuçları dikte etmektedir:

1. Sistem Biyolojisi Yaklaşımı: Süt humması gibi metabolik hastalıklar, tek bir mineralin (Ca) eksikliği değil, Vitamin D metabolizması ile immün sistemin (enflamasyon) karmaşık etkileşimi sonucu oluşur. Tedavi protokolleri antienflamatuar stratejileri de içermelidir.

2. Sinerjistik Etki: Vitamin E ve Selenyumun kombine kullanımı, mastitis ve metritis riskini azaltmada tek başlarına kullanımlarına göre çok daha etkilidir ve ekonomik getiri sağlar.

3. B Vitaminlerinin Rönesansı: Yüksek verimli sürülerde Biotin ve Rumen Korumalı Kolin kullanımı, süt verimi ve karaciğer sağlığı için standart bir uygulama haline gelmelidir. Folik asit/B12 kombinasyonunun reproduktif faydaları, ticari kullanıma geçişi hak etmektedir.

4. Ürün Odaklı Besleme: Et kalitesini ve raf ömrünü artırmak için supranutrisyonel Vitamin E uygulamaları, ihracat odaklı işletmeler için kritik bir yatırım aracıdır.

Gelecekteki araştırmalar, rumen mikrobiyotasının vitamin sentez kapasitesini artıracak probiyotiklerin geliştirilmesi ve hayvanların vitamin metabolizmasındaki genetik varyasyonlara (nutrigenomik) göre bireysel besleme yapılması üzerine yoğunlaşacaktır.

KAYNAKÇA

- Ametaj, B. N. (2025). From Parts to Whole: A Systems Biology Approach to Decoding Milk Fever. *Veterinary Sciences*, 12(4), 347. <https://doi.org/10.3390/vetsci12040347>
- Arshad, U., Zenobi, M. G., Staples, C. R., & Santos, J. E. P. (2020). Meta-analysis of the effects of supplemental rumen-protected choline during the transition period on performance and health of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 282–300. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16842>
- Chen, B., Wang, C., Wang, Y. M., & Liu, J. X. (2011). Effect of biotin on milk performance of dairy cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3537–3546. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3764>
- Ding, Y., Sun, R., Jiang, X., Hao, Y., Song, Y., Jia, X., Bai, Y., & Xia, C. (2025). Combined Vitamin E and selenium supplementation enhances antioxidant status, reduces disease incidence, and improves economic returns in transition dairy cows. *Veterinary World*, 18(8), 2439–2449. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2439-2449>
- Duplessis, M., Girard, C. L., Santschi, D. E., Laforest, J.-P., Durocher, J., & Pellerin, D. (2014). Effects of folic acid and vitamin B12 supplementation on culling rate, diseases, and reproduction in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2346–2354. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7369>
- Herrera, N. J., Sonderman, J. A., Marroquin, D. V., Vahmani, P., Dinh, T. T., & Calkins, C. R. (2024). Beef Color Stability and Composition in Cattle Fed High Levels of Vitamin E Following Prolonged Aging. *Meat and Muscle Biology*, 8(1), 18008. <https://doi.org/10.22175/mmb.18008>
- Jiang, Q., Zhang, J., Zhou, Z., Sun, X., Yu, Z., & Zhu, W. (2022). Metagenomic insights into the microbe-mediated B and K2 vitamin biosynthesis in the gastrointestinal microbiome of ruminants. *Microbiome*, 10, 109. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01298-9>
- Lima, F. S., Sá Filho, M. F., Greco, L. F., & Santos, J. E. P. (2024). Rumen-Protected Choline Improves Metabolism and Lactation. *Animals*, 14(7), 1086. <https://doi.org/10.3390/ani14071086>

- Olfat, N., Seifdavati, J., Abdibenemar, H., SeyedSharifi, R., & Seifzadeh, S. (2025). Investigating the Effects of the Micellized Vitamin C Supplementation on the Performance and Blood Parameters of Suckling Calves. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 13(3), 361-371. <https://doi.org/10.48309/ijabbr.2025.2046674.1556>
- Santschi, D. E., Berthiaume, R., Matte, J. J., Mustafa, A. F., & Girard, C. L. (2005). Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(6), 2043–2054. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72881-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72881-2)

BÖLÜM 7

SIĞIR TÜRLERİNDE MİNERAL BESLENMESİ

Tuğba BAKIR¹, Yakup BİLAL², Bilal SELÇUK³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.17990249>

¹Arş. Gör., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Kahramanmaraş ORCID 0000-0003-2185-7137

²Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Kahramanmaraş ORCID 0000-0001-9785-5395

³Öğr. Gör. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ladik Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Samsun, Türkiye ORCID 0000-0001-9136-5707

1. GİRİŞ

Mineraller sığırlarda büyüme, sağlık, üreme ve süt verimini destekleyen hayati besin maddeleridir. Bu besin elemanları kemik gelişimi, enzim aktiviteleri, elektrolit dengesi, kanın pıhtılaşması ve bağışıklık sistemi için kritik roller üstlenir (McGrath ve ark., 2018). Makro ve mikro düzeyde olmak üzere iki gruba ayrılan minerallerden her birinin farklı bir etki spektrumu vardır. Çalışmalar, rasyonlardaki mineral dengesizliğinin verim kayıpları ve metabolik bozukluklara yol açtığını göstermiştir (McDowell, 2000; Siregar ve ark., 2025). Bu nedenle sığır beslenmesinde minerallerin dengeli verilmesi hem hayvan sağlığı hem de üretim performansı açısından büyük öneme sahiptir.

2. MAKRO MİNERALLER

Sığırların beslenmesinde büyük miktarlarda gereken makro mineraller arasında **kalsiyum (Ca)**, **fosfor (P)**, **magnezyum (Mg)**, **sodyum (Na)**, **potasyum (K)**, **klor (Cl)** ve **kükürt (S)** bulunur (Siregar ve ark., 2025). Bu minerallerin temel fonksiyonları şunlardır:

- **Kalsiyum (Ca):** İskelet ve diş yapısının temel bileşeni olup kas kasılması ve sinir impuls iletiminde rol oynar. Gebelik ve laktasyon gibi kritik dönemlerde ihtiyacı artar. Eksikliğinde genç hayvanlarda iskelet deformiteleri, laktasyonda hipokalsemi (süt humması) gelişebilir (Olson ve Hale, 2001; Berean ve ark., 2025).
- **Fosfor (P):** Kalsiyum ile birlikte kemik yapısında görev alır, DNA ve enerji metabolizmasında (ATP vb.) yer alır. Dünyada otlayan sığırlarda fosfor eksikliği en sık rastlanan mineral yetersizliğidir ve bu durum büyüme geriliği, düşük süt verimi ve üreme sorunlarına yol açar (Olson ve Hale, 2001). Ca ile genellikle 2:1 oranında dengelenir.
- **Magnezyum (Mg):** Çeşitli enzimlerin kofaktörü olarak enerji metabolizmasında yer alır. İlkbaharda taze otlarda sık görülen **ot tetanisi** durumu Mg eksikliği ile ilişkilidir. Semptomlar arasında sinir sisteminde düzensizlikler ve kasılmalar yer alır (Olson ve Hale, 2001). Aşırı potasyum (K) yüksekliği Mg emilimini engelleyerek ot tetanisi riskini artırabilir (Olson ve Hale, 2001).
- **Sodyum (Na) ve Klor (Cl):** Vücut sıvılarının hacim ve osmolaritesini düzenler. Na kas ve sinir fonksiyonları için gereklidir, Cl ise midede HCl üretiminde görev alır. Tuz olarak (NaCl) sıklıkla serbest tüketim

sağlanır; eksikliğinde hayvanlarda tuz arama davranışı (pika) gözlenir (Olson ve Hale, 2001).

- **Potasyum (K):** Hücre içi sıvının ana katyonu olup kas ve sinir fonksiyonları ile organizmanın genel metabolizmasında önemli rol oynar. Normal koşullarda forajlarda yeterli K bulunur ancak aşırı K tüketimi Mg absorpsiyonunu olumsuz etkileyebilir (Olson ve Hale, 2001). Potasyum yetersizliği genel iştahsızlık ve performans düşüklüğüne neden olur.
- **Kükürt (S):** Metiyonin, sistein gibi amino asitlerin bileşenidir. Yeterli S yokluğunda bu amino asitlerin sentezi kısıtlanır, büyüme geriliği görülebilir. Örneğin sığır rasyonuna kükürt glukozamin veya aminoasit takviyesi eklenebilir.

Makro mineraller genellikle kaba yem ve konsantre yemler aracılığıyla sağlanır. Örneğin kaba yemler Ca ve Mg açısından zengin, tahıllar P ve K kaynağıdır. Sodyum için genellikle serbest tuz blokları sunulur. İneklerde laktasyon döneminde Ca ihtiyacı çok arttığı için, doğum öncesi dönemde Ca oranının kontrollü düşürülmesi (negatif DCAD uygulamaları vb.) süt humması riskini azaltmak amacıyla önerilir (Olson ve Hale, 2001; Berean ve ark., 2025). Minerallerin formu da önemlidir; örneğin Ca içeren yem katkıları genellikle CaCO_3 veya kalsiyum fosfat olarak kullanılır.

3. MİKRO MİNERALLER

Diğer adıyla eser elementler olan mikro mineraller **çinko (Zn)**, **bakır (Cu)**, **selenyum (Se)**, **iyot (I)**, **demir (Fe)**, **mangan (Mn)**, **kobalt (Co)** vb. çok küçük miktarlarda ihtiyaç duyulur (Siregar ve ark., 2025). Ancak her biri vücut fonksiyonları için vazgeçilmezdir:

- **Çinko (Zn):** Yüzlerce enzimin yapı taşıdır; bağışıklık sistemi, yaraların iyileşmesi, protein sentezi ve deri-saç sağlığı için gereklidir. Eksikliğinde iştahsızlık, zayıf büyüme, deri lezyonları görülebilir.
- **Bakır (Cu):** Hemoglobinin ve bağ doku enzimlerinin oluşumunda görev alır. Cu eksikliği anemi, soluk et rengi, zayıf tüylü deri, infertilite ve kemik sorunları ile kendini gösterir. Molybdenum (Mo) veya sülfat fazla tüketimi Cu emilimini engelleyerek indirgeyici etkide bulunabilir.

- **Selenyum (Se):** Güçlü bir antioksidan olan glutatyon peroksidaz enzimi için gereklidir. Eksikliği “beyaz kas hastalığı” (kas dejenerasyonu), düşük bağışıklık, üreme sorunlarına yol açar. Aşırı Se ise kronik selanoz (tacın dökülmesi, tırnak kırılmaları) ile zehirlenmeye neden olabilir.
- **İyot (I):** Tiroid hormonlarının yapısında yer alır. Eksikliğinde guatr ve hipotiroidizme bağlı büyüme geriliği ve düşük sıcaklık toleransı gelişir. Deniz ürünleri ve iyotlu tuz başlıca kaynaklardır.
- **Demir (Fe):** Hemoglobinin yapısına katılır; O₂ taşıma kapasitesi ve enzim fonksiyonları için önemlidir. Kırmızı et, ot ve bitkilerde bulunur. Yetersizliği anemi yapar; özellikle buzağılarda sık görülen performans düşüklüğü nedenidir.
- **Mangan (Mn):** Kemik ve üreme sisteminde rol alan enzimlerin kofaktörüdür. Eksikliği kemik gelişimini aksatabilir.
- **Kobalt (Co):** Ruminantlarda B12 vitamini sentezi için temel mineraldir. Co eksikliği, iştah azalması, kilo kaybı ve süt veriminin düşmesi gibi belirtilerle seyrederek; çünkü B12 azalınca enerji metabolizması bozulur. Siregar ve ark., (2025) yaptıkları bir incelemede önerilen Co düzeyi 0.2 mg/kg DM olarak güncellenmiştir

Mikromineraler genellikle mineral premiks olarak konsantrelere eklenir. İnorganik tuzlar (sülfatlar, oksitler) yaygın olsa da **organik** (amino asit şelatları, proteinatlar) formdaki mineraller biyoyararlanımları daha yüksek ve etkileşimleri daha az olduğundan tercih edilmektedir_(Dong ve ark., 2023). Örneğin organik çinko bileşikler (Zn glukonat vb.) inorganik sülfata göre daha iyi emilmekte ve atık içermemektedir (Dong ve ark., 2023). Ayrıca bazı minerallerin emilimini besin faktörleri engelleyebilir; örneğin yüksek fosfatlı yemler Ca emilimini, yüksek fitik asit Bağlayıcılar Zn ve Fe emilimini düşürebilir.

4. MİNERAL EKSİKLİKLERİ VE TOKSİTESİ

Mineral dengesizlikleri sığırlarda çeşitli klinik belirtiler ve performans kayıpları ile sonuçlanır. Eksiklikler genellikle kroniktir ve spesifik semptomlar verebilir; toksisite ise aşırı alıma bağlı akut veya kronik zehirlenme belirtileri oluşturur (Siregar ve ark., 2025). Genel olarak mineraller dar optimal aralıkta

işlev görür; yetersizlik veya fazlalık metabolik bozukluklara yol açar (Siregar ve ark., 2025).

Örnek olarak; kalsiyum eksikliği buzağılarda iskelet gelişimini bozar, süt ineklerinde doğum sonrası hipokalsemiye (süt humması) neden olur (Venjakop ve ark., 2017; Venjakop ve ark., 2018). Hipokalsemi sinir sistemi ve kas fonksiyonlarını etkileyerek titreme, kas güçsüzlüğü gibi belirtiler verir; subklinik formu ise genellikle belirgin klinik semptom olmaksızın üreme sorunlarına ve hastalıklara yatkınlığa yol açar (Venjakop ve ark., 2017; Venjakop ve ark., 2018). Magnezyum eksikliği bahar aylarında gelişen ot tetanisiyle kendini gösterir; belirtiler arasında sinirlilik, kasılma ve ölüm riski vardır (Olson ve Hale, 2001).

Mikro düzeyde Cu eksikliği anemi, zayıf deri yapısı ve üreme azlığına; Zn eksikliği ise bağışıklık bozukluğu ve deri hastalıklarına sebep olur. Selenyum eksikliği kas rengi açılığı (beyaz kas) ve bağışıklık sorunlarına yol açarken, fazla alım toksik sekeliyoza neden olur. İyot eksikliği durumunda guatr ve tüy dökümü görülebilir. Örneğin, kobalt eksikliği buzağıda iştahsızlık, zayıf kilo alımı, kas erimesi ve düşük süt verimi gibi etkiler ortaya çıkar (Underwood ve Suttle, 1999; NRC, 2001).

Toksisite semptomları ise mineral türüne göre değişir. Sodyum klorür fazlalığı susuzluk, tuz arzusu gibi durumlara neden olabilirken, bakır aşırı alımı karaciğer hasarına yol açar (özellikle koyunlarda öne çıkar). Selenyumun aşırı dozları kronik zehirlenmeye sebep olur. Özetle, her iki durumda da büyüme, üreme performansı ve genel sağlık olumsuz etkilenir (McDowell, 2000; Marchand ve ark., 2024).

5. MİNERAL BİYOYARARLANIMI: KAYNAKLAR VE EMİLİM

Minerallerin biyo yararlanımı, kaynağa ve sindirim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Makro mineraller genellikle kaba yem (kalsiyum, magnezyum) ve konsantre yem (fosfor, potasyum) ile alınır. Örneğin kalsiyum karbonat veya mono kalsiyum fosfat formundaki katkılar, Ca ve P ihtiyacını karşılar. Sodyum klorürün serbest formda verilmesi yaygındır. Makro minerallerin emilimi genellikle yüksek olmakla birlikte, aşırı Ca veya K alımı diğer minerallerin (Zn, Mg gibi) emilimini olumsuz etkileyebilir.

Mikro mineraller için farklı formdaki kaynaklar bulunur. İnorganik

tuzlar (sülfatlar, oksitler) ucuz olmakla birlikte, sindirim traktında çevresel faktörlere ve rakip minerallere daha duyarlıdır. Birçok çalışmada organik formdaki minerallerin (aminosav şelatları, proteinatlar) çözünürlüğü ve emilim etkinliği daha yüksek bulunmuştur (Min ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019). Örneğin çinko glisinat ve metiyonin-khelatı gibi organik formların bağırsaktan geçişi inorganik sülfatlara göre çok daha iyidir. Sonuç olarak daha az atık mineralle aynı biyokimyasal fonksiyonları gerçekleştirmek mümkün olabilir (Min ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019).

Mineral emilimini etkileyen diğer faktörler arasında yem kompozisyonu ve diyet bileşenleri bulunur. Yüksek fitat veya odunçuluk, bazı mikroelementlerin bağlanarak emilimini azaltır. Sindirim sistemi pH'sı, vitamin düzeyleri (örneğin D vitamini Ca/P emilimini artırır) ve hayvanın dönemsel ihtiyacı da rol oynar. Özetle, mineral kaynağının formu ve yem dengesi, sığırlarda minerallerin biyoyararlanımı üzerinde belirleyici faktörlerdir (Min ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019).

6. RASYON FORMÜLASYONUNDA MİNERALLERİN DİKKATE ALINMASI

Modern sığır beslemede rasyon formülasyonu yapılırken NRC/NASEM gibi komite yayınlarında belirtilen mineral gereksinimleri temel alınır. Hayvanın büyüklüğü, ırkı, yaş, laktasyon/üreme durumu ve üretim hedefi dikkate alınarak her mineral için optimum seviyesi belirlenir. Örneğin gebe ve laktasyondaki inekler daha yüksek Ca ve P ihtiyaç duyar; bu yüzden primer bileşim hesaplanırken Ca:P oranı yaklaşık 1,2–2:1 arasında tutulmaya çalışılır. Rasyonlarda yalnızca kaba yemlerle değil aynı zamanda premikslerle mineraller tamamlanır.

Ayrıca Co gibi bazı mikro mineraller için ihtiyaçlar güncellenmektedir. Örneğin, son yıllarda yayınlanan kaynaklarda kobalt gereksinimi yulaf kuru maddesinde ~0,2 mg/kg düzeyine yükseltilmiştir (Dryden ve Hartman, 1971; NRC, 2001; Girard ve Duplessis, 2022). Bu tür güncellemeler, mikrobiyal B12 sentezi gibi spesifik fonksiyonel çıktılara yönelik yeni verilerin ışığında yapılır. Rasyonun mineral içerikleri dengelenirken mineral-mineral antagonizması ve yem bileşenlerinin içeriği de göz önünde bulundurulur. Örneğin çok yüksek fosforlu yemlere sahip bir rasyonun kalsiyum ilavesi artırılarak Ca:P dengesi düzeltilir.

Güncel rasyon formülasyon yazılımları, hayvan grubu başına ortalama mineral içeriği sağlayacak şekilde taban yemlerden yedek mineral katkılarına kadar tüm kaynakları değerlendirir. Bu süreçte kullanılan girdilerdeki mineral analizleri, özellikle fosfor, kalsiyum ve makro elementlerde doğruluk talep eder. Doğru dengelemeyle hayvan sağlığı en üst düzeye çıkarılırken atılan minerallerin çevresel yükü de azaltılabilir.

7. MİNERALLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE ATILIMI

Besin dengesi ile gereğinden fazla mineral verilmesi, bu fazlalığın dışkı ve idrar yoluyla çevreye geçmesine neden olur. Özellikle fosfor gibi mineraller aşırı tüketildiğinde gübre yoluyla toprağa aktarılır ve yağışlarla su kaynaklarına sızabilir; bu da sucul ekosistemlerde alg patolojilerine (eutrofikasyon) yol açar. Sodyum, klor gibi iyonlar ise toprakta birikerek toprağın kimyasal yapısını değiştirebilir. Ayrıca, toprakta ağır metal birikimi üzerinde yaşayan bitkileri olumsuz etkilerken, bu bitkileri toplayıp tüketen kişilerde de ciddi sağlık problemlerine yol açtığı bilinmektedir (Kul ve ark., 2021).

Çalışmalar, mineral fazlalığının çiftlikler arasında ciddi farklılıklara yol açtığını göstermektedir. Örneğin bir araştırmada ABD’li süt çiftliklerinde içme suyundan gelen Na ve Cl mineralleri diyetle dahil edildiğinde Na alımı %9,3, Cl alımı %6,5 oranında arttı; bu minerallerin büyük kısmı idrarla atıldı (Castillo ve ark., 2013). Aynı çalışmada süt yemlerinin minerallerine göre gübreye geçen mineral miktarı çiftlikler arasında 2–3 kat değişim gösterdi (Castillo ve ark., 2013). Bu durum, rasyon ve su gibi kaynaklara dayalı farklardan kaynaklanmaktadır.

Ayrıca iz element kaynağının formu da atık miktarını etkiler. Aşırı inorganik iz mineral takviyesi, bunların atık formunu (genellikle kullanılamayan unmodified form) artırır. Örneğin 2024 tarihli bir çalışmada ineklere tavsiye edilenin çok üstünde sülfat şeklinde Zn, Mn, Co verilmesi performansa katkı sağlamadı, ancak feçes ve idrarla atılan Zn, Mn, Co miktarını anlamlı derecede yükseltti (Marchand ve ark., 2024). Yazarlar bu artışın fermantasyon sonrasında gübreye daha fazla iz element birikimine ve çevresel risklere (toprak birikimi, yakın sulak alanlara sızıntı) yol açabileceğine dikkat çekmiştir (Marchand ve ark., 2024).

Sonuç olarak, minerallerin çevreye olan etkilerini azaltmak için tam ihtiyaç kadar verilmesi esastır. *Precision feeding* (ihtiyaç odaklı besleme)

yaklaşımıyla fazlalıklar önlenabilir, atık minerallerin birikimi ve sızması önlenerek sürdürülebilir hayvancılık sağlanır (Marchand ve ark., 2024).

8. GÜNCEL TEKNOLOJILER: İZLEME VE NANO-MINERALLER

Mineral besleme ve takibini geliştirmek amacıyla yeni teknolojiler araştırılmaktadır. **Spektroskopik analiz sistemleri** (örneğin near-infrared NIR) yem ve gübre örneklerinde bazı minerallerin (özellikle makro elementler) hızlı analizinde kullanılabilir. Rumen içi pH ölçen sonda benzeri cihazların benzeri olarak gelecekte mineral iyonları algılayan biyosensörler veya giyilebilir cihazlar geliştirilebilir. Örneğin su veya tükürükte iyonik aktiviteyi ölçen mini sensörler üzerinde araştırmalar sürmektedir. Bu sayede hayvan içindeki mineral durumları gerçek zamanlı izlenebilir.

Ayrıca son yıllarda nanoteknoloji temelinde yeni yaklaşımlar popülerlik kazanmıştır. Mineral nanopartikülleri (nanoZinc, nanoSelenyum vb.) geleneksel formlara kıyasla çok yüksek yüzey alanı ve reaktiviteye sahiptir. Deneysel çalışmalarda, mineral nanopartiküllerinin büyüme performansını artırdığı, bağışıklık yanıtını güçlendirdiği ve ürün kalitesini iyileştirdiği bulunmuştur (Bhagat ve Singh, 2022). Bu bakımdan nano-mineral takviyeleri hem biyoyararlanımın artması hem de daha düşük dozda etkili olması nedeniyle çevresel kirliliği azaltma potansiyeli taşır. Örneğin metiyonin şelatlı çinko nanoparçacıkları daha kolay emilip hücreye alınabilir ve inorganik kaynaklara kıyasla atık miktarını düşürebilir (Min ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019; Bhagat ve Singh, 2022;).

Bu alanda araştırma ve uygulamalar hâlen erken aşamadır, ancak tarla sensörleri, akıllı yemleme sistemleri ve nanoteknoloji kullanımı, sığır beslemesini gelecekte daha verimli ve çevre dostu hâle getirebilir. Teknoloji geliştikçe yem formülasyonu bireysel hayvan ihtiyacına göre özelleştirilebilecek, böylece mineral dengesizlikleri daha etkin şekilde önlenebilecektir.

SONUÇ VE GELECEĞE YÖNELİK ARAŞTIRMA ALANLARI

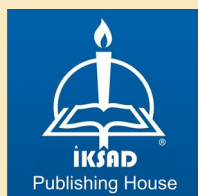
Sığır beslemesinde minerallerin rolü çok yönlü ve kritiktir. Makro ve mikro mineraller, hayvan sağlığı ve verimi üzerinde doğrudan etkilidir; bu nedenle dengeli mineral besleme, hayvancılığın sürdürülebilirliği için şarttır. Güncel araştırmalar, minerallerin sadece ihtiyaç kadarının verilmesinin performansı koruyup çevre yükünü azalttığını göstermektedir (Castillo ve ark., 2013; Marchand ve ark., 2024). Bununla birlikte, bazı minerallerin minimum etkin dozları, biyoyararlanımını iyileştirmek için yeni kaynakların (organik formlar, nanoyapılar) kullanımı ve bireysel besleme stratejileri hâlâ araştırma konusudur.

Gelecekte, sığırlarda minerallerin emilimi ve etkileşimleri üzerinde daha hassas çalışmalar yapılacaktır. Özellikle mikrobiyomun mineral metabolizmasına etkisi, nano-mineral doz şekillerinin uzun vadeli güvenliği ve sensör temelli *precision feeding* yaklaşımlarının etkinliği gibi konular önceliklidir. Ayrıca iklim ve yem kaynaklarındaki değişikliklerin minerallere etkisi incelenmeli; örneğin farklı coğrafyalarda topraktaki mineral çeşitliliğinin yem yolu ile hayvanlara geçişi analiz edilmelidir. Nano-mineral uygulamaları ve akıllı analiz sistemleri geliştikçe, minerallerin hayvan performansı, sağlık ve çevre üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılacak, böylece daha verimli ve sorumlu besleme programları oluşturulacaktır (Bhagat ve Singh, 2022; Marchand ve ark., 2024).

KAYNAKÇA

- Berean, D. İ., Bogdan, L. M., Cimpean, R., et al. (2025). Subclinical hypocalcemia in dairy cows: Reproductive and economic impacts on Eastern European farms. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1596239. DOI:10.3389/fvets.2025.1596239frontiersin.org.
- Bhagat, S., & Singh, S. (2022). Nanominerals in nutrition: Recent developments, present burning issues and future perspectives. *Food Research International*, 160, 111703. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111703pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
- Castillo, A. R., St-Pierre, N. R., Silva del Rio, N., & Weiss, W. P. (2013). Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 3388–3398. DOI:10.3168/jds.2012-6121pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
- Dong, L., Li, Y., Zhang, Y., et al. (2023). Effects of organic zinc on production performance, meat quality, apparent nutrient digestibility and gut microbiota of broilers fed low-protein diets. *Scientific Reports*, 13, 10803. DOI:10.1038/s41598-023-37867-7nature.com.
- Dryden, L. P., & Hartman, A. M. (1971). Variations in the amount and relative distribution of vitamin B12 and its analog in the bovine rumen. *Journal of Dairy Science*, 54(2), 235-246.
- Girard, C. L., & Duplessis, M. (2022). The importance of B vitamins in enhanced precision nutrition of dairy cows: The case of folates and vitamin B12. *Canadian Journal of Animal Science*, 102(2), 201-210.
- Kul, S., Gül, V., & Cengiz, İ. (2021). Toprak ve bitkilerde ağır metal kirliliğinin araştırılması: Bayburt ili örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 195-203.
- Marchand, C., Royer, I., Gervais, R., et al. (2024). Effects of feeding sulfate trace minerals above recommendations on nutrient digestibility, rumen fermentation, lactational performance, and trace mineral excretion in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(10), 7983–7995. DOI:10.3168/jds.2024-24761pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
- McDowell, L. R. (2000). *Vitamins in animal and human nutrition*. John Wiley & Sons.

- McGrath, J., Duval, S. M., Tamassia, L. F., Kindermann, M., Stemmler, R. T., de Gouvea, V. N., ... & Celi, P. (2018). Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. *Research in veterinary science*, 116, 28-39.
- Min, Y. N., Liu, F. X., Qi, X., Ji, S., Cui, L., Wang, Z. P., & Gao, Y. P. (2019). Effects of organic zinc on tibia quality, mineral deposit, and metallothionein expression level of aged hens. *Poultry science*, 98(1), 366-372.
- National Research Council, Committee on Animal Nutrition, & Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Siregar, M., Salas-Solis, G., & Faciola, A. P. (2025). Cobalt and vitamin B12 in dairy cattle nutrition: Requirements, functions, and interactions. *Animals*, 15(23), 3477. DOI:10.3390/ani15233477mdpi.commdpi.com.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). The mineral nutrition of livestock.
- Venjakob, P. L., Borchardt, S., & Heuwieser, W. (2017). Hypocalcemia—Cow-level prevalence and preventive strategies in German dairy herds. *Journal of dairy science*, 100(11), 9258-9266.
- Venjakob, P. L., Pieper, L., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2018). Association of postpartum hypocalcemia with early-lactation milk yield, reproductive performance, and culling in dairy cows. *Journal of dairy science*, 101(10), 9396-9405.
- Wang, G., Liu, L. J., Tao, W. J., Xiao, Z. P., Pei, X., Liu, B. J., ... & Ao, T. Y. (2019). Effects of replacing inorganic trace minerals with organic trace minerals on the production performance, blood profiles, and antioxidant status of broiler breeders. *Poultry science*, 98(7), 2888-2895.



ISBN: 978-625-378-471-3