



ÇİFTLİK HAYVANLARININ SERA GAZLARI ÜRETİMİNDEKİ ROLÜ

Ceyhan ÖZBEYAZ¹ Afşin KOCAKAYA¹

Özet: Küresel sıcaklık artışının, atmosfer kompozisyonundaki değişimler sonucu olduğunun anlaşılması ile sera gazları salınımına yönelik araştırmalar önem kazanmıştır. Küresel sıcaklık artışı, gelişmiş ülkelerin kullandıkları enerjinin % 50'den fazlasını fosil yakıtlardan sağlayarak CO₂ üretmelerine bağlanmaktadır. Atmosferin ısınmasına katkısı olan sera gazlarının % 76,80'ini CO₂ teşkil etmektedir. Çeşitli aktiviteler sonucu oluşan sera gazları canlılar tarafından da üretilmektedir. Hayvansal üretimde çok miktarda ortaya çıkan Metan gazı, atmosferdeki sera gazlarının artışında önemli bir bileşendir. Metan gazı CO₂'e oranla 4-6 kat daha fazla termojenik etkiye sahiptir. Çiftlik hayvanları ve insanların ürettiği toplam metan gazının % 82 kadarı sığır ve mandalar tarafından üretilmektedir. Bu nedenle bu derlemede sera gazları üretiminde sığırların etkisi üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sera Gazları, Çiftlik Hayvanları, Metan, Sığır

THE ROLE OF LIVESTOCK IN THE PRODUCTION OF GREENHOUSE GASES (A REVIEW)

Summary: Understanding the reason of increasing global temperature, due to relate with the changes of atmosphere composition, give a great importance to greenhouse gas emission studies. The reason of increasing global temperature is connect with developed countries which provide more than 50% of total energy from fossil fuels that caused CO₂ production. Greenhouse gases which contribute to atmosphere warm up composed 76.80% by CO₂. Also the greenhouse gases are produced by various activities of living creatures. Because of the methane gas that is occurred by animal production is important component of the greenhouse gases. Methane gas has 4-6 times more thermogenic effects than CO₂. The 82% of total methane production from farm animal and people is produced by cattles and buffalos. Because of this reason, the review is focus on the effect of the cattles to producing greenhouse gases.

Key Words: Greenhouse Gases, Livestock, Methane, Cattle

¹ Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Zootekni Anabilim Dalı, Ankara



Giriş

Son yıllarda hava sıcaklıklarında meydana gelen artışların, atmosfer kompozisyonundaki değişikliklerle ilgili olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle bu konu ile ilgili araştırmalar yoğunluk kazanmıştır. Küresel sıcaklıktaki artışlar atmosferin troposfer tabakasındaki birçok gazın yoğunluğunun artması ile ilgilidir (21). Meteoroloji kayıtları son yüzyılda Dünya çapında yıllık ortalama sıcaklığın 0,5-0,7 °C arttığını

göstermektedir. 1986 ve 1995 yılları arasında son 135 yılın en yüksek sıcaklıkları görülmüştür. Dolayısıyla küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının çevre, ekonomi ve halk sağlığı açısından çok ciddi bir tehdit oluşturduğu ortaya konmuştur (11). Başlıca sera gazlarının geçmişteki ve günümüzdeki yoğunlukları ile zaman içindeki artış oranları ve atmosferde kalma süreleri Tablo 1’de özetlenmiştir (21).

Tablo 1. Sera gazlarının troposferdeki yoğunlukları, atmosferde kalma süreleri ve yoğunluklarında meydana gelen değişiklikler (12,21)

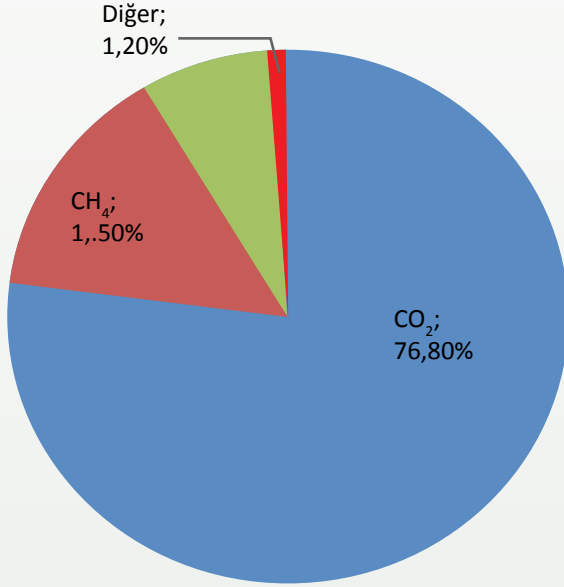
Özellikler	Sera Gazları				
	CO ₂	CH ₄	CFC-11 ¹	CFC-12 ²	N ₂ O
Atmosfer yoğunluğu	(ppmv)	(ppmv)	(pptv)	(pptv)	(ppbv)
Sanayi öncesi	280	0,8	0	0	288
Mevcut durum (2005)	379	1,77	250	538	319
1998’den 2005’e Değişim	+13	+11	-13	+4	+5
Atmosferde kalma süresi (yıl)	50-200	10	65	130	150

¹ kloroflorokarbon 11; ² kloroflorokarbon 12; ppmv: milyonda bir hacim; ppbv: milyarda bir hacim; pptv: trilyonda bir hacim; CH₄: Metan Gazı; N₂O: Diazot Oksit Gazı

Güneş’in kızıl ötesi ışınlarının (IR), gazlar ve atmosfer katmanları tarafından emilmesi sonucu sera etkisinin olduğu düşünülmektedir. Esas olarak atmosferdeki sera gazları, yeryüzünde yaşamın sürdürülebilmesi için gereklidir. Çünkü sera gazları yeryüzüne çarparak yansıyan güneş ışınlarını atmosferde tutar. Bu da dünya sıcaklığının belirli bir aralıkta (ortalama +14°C ’de) tutulmasını sağlar. Bu gazların eşik yoğunlukları ve sera etkilerinin nasıl minimize edildiği bilinmemektedir. Ancak atmosferdeki yoğunluklarının artmasına izin verilmemesi gerektiği kabul görmüştür. Bu kabulün bir sonucu olarak IPCC (Hükümetler Arası

İklim Değişikliği Paneli) gibi organizasyonlar, gelişmiş ülkelerin hükümetlerine kendi ülkelerinde üretilen gazların miktarını değerlendirmeleri ve gazların serbest bırakılmalarını sınırlandırmak için çalışmalar yapıp yapmadıklarını sormaktadırlar (21).

Sera etkisi veya küresel sıcaklığın artışı, sanayisi gelişmiş ülkelerin kullandıkları enerjinin % 50’den fazlasını fosil yakıtlardan sağlayarak CO₂ üretmelerine bağlanmaktadır (16). Atmosferin ısınmasına katkısı olan sera gazlarının % 76,80’ini CO₂ teşkil etmektedir (Şekil 1).



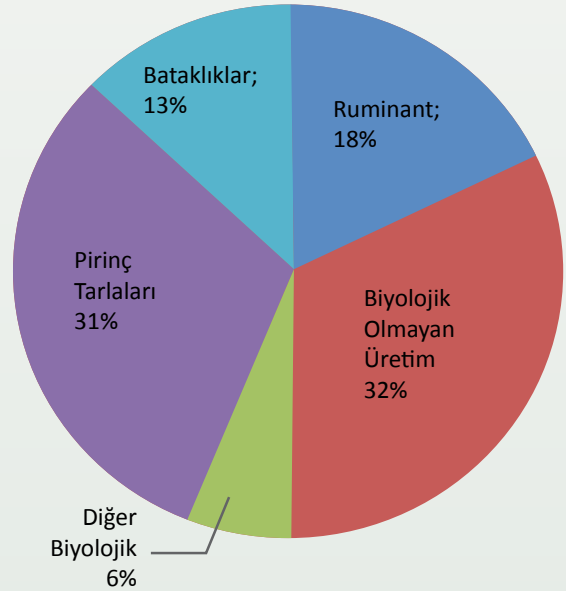
Şekil 1. Sera gazlarının salınım oranları (5)

Çeşitli aktivitelerle ortaya çıkan ve artan sıcaklıklara katkıda bulunan gazların bazıları canlılar tarafından da üretilmektedir. Hayvansal üretimde çokça ortaya çıkan metan (CH₄) gazı, atmosferdeki sera gazlarının artışında önemli bir bileşendir. Metan gazı, CO₂'e oranla 4-6 kat daha fazla termojenik (ısı üreten) etkiye sahiptir (16).

Metan gazı toplam sera gazı salınımının % 14,50'sinden sorumlu olmasına karşın, yüksek termojenik etkisi nedeniyle önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır (16). Çünkü metan atmosferin fotokimyasında büyük rol oynar. Metan birçok biyolojik süreç sonucunda üretilir ve salınır, troposferde hidroksil radikalleriyle (OH) reaksiyona girerek ayrıştırılır. Bu reaksiyon ozonun ve hidroksilin atmosferik yoğunluklarını etkileyen çeşitli ara ürünlerin oluşmasına neden olur (6). Bunun sonucunda atmosferin kompozisyonunda değişimler şekillenir. Metan, ozon ve hidroksilin troposferdeki

yoğunluklarında azalmaya neden olduğu için küresel ısınmada önemli bir role sahiptir. Metan büyük ölçüde doğal anaerobik ekosistemler, pirinç tarlaları ve ruminantlarda fermentatif sindirim sonucu oluşur (16). Şekil 2'de çeşitli kaynaklardan üretilen metan gazının üretim oranları gösterilmiştir. Bazı canlıların ürettiği metan üretim miktarları da Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de de görüldüğü gibi çiftlik hayvanları ve insanların ürettiği toplam metanın % 82'si kadarını sığır ve mandalar oluşturmaktadır. Bu nedenle bu derlemede sera gazları üretiminde sığırın etkisi üzerinde durulacaktır.



Şekil 2. Çeşitli kaynaklardan üretilen metan gazının üretim oranları (16)



Tablo 2. Çiftlik hayvanları ve insanlardan üretilen Metan miktarları (1Tg=10¹²g) (6 nolu kaynaktan uyarlanmıştır*)

Hayvan tipi ve bölge	Popülasyon (x10 ⁶)	Bireysel CH ₄ üretimi (Kg/yıl)	Tüm popülasyonun CH ₄ üretimi (Tg/yıl)	Toplam (Tg/yıl)
<u>Sığır</u>				
Gelişmiş ülkeler, (Brezilya ve Arjantin dâhil)	435,97	55	23,98	
Gelişmekte olan ülkeler	946,27	35	33,11	
Toplam	1.382,2			57,09
Manda	188,3	50		9,4
<u>Koyun</u>				
Gelişmiş ülkeler	104,46	8	0,8	
Gelişmekte olan ülkeler	966,80	5	4,8	
Toplam	1.071,3			5,6
Keçi	867,97	5		4,3
Deve	25,39	58		1,5
<u>Domuz</u>				
Gelişmiş ülkeler	200,43	1,5	0,3	
Gelişmekte olan ülkeler	740,78	1,0	0,7	
Toplam	941,21			1,0
At	59,02	18		1,06
Katır, Merkep	54,78	10		0,5
İnsan	6.829,4	0,05		0,3
Toplam				80,75

* FAO (10)'dan elde edilen popülasyon sayıları, bireysel üretim miktarları ile çarpılarak popülasyonların toplam metan üretim miktarları hesaplanmıştır.



Sığırların Bireysel Sera Gazı Üretimi

Yemle alınan enerji sindirim ile dönüştürülerek bir kısmı vücutta kullanılmakta, bir kısmı dışkı ve idrar yoluyla, bir kısmı ise fermentasyon gazları olarak atılmaktadır. Vücutta kullanılan kısmı ısı üretimi, metabolizma faaliyetleri ve yeni hücrelerin yapımında kullanılmaktadır. Hayvanlarda enerji kayıplarının şekli ve miktarı hayvanın türüne, yemin çeşidine ve kalitesine bağlı olarak değişir. Yem kalitesinin ölçüsü olarak yemin sindirilebilirliği ve metabolize olabilme durumu ele alınmaktadır (6).

Selülozca zengin kaba yemlerin rumende anaerobik şartlarda sindirimi, rumene yerleşmiş ve ruminantla simbiyotik bir ilişki içerisinde olan mikroorganizmalar sayesinde gerçekleşir. Bu sindirim sonucunda oluşan asetik, propiyonik ve bütirik asit gibi uçucu yağ asitleri (UYA) rumen epitelinden hızla emilir ve hayvanın enerji ihtiyacının yaklaşık % 75'ini karşılar. Mikrobiyel sindirim son ürünleri arasında UYA'leri dışında hidrojen iyonları ve CO₂ gazı da bulunmaktadır. Hidrojen metanojenik bakterilerce metan gazına dönüştürülür. Metan gazı yapısında hala enerji barındırmaktadır, ancak bu enerji hayvan tarafından kullanılamaz ve geğirme (ruktus) ile atmosfere atılır. Bu nedenle metan gazı oluşumu yem enerjisinin verimli bir şekilde kullanılamaması anlamına gelmektedir. Hidrojen iyonlarının metanojenik bakterilerce kullanımı rumendeki mikrobiyal sindirimin devamlılığı açısından çok önemlidir. Çünkü yüksek hidrojen iyonu konsantrasyonlarında glikoliz reaksiyonu esnasında indirgenen nikotinamid adenin dinükleotid (NADH)'in tekrar yükseltgenmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumda metabolizma ruminant için zararlı olan bir metabolik yola girerek ethanol ve laktik asit üretimini arttırır (23).

Sığırlar kuru yemlerle beslenmeye başladıkları zaman metan üretimi de başlamaktadır. Sığırlar sindirilebilir enerjinin yaklaşık % 6'sını metan olarak dışarıya atarlar. Retikulorumen gelişimi sırasında fermentasyon ve metan üretim oranı hızla artmaktadır. Metan üretimi rasyonun sindirilebilirliğiyle yakından alakalıdır. Metan üretimindeki değişkenlikte iki önemli mekanizma söz konusudur. Bunlardan birincisi, retikulorumende fermentasyona uğrayan rasyondaki karbonhidrat miktarıdır. İkincisi ise mevcut hidrojen kaynağı ve üretilen UYA üzerinden metan üretiminin düzenlenmesidir. Prensip olarak asetik asit'e göre üretilen propiyonik asit fraksiyonunun metan üretimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Asetik asit/propiyonik asit oranı 1/2 ise metan üretimi % 0 olmaktadır. Eğer tüm karbonhidratların sindirimi sonucunda asetik asit oluşup propiyonik asit oluşmazsa, metan üretimi % 33 olmaktadır. Çünkü asetik asit/propiyonik asit oranı genellikle 0,9 ila 4 arasında değişmektedir ve bu oranlara karşılık gelen metan kayıpları büyük değişiklikler göstermektedir. Ortamda hidrojen tüketen alternatif ekosistemler varsa metan üretimi de etkilenebilir. Bu alternatif ekosistemler nispeten küçük olmakla birlikte O₂, UYA, nitratlar ve sülfatlar içermekte olup mikrobiyal artışa da neden olmaktadır (14).

Johnson ve Johnson (14) rumende karbonhidratların parçalanması sonucunda metan gazı üretiminde yem alımı, karbonhidratın tipi, yem işleme, yağ ekleme ve rumen mikro flora manipülasyonları gibi birçok faktörün etkili olduğunu bildirmektedirler.

Yem Alımı Düzeyi: Alınan yem miktarı arttıkça metan üretimi azalmaktadır (21). Tüketilen yemlerin brüt enerji miktarındaki her % 1,6 artışa karşılık, metan üretiminde düşüş şekillenmektedir.



Sindirilebilirliği yüksek karbonhidratlarla yapılan sınırlı beslemede, yüksek düzeyde metan üretimi meydana gelirken, yüksek miktarlarla yapılan beslemelerde ise düşük düzeyde metan üretimi meydana gelmektedir (14). Blaxter ve Clapperton (4), yaşam payı düzeyinde yapılan besleme şeklinde, sindirilebilirliği yüksek yemler kullanıldığında metan üretiminin arttığını, fakat kaliteli yem kullanılarak yem alımı iki katına çıkarıldığında metan üretiminin düştüğünü bildirmişlerdir.

Yem alımındaki artış sonucu metan üretiminin azalması, artan yem alımı nedeniyle yemlerin rumende kalma süresinin kısılması ile şekillenmektedir. Öte yandan, sınırsız yem tüketimi ile indirgenmiş olan asetik asit oranına bağlı olarak daha düşük asetik asit/propiyonik asit oranı elde edilmiştir. Asetik asit üretiminin azalması heksozları propiyonik asit ve bütirik asit üretimine çevirmiş, metan üretimini azaltmıştır. Bu nedenle, ad libitum besleme ile asetik asit miktarında şekillenen azalma metan üretimindeki azalmayı da beraberinde getirmektedir (3).

Karbonhidrat Tipi: Fermente olan karbonhidratların tipi, rumen pH'sında ve mikroorganizma popülasyonunda meydana getirdiği değişikliklerle metan üretimini etkilemektedir. Hücre duvarı liflerinde şekillenen fermentasyon, yüksek asetik asit/propiyonik asit oranına ve yüksek metan üretimine neden olur. Moe ve Tyrrell (20) çözünür karbonhidratların fermentasyonunun hücre duvarı karbonhidratlarından daha az metajenik olabileceğini bulmuşlardır. Torrent ve ark. (25) besi sığırları litaratür bilgileri ile yaptıkları regresyon analizi sonucunda sindirilmiş hücre duvarının daha fazla metan üretimine yol açtığı fikrini kabul etmişler ve hücre duvarı bileşeni olmayan, nişastadan daha metojenik olan bileşenlerin daha fazla çözülebilir şeker içinde

ayrıştırılmalarını önermektedirler. Bu öneri yüksek sindirilebilir lif kaynağı ve pancar posası ile beslenen kastre sığırlarda doğrudan yapılan metan ölçümleriyle teyit edilmiştir. Yüksek pancar posası alımı ile metan üretimi brüt enerji alımının % 4-5'ine düşmektedir (14).

UYA'lerinin her birinin oranı doğal olarak rasyondaki organik madde (OM) oranından ve karbonhidratların fermentasyon oranından etkilendiği için, bu rasyon özelliklerinin metan üretimi üzerine büyük etkileri olmaktadır. Propiyonik asit üretimi lehine olan nişasta açısından zengin rasyonlar rumendeki metan/fermente OM oranını azaltmaktadır. Konsantre yem ağırlıklı rasyonların rumen pH'sı üzerindeki etkisi, metan üretimi üzerindeki etkilerini açıklayabilmektedir. Bunların aksine, kaba yem ağırlıklı rasyonlar metan üretim oranını artırmaktadır. Örneğin, yaşam payı düzeyinde beslemede metan üretimi düzeyi % 6-7 olurken, yüksek tahıl içeren rasyonlarla yapılan ad libitum beslemede % 2-3 kadar olmaktadır (21).

Kaba Yemlerin İşlenmesi: Kaba yemlerin öğütülmesi ve peletlenmesi metan üretimini önemli düzeyde etkileyebilmektedir. Öğütülmüş yemin veya pelet yemin sindirim kanalından geçiş oranındaki artış muhtemelen metan üretiminde azalmaya katkıda bulunmaktadır. Okine ve ark., (22) rumene ağırlık (24 kg'lık, içi kumla doldurulmuş polietilen küpler) ilave edildiğinde metan üretiminde önemli bir azalma (% 29) olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada sindirilebilme oranında herhangi bir değişiklik olmadığı halde günlük metan üretimi 189 l'den 135 l'ye düşmüştür. Metan üretimindeki varyasyonun % 28'i partiküllerin rumenden geçiş hızı ile % 25'i ise yemlerin seyretilme oranı ile ilişkili bulunmuştur. Düşük kaliteli kaba yemlere amonyak katılması veya



protein ilavesi, sindirilmeye iyileşme sağladığı gibi metan üretiminde de artışa neden olmaktadır (14).

Yağ İlavesi: Sığır rasyonlarına yağ ilave edilmesi; doymamış yağ asitlerinin biyohidrojenasyonu, artan propiyonik asit üretimi ve protozoal inhibisyon gibi çeşitli mekanizmalarla metan üretimine etki etmektedir. Czerkawski ve ark. (7) uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin rasyonlara eklenmesinin, CO₂ azaltımı vasıtasıyla metan oluşumunu azalttığını bildirmişlerdir. Hayvan iç yağı veya soya yağı gibi ilave yağ kaynaklarıyla beslenen sığırlarda metan üretimi, izokalorik beslenen kontrol gruplarına göre daha az olmuştur. Metan üretimindeki azalmanın sebebi olarak, fermente substrattaki azalma yerine yağların metan oluşumu üzerindeki doğrudan etkisi gösterilmiştir (14).

İyonofor Eklenmesi: Rasyonlara iyonofor eklenmesi metan üretim oranını düşürmektedir. Metan üretimindeki bu düşüş iyonoforların rumen mikroflorasını gram pozitif bakterilerden gram negatif bakteriler lehine değiştirmesi ve buna bağlı olarak fermentasyon son ürünlerinin asetik asitten propiyonik asit lehine değişmesi sonucu şekillenmektedir (21). Etçi sığır rasyonlarına iyonofor (özellikle monensin) eklenmesi, yem alımını % 5-6 oranında azaltırken, asetik asit/propiyonik asit oranını ve metan üretimini % 25 kadar azaltabilmektedir. Ancak, son araştırmalar metan üretimindeki bu düşüşün kısa sürdüğünü göstermektedir. Koyun rasyonlarına kloralhidrat katılması ile metan üretiminin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmada rumen mikroflorasının yem katkılarına adaptasyon yeteneği olduğu görülmüştür. Başlangıçta metan üretimi % 64 azalmış, fakat 30 gün içinde metan üretimi kontrol grubuyla aynı düzeye gelmiştir. Bu nedenle, iyonoforlarla desteklenmiş rasyonlarla beslenen sığırlarda görülen metan üretimindeki azalış, muhtemelen yem alımındaki

azalma ile ilişkilidir ve metan oluşumuna direkt etkisi bulunmamaktadır (14).

Mikrobiyel Flora Değişiklikleri: Protozoonlarla ilişkili olan metanojenler, rumendeki metan üretiminin % 9 ila % 25'inden sorumludurlar. Protozoonların rumenden uzaklaştırılması (defaunasyon) sonucunda metan üretiminde azalma şekillenmektedir. Protozoonları rumenden uzaklaştırmak için birçok yöntem mevcuttur fakat bu yöntemlerin, rumen mikroflorasındaki diğer bakterileri ve hayvanın kendisini zehirlleme riski vardır, bu yüzden rutin olarak kullanılamamaktadırlar. Ancak yapılan son çalışmalarda saponin içeren yemlerin diğer bakterilere ya da hayvanın kendisine zarar vermeden rumen protozoonlarının sayısında azalmaya sebep oldukları bildirilmiştir (21). Arpa ile beslenen sığırlarda yapılan rumen defaunasyonu, metan üretimini yaklaşık 1,5 kat düşürmektedir. Kaba yem oranı yüksek yemlerle beslenen hayvanlarda ise şekillenen defaunasyon sonucunda metan üretiminde düşüş görülmemektedir (14).

Gübrede Sera Gazı Üretimi

Çiftlik hayvanlarının gübreleri organik maddeler ile sudan oluşmaktadır. Organik maddeler anaerobik ve seçici bakteriler tarafından parçalanırlar. Bu işlem sonucunda metan, karbon dioksit ve stabilize organik maddeler oluşmaktadır (8). Diğer taraftan çiftlik hayvanları gübrelerinde nitrojen döngüsünün bir parçası olarak, gübredeki ve idrardaki organik nitrojenin nitrifikasyonu veya denitrifikasyonu sonucunda diazot oksit şekillenmektedir (9).

Gübrenin metan üretilebilme potansiyeli, yemin bileşimine ve sindirilebilirliğine bağlı değişiklik gösteren gübre kompozisyonuna bağlıdır. Gübrenin parçalanması sırasında üretilen metan miktarı ise iklim ve gübre yönetim sisteminden etkilenmektedir.



Gübre yönetim sistemleri vasıtasıyla belirlenen; oksijenle temas, pH, su içeriği, gıda maddesi mevcudiyeti gibi temel faktörler ile sıcaklık ve yağmur gibi iklimsel faktörler metan üretimini etkilemektedir (8).

Çiftlik hayvanlarının gübreleri, depolandığında veya bir sistem dâhilinde işlendiğinde (havuzlarda, tanklarda, çukurlarda sıvı halde depolamak), anaerobik koşulların oluşması kolaylaşır ve gübrede meydana gelen parçalanma sonucu metan gazı üretilir. Eğer gübre kuru olarak örneğin, yığın halinde ya da çukurlarda depolanırsa veya meralarda, otlaklarda ya da padoklarda biriktirilirse, aerobik olarak ayrışma eğiliminde olur ve sonuçta metan gazı çok az üretilir veya hiç üretilmez. Ortamın sıcaklığı ve nemi metan üretimini etkilemektedir, çünkü sıcaklık ve nem metan üreten bakterilerin çoğalmasını etkilemektedir. Genellikle artan sıcaklık ve depolama süresi nedeniyle de metan üretimi artmaktadır. Kuru gübre depolama sistemlerinde, havanın nem oranının yüksek olması ve yağmur gibi nemli koşullar bulunduğu metan üretimi artmaktadır. Gübre yönetimi genellikle az metan üreten katı depolama şeklinde olmasına rağmen, özellikle büyük süt sığırları işletmelerinde sıvı sistemlerinin kullanımı metan üretiminin artmasına sebep olmaktadır (9).

Hayvansal üretim yapılan çiftliklerin küçük olması, gübrelerin mera ve otlaklara serpilmesi nedeniyle önceleri gübre kaynaklı metan üretimi çok azdı. Gübrelerin sıyrılarak toplanması ve tarlalara gübre olarak yayılması ile gübrenin hava ile teması sağlanmakta ve böylelikle fermentasyon olmamaktadır. 1980'lerde büyük süt sığırları ve domuz çiftlikleri yaygınlaşmaya başladığında, sulu gübre (gübre bulamacı) yönetim sistemleri devreye girmiştir. Bu sistemde gübreler su vasıtasıyla barınaklardan temizlenmekte ve tarım arazilerine gönderilene

kadar büyük tanklar ya da havuzlarda saklanmaktadır. Böylece biriktirme yerlerindeki gübreler su altında kalarak hava ile temasları kesilmiş ve böylelikle metan üretiminde artışa neden olmuştur (8).

Çiftlik hayvanları gübrelerinden diazot oksit'in ortaya çıkması gübre ve idrarın kompozisyonuna, gübrenin içerdiği bakteri türüne, gübre sistemindeki oksijen ve sıvı miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Diazot oksit üretiminin gerçekleşebilmesi için gübrenin aerobik şartlarda bulunması gerekmektedir. Amonyak veya organik azot nitrifikasyon sonucu nitrit ve nitrata dönüştürülmekte, daha sonra anaerobik şartlarda



nitrit ve nitrat, diazot oksit ve nitrik oksit (NO)'in ara ürünü olan azot (N_2) gazına indirgenmektedir. Kuru gübre yönetim sistemlerinde bu ürünün meydana gelebilmesi için, sistemin aerobik koşullara sahip olması gerekmektedir. Gübre çukurları aynı zamanda saturasyon nedeniyle anaerobik koşullara da sahiptir. Örneğin, sığır açık besi yerlerindeki gübreler toprakta birikerek nitrit ve nitrata okside olmuşlardır ve bunun üzerine yağmur yağması sonucunda saturasyon şartları da sağlanmış olmaktadır (9).



Tablo 3. Türlerle göre gübrede şekillenen diazot oksit (N₂O) miktarlarının yıllara göre değişimi (Tg CO₂ Eşdeğer) (9)

Tür	1990	1996	1997	1998	1999	2000
Sütçü Sığır	4,2	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8
Etçi Sığır	4,9	5,1	5,4	5,5	5,5	5,9
Domuz	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Koyun	+	+	+	+	+	+
Keçi	+	+	+	+	+	+
Kanatlı	6,3	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
At	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Toplam	16,0	16,8	17,1	17,1	17,2	17,5

+; Sera gazları üretim miktarları 0,05 Tg CO₂ eşdeğeri seviyesini aşmamaktadır.

Hayvan türlerine göre gübrede şekillenen diazot oksit üretimleri Tablo 3'te verilmiştir. 2000 yılında gübreden ortaya çıkan toplam diazot oksit'in yaklaşık 17,50 Tg CO₂ eşdeğer olduğu tahmin edilmiştir. 1990-2000 yılları arasındaki diazot oksit üretiminde görülen artış etçi sığırlar, kanatlılar ve bunların gübre yönetiminden kaynaklanmaktadır (9).

Sera Gazı Üretimini Azaltma Yolları

Sığırlar ve çiftlik hayvanlarının ürettiği metan miktarının azaltılması için çeşitli metotlar uygulanabilir. Metan üretimini azaltıcı stratejilerin seçiminde başarılı olmak birçok faktöre bağlıdır. Bunlar, iklimsel ve ekonomik faktörler, teknik ve maddi kaynaklar, gübre yönetim sistemleri, yasal gereklilikler ve enerji kaynağı geliştirilmesi ile yüksek kaliteli gübre kaynağı oluşturma gibi faktörlerdir (11).

1. Rumen Kaynaklı Metan Üretimini Azaltılması

I. Propiyonat Arttırıcılar

Hayvansal ürünlerdeki antibiyotik kalıntılarına karşı bilinçlenme ve bakterilerin antibiyotiklere karşı direnç geliştirebileceği tehlikesi, antibiyotiklere alternatif olabilecek olan büyüme hızlandırıcı

maddelere ilgiyi artırmıştır. Martin (19), malat gibi dekarboksilik organik asitlerin iyonoforlara benzer şekilde rumen fermantasyonunu değiştirebileceğini ileri sürmüştür. Lopez ve ark. (17) propiyonat öncüsü olan fumaratın, uyarıcı fermantatör olarak rumene verildiğinde, propiyonat üretimindeki artışla orantılı bir şekilde metan üretiminin azalacağını ileri sürmüşlerdir. Asanuma ve ark. (1) fumarat'ın in vitro denemelerde metan üretimini baskıladığını ve ekonomik bir yem katkı maddesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Malat, fumarat aracılığı ile propiyonat'a dönüştürülebilmektedir. Böylelikle propiyonat üretimi teşvik edilmekte ve in vitro metan üretimi inhibe olmaktadır. İn vivo denemelerde malat; rumen propiyonat konsantrasyonunu değiştirmektedir. Bu yöntem metan üretiminin tahmininde başarısız bulunmakla birlikte besi tosunlarının günlük yem tüketimini artırmıştır (11).

II. Bağışıklık Sağlama

Baker (2), ruminantların kendi metanojenlerine karşı bağışıklık sağlayabileceğini ve bu yolla metan üretiminde düşüş şekilleneceğini ileri sürmüştür.



Shu ve ark. (24) bu hipotezin doğruluğunu rumen metanojenleri olan Streptokok ve Laktobasil sayısını azalttığını tespit ederek göstermişlerdir.

Metajenik bakterilerin antijenleri kullanılarak elde edilen aşılar ve rumen protozoonlarına karşı hazırlanan immunojenik preparatlar kullanılarak ruminal metan üretimi azaltılabilmektedir (23). Metajenik bakterilere karşı aşı geliştirme çalışmaları devam etmekte olup henüz ticari preperat olarak kullanıma sunulamamıştır (13).

III. Hayvansal Üretimin Arttırılması

Bağırsak fermantasyonu sonucunda üretilen metan miktarının azaltılması için birincil yol verimliliğin artırılmasıdır. Bu şekilde birim ürün başına metan üretimi azalmaktadır. Verimlerin artmasıyla yemlerdeki enerjinin büyük bir bölümü ürün oluşmasına yönelerek, birim verim başına metan üretimi azalmaktadır. Verimlilikteki bu artış belirli bir miktar ürün üretebilmek için gerekli olan sürü büyüklüğünde de azalmaya sebep olmaktadır. Hayvan sayısının azalması da metan üretiminde azalmaya neden olmaktadır (11).

IV. Rasyon Çeşidi ve Katkı Maddeleri

Rasyonun özellikleri hayvanın verimliliği ve rumen metabolizması üzerine doğrudan etki yapmaktadır. Rasyondaki konsantre yem oranının artması ruminal propiyonik asit üretiminde artışa ve bu suretle metan oluşumunda azalmaya neden olmaktadır. Kaba yemlerin pelet haline getirilerek hayvanlara verilmesi de propiyonik asit oluşumunu artırarak metan oluşumunu azaltmaktadır (23). Johnson ve Johnson (14) yaşam payı düzeyinde beslenen sığırlarda brüt enerji alımının, % 6-7'lik bir kısmı metan yolu ile kaybolduğunu ve yüksek tahıl konsantreleriyle (> % 90) ad-libitum besleme yapıldığında ise enerji kaybının % 2-3 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Moss ve ark. (21) yeşil yem silajına arpa ilavesi

sonucunda da aynı etkinin oluştuğunu bildirmişlerdir.

Düşük kaliteli yemlere enerji ve protein ilave edilmesiyle, rumendeki floranın verimliliği ve yemin sindirilebilirliği artmıştır. Sindirimin etkin olabilmesi için rumendeki fermentatif mikroorganizmaların ihtiyacı olan gerekli besinlerin rasyonda bulunması gerekmektedir. Yem, bu besin maddelerinden yoksun olduğunda, sindirim daha az etkili olacak ve sindirimin verimliliği azalacaktır, bunun sonucunda birim ürün başına üretilen metan miktarı artacaktır. Stratejik yem katkılarının yapılması, eksik olan nutrisyonel maddeleri tamamlayarak rasyon değişimine gerek bırakmadan sindirilebilirliği iyi yönde etkilemektedir (11).

V. Asetojenlerin Uyarılması

Ruminal metan üretimini azaltmak için uygun olan stratejilerden birisi de substratları, metan üretiminden farklı olarak alternatif ürün elde edilmesine yönlendirmektir. Memelilerin bağırsaklarında asetojenik bakteri ve termitler, karbondioksit oranını azaltarak asetik asit üretmekte ve indirgeyici asetojenezis bağırsak fermantasyonunda önemli bir hidrojen azaltıcısı gibi davranmaktadır. Burada hidrojen iyonları asetojenik bakterilerce asetik asit oluşumu için kullanılmaktadır. Bu metabolik yol, insan, tavşan, domuz kalın bağırsağında ve yeni doğan kuzu rumeninde tespit edilmiştir. Yetişkin ruminant rumeninde de redüktif asetojen bakteriler vardır. Ancak bunlar yalnızca formiat, glikoz ve sellobiyozu asetik aside dönüştürmektedirler. Metanojenik bakterilerin hidrojen iyonlarına olan affinitesi asetojenik bakterilerden çok daha fazla olduğundan, bu metabolik yolun rumende çalışması oldukça güçtür. Çeşitli kimyasal ajanlarla metanojenik bakteriler baskılanarak asetojenez uyarılmaya çalışılsa da metanojenik bakterilerin kimyasal ajanlara karşı dirençlilik kazanması nedeniyle etkisi kısa süreli olmaktadır (11, 23).



VI. Defaunasyon

Rumende metan oluşumuna neden olan protozoonların, sindirim için çok önemli bir katkı sağlamadıkları uzun zamandır bilinmektedir. Metanojenik bakteriler ise rumende protozoonlar ile birlikte hatta onların endoplazmik veziküllerinde yaşamakta ve protozoon metabolizmasının son ürünü olan hidrojen iyonlarını kullanarak metan gazı üretmektedirler. Çeşitli maddelerle protozoonların rumenden eliminasyonu sağlanabilmektedir. Ancak bu maddelerin diğer rumen mikroorganizmaları ve hayvan sağlığı üzerine toksik etkileri mevcuttur. Son zamanlarda yapılan araştırmalar rasyona tanen ilavesi, tanence zengin yemlerin yedirilmesi veya rasyona yağ ilavesinin protozoonları baskıladığını ve metan oluşumunu azalttığını göstermektedir (23).

VII. Rasyona Yağ İlavesi

Ruminant rasyonlarına doymamış yağ asitlerinin ilavesi protozoon miktarını azaltmaktadır. Bu nedenle lipidlerin defaunasyon ajanı olarak kullanılması önerilmektedir. Rasyonun yağ içeriği, rumende metan üretiminde azalmaya neden olmaktadır. Ancak, yağların metan üretimi üzerindeki etkisi sadece rumen protozoonları üzerinden yaptığı etki ile sınırlı kalmamaktadır. Lipitler, rumen protozoonlarının yokluğunda metan üretimini azaltabilmektedir, bu durum muhtemelen uzun zincirli yağ asitlerinin metanojenik bakteriler üzerindeki toksik etkisinden kaynaklanmaktadır. Ancak, defaunasyondaki gibi yağ desteğinin etkisi in vitro deneylerde görülmemektedir. Rasyona eklenen yağ (özellikle 5g/kg⁻¹ KM'den daha fazla) selulozun rumende sindirilmesini önemli derecede azaltmaktadır (11). Machmüller ve Kreuzer, (18) azaltma etkisinin şiddetinin kullanılan yağ çeşidine göre değiştiğini bildirmişlerdir.

VIII. Genetik Çalışmalar

Leahy ve ark. (15), rumen metanojenlerinden olan *Methanobrevibacter ruminantium* (M1) genomu üzerinde yapılan analizler ile metan üretim süreci hakkında yeni bilgilerin edinildiğini ve edinilen bu bilgilerin aşı geliştirilmesinde veya kemo-genomik temelli metanojen azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

IX. Diğer Azaltma Stratejileri

Metan üretiminin azaltılması için başka stratejiler de ileri sürülmüş, fakat üzerlerinde kesin bir çalışma yapılmamıştır. Bu stratejiler uzun vadede hayvansal ürün tüketicileri için zararlı etkiler yapmaktadırlar. Bunlar; direkt inhibisyon metodu, 2-bromometan sulfonik asit (BES); 9,10- antraquinon; monensin gibi iyonofor grubu antibiyotik kullanımı (iyonofor grubu antibiyotiklerin yem katkısı olarak kullanılması 2006'da ülkemizde yasaklanmıştır); metan oksitleyicileri; probiyotiklerin kullanılması, örneğin bakteriyel yem ilaveleri ve Avrupa Birliği ülkelerinde yasaklanan sığır somatotropini gibi maddelerin eklenmesi zararlı etkilere yol açmaktadır (11).

2. Gübre Kaynaklı Sera Gazları Üretiminin Azaltılması

Çiftlik hayvanlarının gübreleri depolama sırasında önemli miktarlarda diazot oksit ve metan gazı üretmektedirler. Havuzlarda veya tanklarda sıvı katı karışımı olarak depolanan bu gübrelerin ürettiği metan miktarı; soğutma işlemleri, katı örtücülerin kullanılması, separasyon yöntemi ile katı kısımların sıvı kısımdan ayrılması ya da üretilen metanın depolanması yöntemleri ile azaltılabilmektedir (13).

Sulu gübre yönetim sistemlerinden üretilen metan miktarlarının azaltılabilmesi için sulu gübre yönetim sistemlerinden kuru gübre yönetim sistemlerine geçilebilir veya üretilen metan enerji üretilmesinde kullanılabilir (8).



A) Sulu Gübre Yönetim Sistemlerinden Kuru Gübre Yönetim Sistemlerine Geçiş

Kuru ve aerobik koşullar altında metan üretimi minimum düzeyde şekillenmektedir. Sulu gübre yönetim sistemlerinden kuru gübre yönetim sistemlerine geçmek, metan gazı üretiminde belirgin bir azalmaya neden olabilir. Ancak, böyle bir değişim hem çevresel etkiler hem de planlama süreci nedeniyle pratik değildir. Kuru gübre yönetim sistemleri yüzey ve yer altı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır (8). Ayrıca, gübrelerin sıvı olarak depolanması yerine katı olarak ele alınması diazot oksit üretim miktarını artırabilir (13). Öte yandan genellikle sıvı yönetim sistemleri kullanılan büyük süt sığırcılığı ve besi domuzu işletmelerinde kuru gübre yönetimine geçilmesi tüm üretim düzeninde köklü bir değişimi gerektirmektedir (8).

B) Üretilen Metanın Enerji Üretilmesinde Kullanılması

Gübrelerin anaerobik ayrıştırılması sonucunda üretilen metan, gübre yönetimi ve metan toplamayı kolaylaştıran araç-gereçler yardımıyla alınarak enerjiye çevrilebilmektedir. Toplanan metan çiftliğin enerji ihtiyacını karşılamak üzere elektrik üretiminde kullanılabilir (11).

Sonuç

Son yıllarda hızla etkisini hissettiren iklim değişiklikleri ve sera gazlarından olan toplam metan üretiminde çiftlik hayvanlarının payının % 24 olması nedeniyle, çiftlik hayvanlarından üretilen sera

gazlarının azaltılması ya da kontrol altına alınması, üzerinde çalışılması gereken bir çevre sorunu olarak ön plana çıkmıştır.

Gerek maliyetler gerekse kültürel alışkanlıklar çiftlik hayvanlarından üretilen sera gazlarının azaltılmasını ya da kontrol altına alınması zorlaştırmaktadır. Ancak alınacak bazı önlemler ile bahsi geçen zorlukların bertaraf edilmesi mümkün olabilir.

Bu önlemler;

-Çiftlik hayvanlarının verimlerinin artırılması, bu sayede birim ürün başına üretilen sera gazı miktarı azaltılabilir,

-Hayvan sayısının azaltılması, bu verimlerin artırılmasıyla koordineli olarak yapılabilir,

-Kaliteli yemlerin kullanılması ve kullanılmasının teşvik edilmesi,

-Rasyonlara yağ, malat, fumarat gibi katkı maddelerinin ilave edilmesi,

-Uygun yemleme sisteminin belirlenmesi,

-Biyoteknolojik çalışmalar yapılması,

-Gübre yönetimi hakkında yetiştiricilerin bilinçlendirilmesi ve yeni yönetim stratejilerinin geliştirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Ancak tüm bunlarla birlikte sığır ve mandaların metan gazı salınımına katkılarının % 2,61 (şekil 1 ve şekil 2'den hesaplanabilir) olduğu düşünüldüğünde sanayi, fosil yakıtlar, bataklıklar ve pirinç tarlaları gibi kaynakların küresel ısınmaya daha fazla neden olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

1. Asanuma,N., Iwamoto,M., Hino,T. (1999). Effect of Addition of Fumarate on Methane Production by Ruminant Microorganisms in vitro. J Dairy Sci. 1999. 82:780-787.
2. Baker,S.K. (1995). Method For Improving Utilisation of Nutrients by Ruminant or Ruminant-Like Animals. United States Patent. Patent Number: 6.036.950. Date of patent: Mar. 14, 2000.
3. Beauchemin,K.A. and McGinn,S.M. (2006). Enteric methane emissions from growing beef cattle as effected by diet and level of intake. Canadian Journal of Animal Science. 86(3), p. 401-408.



4. Blaxter,K.L. and Clapperton,J.L. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Br. J. Nutr. (1965). 19, 511.
5. Cait (2005). Climate Analysis Indicators Tool. World Resources Institute. Access Link: <http://www.wri.org>. Access Time: 22.11.2010.
6. Crutzen,P.J., Aselmann,I., Seiler,W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. Tellus (1986). 38B, 271-284.
7. Czerkawski,J.W., Blaxter,K.L., Wainman,F.W. (1966). The metabolism of oleic, linoleic and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. Br. J. Nutr. (1966). 20, 349.
8. EPA (1999). Chapter 5. Livestock Manure Management. U.S. Methane Emissions 1990 – 2020: Inventories, Projections, and Opportunities for Reductions. EPA 430-R-99-013 September 1999.
9. EPA (2002). Chapter 5. Agriculture. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2000. p. 119-128. EPA 430-R-02-003 January 2002.
10. FAO (2009). Food and Agriculture Organization Statistics. Access Link: www.fao.org. Access Time: 11.11.2010.
11. Gworgwor,Z. A., Mbahi,T. F., Yakubu,B. (2006). Environmental Implications of Methane Production by Ruminants: A Review. Journal of Sustainable Development in Agriculture and Environment, Vol. 2(1) 2006 ISSN 0794-8867.
12. IPCC (2007a). Chapter 2 Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback (2007).
13. IPCC (2007b). Chapter 8 Agriculture. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. ISBN (978 0521 88011-4 Hardback; 978 0521 70598-1 Paperback (2007).
14. Jhonson,K.A. and Jhonson,D.E. (1995). Methane emissions from cattle. J Anim Sci 1995. 73: 2483-2492.
15. Leahy,S.C., Kelly,W.J., Ronimus,R.S., Yeoman,C.J., Pacheco,D.M., Li,D., Kong,Z., McTavish,S., Sang,C., Lambie,S.C., Janssen, P.H., Dyr,D., Atwood, G.T. (2010). The Genom Sequence of the Rumen Methanogen Mehanobrevibacter ruminantium Reveals New Possibilities for Controlling Ruminant Methane Emissions. PLoS ONE volume:5/Issue:1/e8926.
16. Leng,R.A. (1990). The impact of livestock development on environmental change. Strategies for sustainable animal agriculture in developing countries. ISBN 92-5-103164-9.
17. López,S., Valdés,C., Newbold,C.J., Wallace,R.J. (1999). Influence of sodium fumarate addition on rumen fermentation in vitro. British Journal of Nutrition 1999. 81, 59-64.
18. Machmüller,A., and Kreuzer,M. (1999). Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. Canadian Journal of Animal Science. 79: 65-72.
19. Martin,S.A. (1998). Manipulation of ruminal fermentation with organic acids: areview. J Anim Sci 1998. 76: 3123-3132.
20. Moe,P.W. and Tyrrel,H.F. (1979). Methane Production in Dairy Cows. J Dairy Sci 62: 1583-1586.
21. Moss,A.R., Jounay,J.P., Newbold,J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. Ann. Zootech. 49 (2000) 231-253.
22. Okine,E.K., Mathison,G.W., Hardin,R.T. (1989). Effects of Changes in Frequency of Reticular Contractions on Fluid and Particulate Passage Rates in Cattle. J Anim Sci 1989. 67: 3388-3396.
23. Öztürk,H. (2007). Küresel Isınmada Ruminantların Rolü. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi (2007). Cilt:78 Sayı:1 Sayfa:17-22.
24. Shu,Q., Gill,H.S., Hennessy,D.W., LENG, R.A., Bird,S.H., Rowe, J.B. (1999). Immunisation against lactic acidosis in cattle. Research in Veterinary Science 1999. 67, 65-71.
25. Torrent,J. 1994. Autotrophic acetogenesis in ruminants. In: Methane emissions from cattle. J Anim Sci 1995. Jhonson,K.A. and Jhonson,D.E. 73: 2483-2492.