



Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni  
Bulletin of Veterinary Pharmacology and Toxicology Association  
e-ISSN 2667-8381, 12 (1): 43-54, 2021  
DOI: 10.38137/vftd.915977

## RUMİNANLARDA METAN SALINIMINI AZALTMA STRATEJİLERİ

Gürsel GÜR<sup>1a</sup>, Hakan ÖZTÜRK<sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Ankara

ORCID<sup>a</sup>: 0000-0002-9095-9965, ORCID<sup>b</sup>: 0000-0003-2913-2069

\*Sorumlu Yazar: Gürsel GÜR  
E-Posta: gursel.gur@tkdk.gov.tr

Geliş Tarihi: 14.04.2021  
Kabul Tarihi: 05.05.2021

### ÖZET

Küresel ısınma gezegenimizin bugünü ve geleceği için çok ciddi bir tehdittir. Çok sayıda faktörün sorumlu olduğu küresel ısınma sorununa ruminantlar da önemli katkı sağlamaktadır. Rumen fermantasyonu sonucu oluşan önemli miktarda metan gazı (CH<sub>4</sub>) yakın gelecekte insan nüfus artışına paralel olarak ruminantların da sayısının artmasıyla çok daha etkili bir sorun olacaktır. Bu nedenle son yirmi yıldır rumen fermantasyonu sırasında metan gazı oluşumunu önlemek maksadıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır. Özellikle ikincil bitki metabolitleri, daha önceleri yem katkı maddesi olarak kullanımları yaygın olan iyonofor grubu antibiyotiklerin etkilerine benzer etkileriyle önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu derlemede rumen fermantasyonu sırasında oluşan metan gazının azaltılmasına yönelik çalışmalar incelenerek geleceğe yönelik öncelikli araştırılması gereken konular belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel ısınma, Metan, İyonofor, Rumen, Fermantasyon.

### METHANE MITIGATION STRATEGIES IN RUMINANTS

#### ABSTRACT

Global warming is a significant challenge to our planet's present and future. Although global warming is caused by a variety of factors, ruminants also contribute significantly to the challenge. As the number of ruminants grows in tandem with the human population, the considerable amount of methane gas (CH<sub>4</sub>) produced as a result of rumen fermentation will become a much more serious problem in the near future. Thus, several studies have been performed over the last two decades in order to avoid methane gas formation during rumen fermentation. Secondary plant metabolites, in particular, have a lot of potential thanks to their effects are comparable to those of ionophore group antibiotics, which were once used as feed additives. In this study, experiments aimed at mitigating methane gas produced during rumen fermentation were reviewed, and priority issues that should be explored in the future were identified.

**Keywords:** Global warming, Methane, Ionophores, Rumen, Fermentation.

#### GİRİŞ

Küresel ısınma uzun yıllar dünyamızın uzak geleceğinin bir sorunu olarak kabul edilmiştir. Hatta çoğu zaman gerçekte küresel ısınma gibi bir sorun olduğuna kuşku ile yaklaşmıştır. Günümüzde küresel ısınma yadsınamaz bir gerçektir ve çoğu bilim insanına göre küresel ısınmanın etkileri şimdiden görülmeye başlanmıştır. Küresel ısınma denince atmosfere salınan sera gazları, bu gazlar içinde de

öncelikle karbondioksit (CO<sub>2</sub>) aklı gelir. Bununla beraber metan (CH<sub>4</sub>), nitröz oksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorür karbonlar (HFCs), perfloro karbonlar (PFCs) ve sülfürhekza florid (SF<sub>6</sub>) gibi CO<sub>2</sub>'den çok daha güçlü sera etkisine sahip gazlar da vardır. Örneğin metan gazının sera etkisi CO<sub>2</sub>'den 25 kat daha güçlü iken nitröz oksit'in etkisi ise 298 kat daha fazladır (IPCC, 2007; IPCC, 2013; Singh ve Singh, 2012; Solomon ve ark., 2007). Sera gazlarının önemli bir kısmı

tarımsal faaliyetler nedeniyle salınmaktadır. Dünya tarımsal hasılasının %40'ını hayvansal ürünler oluştururken bu üretimin önemli bir kısmının sebebi ruminantlardır. İnsan nüfusu ve gelişen ülkelerde insan başına düşen hayvansal gıda tüketim miktarının hızla artıyor olması, yıllık hayvansal gıda üretimini de artırmaktadır (FAOSTAT, 2008). Tarımsal faaliyetler, gıda üretimi ve ekonomisinde çok önemli yer tutmakla birlikte sera gazı salınımına sebep olduğundan küresel ısınmaya olan etkileri ve verim kaybı açısından tartışılmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucu salınan sera gazlarının üretilmesinde ruminantların payı büyüktür. Ruminantlar diğer memelilerin ya çok az sindirebildiği ya da hiç sindiremediği yapısal bitki unsurlarını sindirerek insan için çok değerli besin maddesi olan et ve süt üretirler. Bu özellikleriyle ruminantlar insan ve diğer birçok hayvan türüyle rekabete girmeden beslenebilirler (Shimojo, 2000). Ruminantlar besinleri ön midelerinde bulunan mikroorganizmalar aracılığıyla gerçekleşen fermantasyon ile sindirirler. Ancak fermantasyon sonucu küresel ısınmanın önemli sebeplerinden olan metan (CH<sub>4</sub>) ve nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) gibi sera gazlarını da üretirler. Aynı zamanda ruminant beslenmesinde kullanılan tarım arazilerinin işlenmesi sırasında da nitröz oksit oluşumu önemli düzeydedir. Ruminal fermantasyon sonucu bol miktarda CO<sub>2</sub> de oluşur ancak esasen bitkiler atmosferden CO<sub>2</sub> çekerek yapısal bileşiklerini sentezlediklerinden, bitkilerin fermantasyonu sonucu salınan CO<sub>2</sub>'in daha önce atmosferden çekilmiş olan CO<sub>2</sub> olduğu ve atmosferde sera gazı birikimine katkısı olmadığı varsayılır (Haque, 2018). Ruminantlar, tüm dünyada insan faaliyetleri sonucu salınan sera gazlarının %9'undan sorumludur. Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak

gıda ihtiyacını karşılayabilmek için ruminant sayısında da ciddi artış olacağı öngörülmektedir. İnsan kaynaklı metan gazı salınımının %33'ünden sorumlu olan ruminantların sayısının artmasıyla gelecek 20-30 yıl içinde insan kaynaklı metan gazı salınımının %70 oranında yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu yükselme, küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin şimdiden görülmeye başladığı dünyamız için büyük tehdit oluşturmaktadır. Ruminal fermantasyon sonucu metan gazı oluşumu aynı zamanda konsantre yemle beslenen ruminantlarda yemle alınan enerjinin %3'ü, kaba yemle beslenen ruminantlarda ise %12'sinin kaybı demektir (Johnson ve Johnson, 1995).

Özellikle 2000'li yıllardan sonra ruminant yetiştiriciliğinde metan gazı salınımının azaltılmasına yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla bilim insanları tarafından çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda rasyona organik asit ilavesi, bitki ekstraktları ilavesi, immünizasyon, yem kompozisyonunun modifikasyonu, rumenin defaunasyonu, metan sentezi için kullanılan hidrojenin (H<sub>2</sub>) tüketilmesi, rumen mikrobiyal dağılımının modifikasyonu ve hayvan ırkı değiştirilmesi gibi birçok yöntem denenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda müspet ve menfi sonuçlara ulaşılmıştır. Bu derlemede ruminal fermantasyon sırasında sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalarda ulaşılan son durum gözden geçirilmiş ve bundan sonra yapılması gerekenler belirlenmeye çalışılmıştır.

### Yemin Modifiye Edilmesi

Ruminantlara verilen yemin kompozisyonu, metan üretimini önemli ölçüde etkilemektedir. Yem kompozisyonunda yapılan düzenlemeler ile metan

üretimi %90'a varan oranlarda azaltılabilmektedir.

### Kaba Yemin İyileştirilmesi

Vitamin, mineral, protein ve enerji bakımından zayıf olan kalitesiz kaba yemle beslemede fermantasyon performansı düşer, böylece metan üretimi yükselir. Ancak bu yemlere fermantasyon performansını yükselten vitamin, mineral ve azot kaynakları eklenirse yükselen fermantasyon performansından dolayı metan üretiminde azalma olur. Kaba yemin taze otlardan oluşması metan üretimini azaltmaktadır. Saman yerine, taze yonca, yulaf ve sorgumun tercih edilmesi ve rasyona katılan buğday samanının %30 oranında taze sorgum ile değiştirilmesi metan üretimini %33 oranında azaltmaktadır (Haque ve ark., 2001). Tanenler bakımından zengin, düşük lif, yüksek kuru madde oranı ve rumende kalış süresi kısa olan kaba yem türlerinin tercih edilmesi metan üretimini azaltmaktadır (Beauchemin ve ark., 2008). Sindirilebilirliği yüksek kaba yemin tercih edilmesi, lifli kesif yem yerine hem lifli yeme hem de daha hızlı parçalanmış nişastaya göre rumende nispeten daha zor parçalanmış nişasta oranının artırılması, çayır yerine baklagillerin tercih edilmesi, taze ya da kuru ot yerine silajın tercih edilmesi ve hatta mısırın içerdiği nişasta nispeten daha zor parçalanabilen nişasta olduğundan çayır silajının yerine mısır silajının tercih edilmesi metan üretimini %28 oranına kadar azaltmaktadır (Benchaar ve ark., 2001).

### Kesif Yem

Nişastanın fermantasyonu nişasta içeriği düşük olan yemlere nazaran propiyonik asit üretimini teşvik etmektedir. Propiyonik asit üretimi daha fazla metabolik H<sub>2</sub>'nin kullanılmasını ve rumen pH'sını düşürerek protozoonların baskılanmasını sağlar. Bu şekilde protozoonların metanojenler için daha fazla H<sub>2</sub> üretmesi önlenmiş olur. Öte yandan şeker

sindirimi nişastaya göre daha fazla metan üretimine neden olmaktadır. Şeker suda çözünmediği için rumende hızlıca fermente olmakta ve daha çok bütirik asit üretiminde kullanılmaktadır. Bütirik asit rumen pH'sının yüksek olduğu ve yeterli metabolik H<sub>2</sub>'nin de bulunduğu durumlarda metan üretimini yükseltmektedir (Chung ve ark., 2011). Rasyonda kesif yem oranı %90'a yükseldiğinde metan üretimi de %90'lara varan oranda azaltılabilir ancak bu durumda subakut ruminal asidoz (SARA) riskini göz önünde bulundurmak gerekir. Kesif yem oranı %90 olan rasyon ile besleme ruminantlarda sürdürülebilir değildir (Lovett ve ark., 2003).

### Rasyona Yağ İlave Edilmesi

Rasyona yağ ilave edilmesi yağın miktarına, formuna ve yemin kompozisyonuna göre değişiklik göstermekle birlikte her %1'lik oranda eklenen yağ için metan üretiminin %5,6 oranında azaldığı bildirilmiştir (Beauchemin ve ark., 2008). Rasyona eklenen yağ rumende yağ asitlerinin hidrojenasyonu yoluyla ortamda bulunan H<sub>2</sub>'yi kullanarak, metanojenler ve sellüloolitik bakterileri baskılayarak ve lifli besinlerin sindirimini yavaşlatarak metan üretimini %21'e varan oranda azaltabilmektedir. (Doreau ve Ferlay, 1995; Nagajara ve ark., 1997). Uzun zincirli yağ asitleri, özellikle linoleik asit, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus* ve *R. flavefaciens* gibi gram-pozitif bakterilerin hücre bütünlüğünü bozarak toksik etki gösterir (Maia ve ark., 2007). Rasyona %5 oranında doymuş bir yağ asidi olan miristik asitin eklenmesi ile metan üretimi %58,3 azalırken %7 hindistan cevizi yağı eklenmesiyle bu oran %63,8 olmuştur (Machmuller ve Kreuzer, 1999; Machmuller ve ark., 2003). Öte yandan arpa silajına yağlı tohumlardan olan keten tohumu katıldığında %37 oranında azalan metan üretimi çayır otuna keten tohumu katıldığında

değişmemiştir (Chung ve ark., 2011). Dolayısıyla rasyonun kaba yem kompozisyonu rasyona yağ ilave edildiğinde metan üretiminde meydana gelen değişiklikleri etkilemektedir. Diğer taraftan rasyona yağ eklendiğinde, rasyonun içerdiği tane yemlerin çeşidi metan üretimini değiştirmemektedir (Alvarez-Hess ve ark., 2019). Düşük kaliteli merada otlatılan süt ineklerinin yemine yağlı tohumlardan pamuk tohumu eklendiğinde süt veriminin yükseldiği, metan üretiminin ise azaldığı bildirilmiştir (Grainger ve ark., 2008).

### Rasyona Organik Asit İlave Edilmesi

Bazı araştırmacılar tarafından *in vitro* yapılan çalışmalarda organik asitlerin (fumarat ve malat) ruminal metan oluşumunu azalttığı bildirilmiştir. Organik asitler propiyonik asit sentezini hızlandırmaktadır. Bunun sonucunda H<sub>2</sub>, metan sentezine alternatif bir biyokimyasal yolla tüketilir. Böylece ortamda yeterli H<sub>2</sub> bulunmadığından metan sentezi azalır (Mohammed ve ark., 2004; Jalç ve Ceresnakova, 2002). Kesif yem oranı %80-90 düzeyinde olan rasyonla beslemede metan gazı üretiminin %1-2 gibi göz ardı edilebilecek düzeye düştüğü bildirilmiştir. Ancak bu durumda SARA riski ortaya çıkmaktadır. Organik asit eklenmesiyle oluşturulan alternatif H<sub>2</sub> tüketilmesi yolu ile rumen pH'sının daha fazla düşmesi önlenir. Bu durumda kesif yem oranı yüksek rasyon ile besleme sürdürülebilir olabilir (Asanuma ve ark., 1999). Bayru ve ark. (2001)'nin bildirdiğine göre organik asitlerin *in vivo* uygulanması da metan üretimini azaltmaya yönelik potansiyel taşımaktadır (Bayru ve ark., 2001). Öte yandan Beauchemin ve McGinn (2006), *in vivo* yaptıkları çalışmalarında fumarat ilavesinin metan üretimini etkilemediğini bildirilmişlerdir. Organik asitlerle yapılan çalışmalar çoğunlukla *in vitro* çalışmalar olup *in vivo*

araştırmalarla çelişkili sonuçlar verdiği için bu konuda daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır. Organik asitlerin kullanımı, pahalı olduklarından, mera hayvancılığında uygulanması zor olduğundan ve kesif yemle beslemede etkisiz olmalarından ötürü şimdilik sahada kullanılmaları önerilememektedir.

### Rasyona Antibiyotik İlave Edilmesi

2000'li yıllara kadar hayvan verimini yükseltmek amacıyla bazı iyonofor grubu antibiyotiklerin rasyona eklenmesiyle ruminant yetiştiriciliğinde küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının oluşumu da önemli ölçüde baskılanmış oluyordu. İyonofor grubu antibiyotiklerin etkisi metanojen arkelerin baskılanmasından çok H<sub>2</sub> üreten Gram pozitif bakteri ve siliyalara etkiyerek H<sub>2</sub> üretimini azaltmasından kaynaklanmaktadır (McAllister ve ark., 1996). Öte yandan monensin, düşük ya da yüksek kalite kaba yemle beslemede 15 ppm/gün dozda metanojenlere etki etmezken (Sauer ve ark., 1996) 33 ppm/gün dozunda ilave edildiğinde metan üretiminin %30 azaldığı gözlenmiştir. Kesif yemle beslemede ise monensin 471 mg/gün dozda verildiğinde metan üretimine önemli sayılabilecek bir etki göstermemektedir (Guan ve ark., 2006). Yüksek gıda ihtiyacının karşılanabilmesi için gelişmiş işletmelerde ruminantlara yüksek protein ve enerjili kesif yem verilmektedir. Verimin yükseltilmesi yolunun tercih edildiği göz önünde tutulursa iyonoforlar verimin yükseltilmesinde etki gösterebilir de metan üretiminin azaltılmasında kullanışlı sayılmazlar. Ayrıca iyonofor grubu antibiyotiklerin metan üretimini baskılayan etkileri süreklilik göstermemektedir (Guan ve ark., 2006). İyonoforlar genel olarak enterik fermantasyon sonucu sera gazı salınımının azaltılmasında önemli etkilere sahip olsa da dirençli mikroorganizma gelişimi ve gıdada kalıntı

bırakma gibi çeşitli endişelerden ötürü 2006 yılından itibaren Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye’de yasaklanmıştır (Demirtas ve ark., 2020). Dünyanın diğer ülkelerinde yasak olmasa da sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik alınan önlemler ve iyonoforların yem katkı maddesi olarak kullanımının dünya genelinde tepkiyle karşılanıyor olması, hayvancılık ve tarım sektörünü iyonoforlara alternatif ve hatta daha etkili önlemler almaya zorlamaktadır (Vet ve ark., 2015).

### Rasyona Probiyotik İlave Edilmesi

Oeztuerk (2009)’ün *in vitro* çalışmasında rasyona %0,7 oranında canlı *Saccharomyces cerevisiae* ilave edildiğinde asetik asit/propiyonik asit (A/P) oranında azalma ve fermantasyon performansında ilerleme görüldüğü bildirilmiştir. *In vitro* yapılan bir başka çalışmada yeme canlı *Saccharomyces cerevisiae* ilavesiyle toplam uçucu yağ asidi üretimi değişmezken A/P oranında belirgin azalma olmuştur (Öztürk ve ark., 2015). Propiyonik asit sentezinin yükselmesi ve fermantasyon performansının artması metan üretimini azaltan sebeplerdir. Rasyona maya eklenmesinin, propiyonik asit sentezini artırarak, protozoon sayısını azaltarak ya da hayvan verimini yükselterek metan üretimini azalttığı bildirilmektedir (Chaucheyras ve ark., 1995; Newbold ve ark., 1998; Öztürk ve ark., 2015). Lila ve ark. (2004)’nın yaptığı bir çalışmada rasyona maya eklenmesi asetojen bakterilerin asetik asit sentezini hızlandırarak ortamda bulunan metabolik H<sub>2</sub> tüketilmesi yoluyla metan sentezini baskıladığı bildirilmiştir. Rasyona maya eklenmesi rumen pH’sının stabil tutulmasına da katkı sağlamaktadır. Böylece yüksek oranda kesif yem içeren rasyon ile beslemede ruminant SARA’ya karşı daha dayanıklı olmaktadır. Probiyotikler ayrıca, metan üretiminin azaltılmasında oldukça etkili yöntem olan rasyona nitrat eklenmesi yoluyla ortaya

çıkan toksik nitritin detoksifikasyonunda rol olarak nitrit toksikasyonunu önlerler (Latham ve ark., 2018). Bu bakımdan hayvanın kendisi ve rumen mikroorganizmaları için istenmeyen toksik etkileri olan ancak metan sentezinin azaltılması bakımından önemli etkilere sahip maddelerin rasyona eklenmesi için gerekli detoksifikasyon yöntemleri ya da bileşiklerin araştırılması önemli bir araştırma alanı olarak görülmektedir. Rasyona probiyotik maya eklenmesinin metan üretiminin azaltılmasına yönelik önemli bir etkisi olmadığını bildiren çalışmalar da vardır (McGinn ve ark., 2004).

### Rasyona Enzim İlave Edilmesi

Rasyona eklenen sellülaz ve hemisellülaz gibi enzimler konsantre fermantasyon ürünleri olup lif sindirimini hızlandırmaktadırlar. Rasyonda lif oranının düşük olması ya da rasyonun kolay sindirilebilir liflerden oluşması metan üretimini azaltmaktadır. Lif sindirimini hızlanması ingestanın rumende kalış süresini kısalttığından metan üretimini azaltıcı etki göstermektedir (Beauchemin ve ark., 2008). Lif sindirimini hızlanması aynı zamanda A/P oranını da azaltmaktadır (Eun ve Beauchemin, 2007). Diğer taraftan enzim ilavesi bazı çalışmalarda lif sindirimini etkilememiştir. Enzim ilavesinin lif sindirilebilirliğine etkisi rasyonun kompozisyonuna göre değişmektedir. Bu nedenle tek bir enzim formülü önerilmesi mümkün görünmemektedir (Beauchemin, 2008).

### Rumende Hidrojenin Tüketilmesi

Metan sentezi rumen ortamında öncelikli H<sub>2</sub> uzaklaştırma yolu olduğundan rumenin pH’sının stabil tutulmasında çok önemlidir. Ancak metan üretiminin biyokimyasal yolu ile rekabet edebilecek alternatif H<sub>2</sub> kullanma yöntemleri geliştirilebilirse hem metan sentezi durdurulabilir hem de H<sub>2</sub>’in

ruminantın enerji kaynağı olarak kullanabileceği organik bileşiklerin sentezinde kullanılması ve enerjinin korunması sağlanabilir (Johnson ve Johnson, 1995; Beauchemin, 2008). Rasyona doymamış yağ asitleri, nitrat ve sülfat, organik asit prekürsörleri eklemek, H<sub>2</sub>'nin alternatif ve daha rekabetçi biyokimyasal yollardan tüketilmesini sağladığından metan üretimini yavaşlatmaktadır. Bunlardan nitrat ve sülfat ekleme metan üretimini azaltsa da metan ile kaybedilen enerjiyi geri kazandıran bir yol değildir (Van Zijderveld ve ark., 2010). Diğerlerinde H<sub>2</sub>'nin biyo-enerji potansiyeli ruminant tarafından kullanılır. Ancak kısa zincirli yağ asitleri eklemek oluşan H<sub>2</sub>'nin çok küçük bir kısmını ortamdaki uzaklaştırabilir (Czerkawski, 1986). Mikrobiyal biyosentez de alternatif H<sub>2</sub> kullanma yoludur (Hungate, 1961).

### İkincil Bitki Metabolitlerinin İlave Edilmesi

Bitki ekstraktları binlerce yıldır insanlığın çeşitli patolojik durumlarda kullandığı organik bileşiklerdir. Bitki ekstraktları bitkinin yapısal bileşikler olmayıp üreme ve savunma sisteminin komponentleri olan ikincil bitki metabolitleridir. Böcekler, zararlı hayvanlar, mikroorganizmalar, diğer bitkiler ve hatta güneşin zararlı ışınlarına karşı bitkinin korunmasını sağlayan bileşiklerdir. Tanenler, saponinler, flavonoidler, organik sülfürlü bileşikler ve eterik yağlardan oluşan ikincil bitki metabolitleri birçok mikroorganizma için sitotoksik etkinliği olan bileşiklerdir. Bunlardan özellikle Gram pozitif bakterilere toksik etki gösteren bileşikler rumende metan sentezinin azaltılması için önemlidir. Çok sayıda bitki ekstraktının rumende metan salınımını azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir (Patra, 2012). Yirminci yüzyılın ortalarına kadar kullanımları çok yaygın olan bitki ekstraktları, daha ekonomik, daha spesifik, etkili ve kolay uygulanabilir olan sentetik

ilaçların yaygınlaşmasıyla gelişmiş ülkelerde popülerliğini kaybetmiştir. Diğer ülkelerde 1980'lere kadar toplumların büyük bölümü hala ikincil bitki metabolitleri ile tedavi sağlamaya çalışırken Batılı ülkelerde doğal organik bileşiklere ilgi tekrar yükselmeye başlamış ve yan etkileri bakımından daha güvenli oldukları tartışılır olmuştur. Ancak bitki ekstraktları karmaşık birçok organik bileşik içerdiğinden elde edilmeleri, etkili ve toksik dozlarının net olarak ortaya konulması ve uygulanmaları sentetik maddelere göre daha zordur. Gıda olarak tüketilmeyen ikincil bitki metabolitlerinin farmakolojik prensipleri sentetik maddelerden farklı değildir. Kullanılacak ikincil bitki metabolitlerinin toksik dozu, farmakolojik faydası, yan etkileri, agonist ve antagonist ilişkisi tıpkı sentetik ilaçlarda olduğu gibi çalışılarak yeteri kadar araştırılmalıdır. Yaklaşık yarım asırdan bu yana bitki ekstraktlarına artan ilgi ile birlikte bu bitkilerin medikal etkinliğini ortaya koyan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır (Greathead, 2003). Bitki ekstraktları olarak yeme, kondanse tanenler, saponinler ve esansiyel (eterik, uçucu) yağlar, ayrı ayrı ya da değişik oranlarda karışık halde ilave edilebilir.

#### a) *Kondanse Tanenler*

Tanenler beslemede önemli ikincil bitki metabolitleridir. Molekül ağırlıkları 500 ile 3000 kDa arasında değişen kompleks fenolik organik bileşiklerdir. Kondanse tanenler rumen bakterileri tarafından hidrolizle parçalanamazlar. Rumen metan üretimini azalttıkları uzun zamandır bilinmektedir (Waghorn ve McNabb, 2003). Kaba yemin, tanen içeriği daha fazla olan yonca ve baklagil türü yem bitkilerinden oluşması metan gazı azaltılmasına yönelik araştırmalarda çok iyi sonuçlar vermiştir (Tamminga ve ark., 2007). Tanenler rumende metan

gazı oluşumunu % 38-40 oranında azaltmaktadır. Ayrıca silaj yapımı sırasında silaja tanen eklemek de silajda proteolizi azaltmaktadır. Tanenler, rumende pH 3,5-7,5 arasında, proteinlerle kompleks oluşturarak proteinlerin mikroorganizmalar tarafından sindirilmesini engellerler. Böylece proteinler rumeni sindirilmeden geçerek abomazuma ulaşırlar. Tanen-protein komplekslerinin abomazumun düşük pH ortamında yapıları bozulur ve proteinleri serbest bırakırlar. Böylece tanenler proteinlerin korunarak rumende değil daha çok bağırsaklarda sindirilmesine yardımcı olurlar. Ancak tanenlerin bağırsaklara geçmesi proteinlerle tekrar kompleks oluşturma ve protein sindirimini engelleme riskini ortaya çıkarmaktadır (Ünver ve ark., 2014). Tanenlerin, rumende bulunan metanojenlerin ve protozoonların çoğalmasını ve aktivitelerini durdurarak etki gösterdiği de düşünülmektedir. Ruminantlar tanence zengin kaba yemlerle beslendiklerinde metan gazı üretimi %55 oranında azalmaktadır. Öte yandan tanenler kaba yemin sindirilebilirliği ve hayvanın gelişimini gerilettiğinden kullanımlarının yaygınlaşması için daha detaylı çalışmalar gerekmektedir (Beauchemin ve ark., 2008).

#### b) Saponinler

Saponinler bitkinin böcek ve mikroorganizmalardan korunmasında işe yarayan ve böcekler için toksik ve mikroorganizmalara karşı kuvvetli antimikrobiyal etkileri olan biyoaktif fitokimyasallardır (Mary ve ark., 1986). Saponinler rumen protozoonları ya da metanojen arkelerin sayısını azaltarak metan üretimini baskılamaktadır. Agarwal ve ark. (2006)'nın bildirdiğine göre sabun ağacı (*Sapindus mukorossi*) bitkisinin tohumlarının etanol ekstraktı, metan üretimini %96 oranında baskılamak su ve metanol ekstraktları metan üretimini sırasıyla %39,4 ve %20 oranında azaltmıştır. Bitki ekstraktlarının

elde edilme yönteminden ilave edildiği rasyonun kompozisyonuna kadar birçok faktör bu bileşiklerin rumen fermantasyonuna olan etkilerini belirlemektedir. Öte yandan her bitkiden elde edilen saponinler de aynı etkiyi göstermemektedir. Shikakai (*Acacia concinna*) bitkisinin meyve kabuklarından elde edilen saponinler protozoon sayısını azalttığı halde metan üretimine etki göstermemiştir (Patra ve ark., 2006). Bunun yanında *Sapindus saponaria* meyvelerinden elde edilen saponinlerin metan üretimini azaltıcı etkisinin defaunasyon uygulanmayan rumene eklendiğinde %14 iken defaunasyon uygulanmış rumene eklendiğinde %29 olduğu bildirilmiştir. Bu durum saponinlerin metan üretimini sınırlayıcı etkisinin tamamıyla protozoonları baskılamasından kaynaklanmadığını düşündürmektedir (Hess ve ark., 2003). Saponinlerin protozoon sayısını azalttığından rumen bakterilerinin gelişimini kolaylaştıracağı ve lif sindiriminde etkili bakterilerin gelişimini baskılayarak mayaların gelişimini hızlandıracağı göz önüne alındığında ise özellikle düşük kaliteli kaba yem ile beslemede yararlı olabileceği bildirilmiştir (Patra ve Sexena, 2009). Diğer taraftan saponinlerin rumen mikroorganizmaları üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, *Sesbania sesban* bitkisinin yapraklarından elde edilen saponinlerin hem protozoon hem de metanojenlerin sayısını sırasıyla %50 ve %78 oranında azaltmasına rağmen metan üretiminin değişmediği gözlenmiştir. Araştırmacılar beklenmeyen bu durumu, protozoonlarla simbiyotik ilişkisi olmayan serbest metanojenlerin yüksek metabolik aktivitelerinden ötürü metan üretiminin sabit kalmasına bağlamışlardır. Aynı çalışmada bakterileri sindiren protozoon sayısının azalmasıyla *R. flavefaciens* and *F. succinogenes* gibi H<sub>2</sub> üreten bakteri sayısının yükselmesi ve böylelikle metanojenlere daha fazla H<sub>2</sub> sunulmasının serbest

metanojenlerin metan üretimini teşvik ettiği bildirilmiştir (Goel ve ark., 2008). Bu çalışmalarda ortaya konulan sonuçlar rumende metan üretiminin protozoon sayısı ile doğru orantılı olmadığı gibi metanojen arkelerin sayısı ile de doğru orantılı olmadığını düşündürmektedir.

### c) *Esansiyel (Eterik, Uçucu) Yağlar*

Esansiyel yağlar karmaşık ikincil bitki metabolitleridir. Buharlaşma ısıları suya nazaran düşük olduğundan kolayca buharlaşabilen fenilpropanlar ve terpenlerden oluşurlar. Bu nedenle uçucu yağlar olarak da adlandırılırlar. Distilasyon metoduyla, özellikle de buhar distilasyon yöntemiyle elde edilirler (Greathead, 2003). Esansiyel yağların yaklaşık 2/3'ü mayalara inhibisyon etkisi gösterirken 1/3'ü bakterilere antimikrobiyal olarak etki eder (Cowan, 1999). Ancak bu etki daha çok beşeri farmakolojik ve toksikolojik araştırmalarla ortaya konulmuştur (Greathead, 2003). Özellikle 2000'li yıllardan sonra yapılan birçok çalışmada eterik yağların rumen fermantasyonu, mikrobiyal popülasyonlar, hayvanın verimliliği ve metan üretiminin azaltılması yönünden ruminantlara faydalı olduğu bildirilmiştir (Cieslak, 2013). Birçok bitki uçucu yağı tek başına ya da kombinasyon yapılarak ilave edildiğinde antimetanojenik etki göstermektedir. Eterik yağların etkileri çeşidine, verildiği doza ve rasyona göre değişiklik göstermektedir. Karanfil, okaliptüs, nane, kekik ve sarımsak bitkilerinden elde edilen farklı kimyasal yapılarda eterik yağların metan üretimi ve metanojenik arkelerin sayısı ve çeşidine olan etkisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, uçucu yağların tamamının metan üretimi ve metanojenik arkelerin sayısını, verildiği doza göre değişik düzeylerde azalttığı bildirilmiştir (Patra ve Yu, 2014). Uçucu yağlar, bitkinin farklı kısımlarında bulunan ve

anethole, limonene, capsaicin, eugenol, carvacrol, geraniol ve thymol gibi biyoaktif antimikrobiyal özellikte bileşiklerle bitkinin savunmasında rol alır. Uçucu yağlar hidrofobik ve lipofilik yapılarından ötürü Gram pozitif bakterilerin hücre duvarını geçerek hücre membran yapısını bozar. Böylece membran iyon geçirgenliğini değiştirerek antimikrobiyal etki gösterir. Uçucu yağların antibakteriyel etkinliği kimyasal kompozisyonuna göre değişiklik gösterir. Uçucu yağların daha çok Gram pozitif bakterilere antibakteriyel etki gösterdiği bilinmekle birlikte Gram negatif bakterileri de bir miktar etkilediği bildirilmiştir. Bu nedenle eterik yağların biyoaktif bileşiklerinin rumen mikroorganizmalarına yönelik minimal etkili dozu ve toksik dozları ayrı ayrı araştırılarak antimikrobiyal spektrumun belirlenmesi ve hangi aktif maddenin hangi dozda kullanılacağına ortaya konması gereklidir (Demirtaş ve ark., 2018). Eterik yağların aynı bitkinin yetiştiği yöreye, toprağa, ısı ve nem değerlerine, kullanılan bitki kısmına ve elde edilme yöntemine göre kompozisyonu ve saflığı değiştiğinden standardizasyonu oldukça güçtür (Cobellis ve ark., 2016). Ayrıca eterik yağlar hoş kokmadıklarından hayvanın yem tüketimini etkilemelerini önlemek için korunmuş olarak yeme eklenmeleri tavsiye edilmektedir (Demirtaş ve ark., 2018).

### **Rumen Mikrobiyal Dağılımının Değiştirilmesi**

Rumende mikroorganizma dağılımını, halojenize metan analogları (Öztürk, 2007), rekabetçi mikroorganizmalar, rumen mikroorganizmalarını hedef alan spesifik mikroorganizmalar ya da immünizasyon yoluyla düzenleyerek metan üretimini azaltmak mümkündür (Eckard ve ark., 2010). Metanojen arkelere karşı geliştirilen aşılarda metan üretiminin azaltılabileceği bildirilmiştir (Öztürk,



2007). Ancak rumende bulunan metanojen mikroorganizma çeşitliliği belirli bir suş ile sınırlı olmayıp yetiştiriciliğin yapıldığı bölge ve beslemede kullanılan rasyonun kompozisyonuna göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle tüm dünyada kullanılabilir bir aşı geliştirmek oldukça zordur (Wright ve ark., 2004). McAllister ve Newbold (2008) tarafından metanojenlerin hücre membran bileşenlerini hedef alan bir aşı geliştirmenin metan üretiminin azaltılmasında daha etkili olabileceği bildirilmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından rumen ortamına bakteriyofaj ya da bakteriyosin üreten mikroorganizmaların uygulanması ya da rumen ortamında bulunan hidrojeni, propiyonik ve asetik asit gibi metandan farklı fermantasyon ürünlerinin sentezinde kullanan mikroorganizmalara yönlendirilerek metan üretiminin azaltılması önerilmiştir (McAllister ve Newbold, 2008). Ancak önerilen bu yöntemler için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Metan üretimi yerine ortamdaki H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'i kullanarak asetik asit üreten asetojenler başarılı olsaydı hayvanın enerji kazancı %4-15 daha yüksek olabilirdi. Ancak asetojenlerin asetojenezis ile hidrojen rekabetinde henüz başarılı sonuçlar alınmadığından bu yöntem hala sahada kullanılabilir değildir (Haque, 2018). Diğer taraftan aminokloral, kloroform, trikloroetiladipat, kloralhidrat, alfa-siklodekstrin, trikloroasetamid, 9,10-antrakuinon, 2-bromoetan sülfonik asit ve bromoklorometan gibi halojenize metan analogları metan üretimini azaltmakla birlikte kullanışlı olmadıkları gibi bazı zararlı yan etkileri de bulunmaktadır. Ayrıca metanojenler bu tür kimyasallara direnç geliştirebilmektedir. Bu nedenle ruminant beslenmesinde kullanılmaları sürdürülebilir değildir (Öztürk, 2007).

Rumende bulunan protozoonlardan özellikle entodiniomorf protozoonlar bakterileri sindirirler

ancak özellikle metanojen arkeler sindirilmez ve protozoonun simbiyonunda yaşamaya devam eder. Protozoonun metabolizması sırasında ortaya çıkan hidrojenin metanojen tarafından metan üretiminde kullanılarak ortamdaki uzaklaştırılması protozoon ile metanojen arasında simbiyotik bir işbirliğini kurar. Protozoon metanojene hidrojen sağlarken hidrojenin ortamdaki uzaklaştırılması protozoon için fermantasyon faaliyetlerinin devamlılığı demektir. Bu nedenle rumende bulunan protozoonlardan özellikle siliatların yüzeyi ya da simbiyonlarına yerleşmiş metanojenler sayesinde metan gazı üretimine, yemin kompozisyonuna göre değişmekle birlikte %37'ye varan oranda katkı sağlarlar (Newbold ve ark., 2015). Rumende protozoonların sayısının azalması, hem siliatların yüzeyinde ya da endosimbionları içinde yerleşmiş metanojenler ortadan kalktığından, hem de protozoon kaynaklı hidrojen üretimi durduğundan metan üretimini azaltmaktadır (Kamra, 2005). Protozoonların rumenden uzaklaştırılması metan gazı üretimini azaltıyor olsa da rumende fermantasyon olaylarında bozulma ve hayvanın performansında düşüş olabileceğinden en kullanışlı seçenek değildir (Haque, 2018).

### Hayvan Irkının Değiştirilmesi

Verimi düşük hayvanların ayrılması, daha yüksek verimli ve daha az metan gazı üreten hayvanların yetiştirilmesi metan gazı üretiminin azaltılması amacıyla önerilen ıslah yöntemleridir. Metan üretimi hayvan sayısı ile doğru orantılı olduğundan düşük verimli hayvanların sürüden ayrılması ve yerine daha verimli hayvanların alınması birim verim başına düşen metan üretim miktarını azaltmaktadır. Metan üretimini azaltmaya yönelik yapılan birçok araştırmada değişik sonuçlar ortaya konmuştur. Bu nedenle bazı araştırmacılar, bunun nedeninin

fenotipik özellikler ve kalıtsal özelliklerden kaynaklanabileceğinden yola çıkarak daha az metan gazı üreten hayvanların yetiştirilmesini önermişlerdir, ancak bunun işe yaramayabileceğini bildiren araştırmacılar da vardır (Pinares-Patiño ve ark., 2003; Clark ve ark., 2005; Eckard ve ark., 2010). Öncelikle metan üretiminin hayvan ırklarıyla ilişkisinin olup olmadığı detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

### SONUÇ

Küresel ısınmanın önemli aktörlerinden olan ruminantlardan metan gazı salınımını azaltmak amacıyla çeyrek asırdan uzun zamandır bilim insanları çalışmalar yapmaktadır. Bu maksatla yemin modifiye edilmesi, rumen mikrobiyal dağılımının değiştirilmesi, hayvan ırkının değiştirilmesi vb. birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden bir ya da birkaçı yalnız başına veya birlikte uygulandığında yüksek etkinliği, düşük maliyetli ve sürdürülebilir olmasıyla ruminantlarda sera gazı salınımının azaltılmasında potansiyel taşımaktadır. Bunun yanında sentetik kimyasalların insan kullanımında olduğu gibi hayvan yetiştiriciliğinde de kullanımının azaltılarak doğal fitokimyasalların yaygınlaştırılmasına çalışılmaktadır. Son yıllarda ikincil bitki metabolitlerinin ruminal sera gazı salınımının azaltılmasında yüksek potansiyel taşıdığı görüldüğünden bilim insanları tarafından artan ilgiyle araştırmalar sürdürülmektedir. İkincil bitki metabolitleri düşük yan etkisi, düşük maliyeti ve yüksek antimetanojenik etkinliği ile önerilen yöntemler arasında öne çıkmaktadır. Bazı bitkilerden elde edilen ikincil bitki metabolitlerinin rumen fermantasyonu ve metan sentezinin azaltılmasına yönelik olumlu etkileri gösterilmekle birlikte bu ürünlerin çok karmaşık bileşiklerden oluşması spesifik olarak belirli mikroorganizmalara olan

etkilerini anlamayı güçleştirmektedir. Bu nedenle ortaya konulan yararlı ve toksik etkilerin, hangi bileşiğin hangi dozda etkisi olduğunun belirlenmesi ikincil bitki metabolitlerinin daha etkin kullanımı için gereklidir. İkincil bitki metabolitleri tıpkı sentetik kimyasallarda olduğu gibi doza bağlı olarak ilaç ya da toksik etkilidir. Bunlar çok sayıda karmaşık bileşiklerden oluştuklarından ayrı ayrı etkinliklerinin ve ilaç-zehir ilişkisinin belirlenmesi uzun ve zorlu araştırmaların yapılmasını gerektirse de farmakolojik ve toksikolojik sonuçları itibariyle yüksek potansiyel taşımaktadır.

### KAYNAKLAR

- Agarwal, N., Kamra, D.N., Chaudhary, L.C., Patra, A.K. (2006). Effect of *Sapindus mukorossi* extracts on in vitro methanogenesis and fermentation characteristics in buffalo rumen liquor. *Journal of Applied Animal Research*, 30(1), 1-4.
- Alvarez-Hess, P.S., Williams, S.R.O., Jacobs, J.L., Hannah, M.C., Beauchemin, K.A., Eckard, R.J., Wales, W.J., Morris, G.L., Moate, P.J. (2019). Effect of dietary fat supplementation on methane emissions from dairy cows fed wheat or corn. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2714-2723.
- Asanuma, N., Iwamoto, M., Hino, T. (1999). Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science*, 82(4), 780-787.
- Bayaru, E., Kanda, S., Kamada, T., Itabashi, H., Andoh, S., Nishida, T., Ishida, M., Itoh, T., Nagara, K., Isobe, Y. (2001). Effect of fumaric acid on methane production, rumen fermentation and digestibility of cattle fed roughage alone. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 72(2), 139-146.
- Beauchemin, K.A., Meginn, S.M. (2006). Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. *Journal of animal science*, 84(6), 1489-1496.
- Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'mara, F., Mcallister, T.A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 21-27.
- Benchaar, C., Pomar, C., Chiquette, J. (2001). Evaluation of diet strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 563-574.
- Chung, Y.H., He, M.L., Meginn, S.M., Mcallister, T.A., Beauchemin, K.A. (2011). Linseed suppresses enteric methane emissions from cattle fed barley silage, but not from those fed grass hay. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 321-329.
- Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G., Gouet, P. (1995). Effects of live *Saccharomyces cerevisiae* cells on

- zoospore germination, growth, and cellulolytic activity of the rumen anaerobic fungus, *Neocallimastix frontalis* MCH3. *Current Microbiology*, 31(4), 201-205.
- Cieslak, A., Szumacher-Strabel, M., Stochmal, A., Oleszek, W. (2013). Plant components with specific activities against rumen methanogens. *Animal*, 7, 253-265.
- Clark, H., Pinares-Patiño, C., De Klein, C. (2005). Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *Grassland. A Global Resource*, 279-293.
- Cowan, M.M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564-582.
- Czerkawski, J.W. (1986). *An Introduction to Rumen Studies*. Exeter: Pergamon Press.
- Demirtaş, A., Öztürk, H., Pişkin, İ. (2018). Overview of plant extracts and plant secondary metabolites as alternatives to antibiotics for modification of ruminal fermentation, *Ank Univ Vet Fak Derg*, 65 (2), 213-217.
- Demirtaş, A., Musa, S.A.A., Pekcan, M., Salgirli Demirbas, Y., Piskin, I., Emre, B., Ozturk, H., Toprak, N.N. (2020). Effects of Cleavers (*Galium aparine*) and Yarrow (*Achillea millefolium*) Extracts on Rumen Microbial Fermentation in In-vitro Semi-Continuous Culture System (RUSITEC). *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 26(3).
- Doreau, M., Ferlay, A. (1995). Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livestock Production Science*, 43(2), 97-110.
- Eckard, R.J., Grainger, C., De Klein, C.A.M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science*, 130(1-3), 47-56.
- Eun, J.S., Beauchemin, K.A. (2007). Assessment of the efficacy of varying experimental exogenous fibrolytic enzymes using in vitro fermentation characteristic. *Animal Feed Science and Technology* 132, 298-315. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.02.014.
- Goel, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2008). Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *Journal of Applied Microbiology*, 105(3), 770-777.
- Grainger, C., Clarke, T., Beauchemin, K.A., MCGinn, S.M., Eckard, R.J. (2008). Supplementation with whole cottonseed reduces methane emissions and increases milk production of dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 73-76.
- Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the nutrition Society*, 62(2), 279-290.
- Guan, H., Wittenberg, K.M., Ominski, K.H., Krause, D.O. (2006). Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science*, 84, 1896-1906.
- Haque, N., Saraswat, M.L., Sahoo, A. (2001). Methane production and energy balance in crossbred male calves fed on rations containing different ratios of green sorghum and wheat straw. *Indian Journal of Animal Sciences*, 71, 797-799.
- Haque, M.N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of animal science and technology*, 60(1), 15.
- Hess, H.D., Monsalve, L.M., Lascano, C.E., Carulla, J.E., Diaz, T.E., Kreuzer, M. (2003). Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: Effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, 703-713.
- Hungate, R.E., Mah, R.A., Simesen, M. (1961). Rates of production of individual volatile fatty acids in the rumen of lactating cows. *Appl Microbiol*, 9, 554-561.
- Johnson, K.A., Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2483-2492.
- Jalc, D., Ceresnakova, Z. (2002). Effect of plant oils and malate on rumen fermentation in vitro. *Czech J Anim Sci*, 47, 106-111.
- Kamra, D.N. (2005). Rumen microbial ecosystem. *Curr. Sci. India*, 89: 124-135.
- Latham, E.A., Pinchak, W.E., Trachsel, J., Allen, H.K., Callaway, T.R., Nisbet, D.J., Anderson, R.C. (2018). Isolation, characterization and strain selection of a *Paenibacillus* species for use as a probiotic to aid in ruminal methane mitigation, nitrate/nitrite detoxification and food safety. *Bioresource Technology*, 263, 358-364.
- Lila, Z.A., Mohammed, N., Yasui, T., Kurokawa, Y., Kanda, S., Itabashi, H. (2004). Effects of a twin strain of *Saccharomyces cerevisiae* live cells on mixed ruminal microorganism fermentation in vitro. *Journal of Animal Science*, 82(6), 1847-1854.
- Lovett, D.K., Lovell, S., Stack, L., Callan, J., Finlay, M., Conolly, J. (2003). Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livestock Production Science*, 84, 135-146.
- Machmuller, A., Kreuzer, M.C.J.A.S. (1999). Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 79(1), 65-72.
- Machmuller, A., Soliva, C.R., Kreuzer, M. (2003). Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition*, 90(3), 529-540.
- McAllister, T.A., Cheng, K.J., Okine, E.K., Mathison, G.W. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(2), 231-243.
- McAllister, T.A., Newbold, C.J. (2008). Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 7-13.
- McGinn, S.M., Beauchemin, K.A., Coates, T., Colombatto, D. (2004). Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J Anim Sci*, 82, 3346-3356.

- 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.
- Mary, W., Crombie, L., Crombie, L. (1986). Distribution of avenacins A-1, A-2, B-1 and B-2 in oat roots: Their fungicidal activity towards 'take-all' fungus. *Phytochemistry*, 25(9), 2069-2073.
- Mohammed, N., Lila, Z.A., Ajisaka, N., Hara, K., Mikuni, K., Hara, K., Kanda, S., Itabashi, H. (2004). Inhibition of ruminal microbial methane production by  $\beta$ -cyclodextrin iodopropane, malate and their combination in vitro. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 88(5-6), 188-195.
- Nagaraja, T.G., Newbold, C.J., Van Nevel, C.J., Demeyer, D.I. (1997). Manipulation of ruminal fermentation. In *The rumen microbial ecosystem* (pp. 523-632). Springer, Dordrecht.
- Newbold, C.J., De La Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E., Mcewan, N.R. (2015). The role of ciliate protozoa in the rumen. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1313.
- Oeztuerk, H. (2009). Effects of live and autoclaved yeast cultures on ruminal fermentation in vitro. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18(1), 142-150.
- Öztürk, H. (2007). Küresel ısınmada ruminantların rolü. *Vet Hek Der Derg*, 78(1), 17-21.
- Öztürk, H., Demirbaş, Y.S., Aydın, F.G., Pişkin, İ., Ünler, F.M., Emre, M.B. (2015). Effects of hydrolyzed and live yeasts on rumen microbial fermentation in a semicontinuous culture system (Rusitec). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39(5), 556-559.
- Patra, A.K., Kamra, D.N., Agarwal, N. (2006). Effect of plant extracts on in vitro methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. *Animal Feed Science and Technology*, 128, 276-291.
- Patra, A.K., Saxena, J. (2009). The effect and mode of action of saponins on microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22, 204-219.
- Patra, A.K. (2012). An overview of antimicrobial properties of different classes of phytochemicals. *Dietary Phytochemicals and Microbes*, 1-32.
- Patra, A.K., Yu, Z. (2014). Effects of vanillin, quillaja saponin, and essential oils on in vitro fermentation and protein degrading microorganisms of the rumen. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(2), 897-905.
- Parry, M., Parry, M.L., Canziani, O., Palutikof, J., Van Der Linden, P., Hanson, C. (2007). Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Pinares-Patiño, C.S., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Barry, T. N., Holmes, C.W. (2003). Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 140(2), 227-233.
- Sauer, F.D., Fellner, V., Kinsman, R., Kramer, J.K.G., Jackson, H.A., Lee, A.J., Chen, S. (1998). Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *Journal of Animal Science*, 76(3), 906-914.
- Singh, B.R., Singh, O. (2012). Study of impacts of global warming on climate change: rise in sea level and disaster frequency. *Global warming-impacts and future perspective*.
- Shimojo, M., Bungo, T., Imura, Y., Tobisa, M., Furuse, M., Masuda, Y., Yasukatsu, Y., Yutaka, N., Tao, S., Muhammad, Y., Goto, I. (2000). Basic avoidance of food competition among ruminants, non-ruminants and humans-A simple analytic description. *Journal-Faculty of Agriculture Kyushu University*, 44(3/4), 293-298.
- Stocker, T. (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.
- Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J., Zom, R.L.G. (2007). Feeding strategies to reduce methane loss in cattle. *Animal Sciences Group*, 34.
- Ünver, E., Okur, A.A., Tahtabiçen, E., Kara, B., Şamli, H.E. (2014). Tannins and their impacts on animal nutrition. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2(6), 263-267.
- Waghorn, G.C., Mcnabb, W.C. (2003). Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(2), 383-392.
- Wright, A.D.G., Kennedy, P., O'neill, C.J., Toovey, A.F., Popovski, S., Rea, S.M., Pimm, C.L., Klein, L. (2004). Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*, 22(29-30), 3976-3985.
- Van Zijderveld, S.M., Gerrits, W.J.J., Apajalahti, J.A., Newbold, J.R., Dijkstra, J., Leng, R.A., (2010). Nitrate and sulfate: effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *J. Dairy Sci*, 93, 5856-5866. Doi: 10.3168/jds.2010-3281.
- Vet, L.G.R.P.M., Vet, F.S.M.M., Vet, MM. C.M., Júnior, R.G., Vet, T.R.T.M., Pharm, L.G.R., St, M.V. (2015). Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review/Estratégias de mitigación de metano entérico en ruminantes: revisión de literatura/Estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes: revisão de literatura. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(2), 124.