



Suggestions to Mitigate the Effects of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production Systems

Büşra Akça^{1,a,*}, Sezen Ocak Yetişgin^{1,b}

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, 55139, Samsun, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 06-03-2023 Accepted : 13-05-2023</p> <p>Keywords: Greenhouse gas emissions Climate change Livestock production systems Methane Enteric fermentation</p>	<p>Carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) gasses are released into the atmosphere as a result of livestock activities, and these released gasses have an adverse impact on global climate change. Livestock production has become an important industry and has significantly increased greenhouse gasses emission levels. In this context, livestock production may have a significant role in lowering greenhouse gas emissions with proper strategies. There are some formations that increase greenhouse gas in livestock production systems. Accordingly, these formations are land use, enteric fermentation, fertilizer management, processing, and transport. In these formations, enteric fermentation, depending on the feed intake level of ruminants, and the digestibility of feed by ruminants, methane (CH₄) are released in the digestive systems and creates methane (CH₄) emissions. Because of their increased biomass and digestive outputs compared to other livestock, ruminants have a major impact on greenhouse gas emissions. This review proposes recent highlights on how to mitigate greenhouse gas emissions with different reduction strategies from the literature.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(5): 987-993, 2023

Hayvansal Üretim Sistemlerinde Sera Gazı Emisyonlarının Etkisini Hafifletmeye Yönelik Öneriler

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 06-03-2023 Kabul : 13-05-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Sera gazı emisyonu İklim değişikliği Hayvansal üretim sistemleri Metan Enteric fermantasyon</p>	<p>Hayvancılık faaliyetleri sonucunda atmosferde karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) gazları açığa çıkmakta ve açığa çıkan bu gazlar küresel olarak iklim değişikliğine etki etmektedir. Hayvansal üretim önemli bir endüstri haline gelmiştir ve sera gazı emisyonlarının seviyelerini dikkate değer ölçüde arttırmıştır. Bu bağlamda, sera gazı emisyonlarını azaltma stratejilerinde hayvansal üretimin büyük bir rolü bulunmaktadır. Hayvansal üretim sistemlerinde sera gazı üretimini artıran bazı faktörler bulunmaktadır. Bu unsurlar arasında arazi kullanımı, enterik fermantasyon, gübre yönetimi ve işleme ve nakliye gibi unsurlar en üst sıralarda yer almaktadır. Anılan faktörler arasında enterik fermantasyon ruminantların yem alım seviyesine, yemlerin ruminantlar tarafından sindirilebilirliğine bağlı olarak sindirim sistemlerinde metan (CH₄) gazı açığa çıkarmakta ve metan (CH₄) emisyonlarını meydana getirmektedir. Ruminantların, diğer çiftlik hayvanlarına oranla daha yüksek biyokütleleri ve sindirim ürünleri nedeniyle sera gazı emisyonlarına etkisi daha fazladır. Sera gazını hafifletmeye yönelik yapılan son çalışmalarda, literatürde farklı azaltma stratejileri vurgulanmaktadır. Bu derleme makalede sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejiler ele alınmıştır.</p>

^a akcabuusra@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-5759-6122>

^b sezenocak1@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-8201-4857>



Giriş

Sera gazları fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımındaki değişiklikler, ormansızlaşma, organik atıkların düzenli şekilde anaerobik ayrışması, biyokütle yanması, tarımsal faaliyetler gibi doğal ve antropojenik süreçler sonucunda meydana gelmektedir (Jose ve ark., 2016; EPA, 2020). Bu oluşumlar içerisinde yer alan tarımsal faaliyetler, küresel gıda üretiminde kritik rol oynamakta ve binlerce yıldır ekosistemlerin bir parçasını oluşturmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucunda CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının atmosferde açığa çıkması sera etkisine neden olmakta ve bu etkinin meydana gelmesinde hayvansal üretiminin %11'lik bir payı bulunmaktadır (Gerber ve ark., 2013). Önemli bir endüstri haline gelen hayvancılık sektörü, sera gazı emisyonlarının seviyesini dikkate değer ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda, emisyonların hafifletilmesi dünya çapında tarım sektörü için oldukça öncelikli hale gelmiştir (Balezantis ve ark., 2022). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, CH₄ ve N₂O toplam sera gazının artışında önemli bir rol oynamaktadır. CH₄, toplam küresel emisyonların %15-20'sine, N₂O ise %6'sına katkıda bulunmaktadır (Cheewaphongphan ve ark., 2019; Parra-Cortes ve ark., 2020; EPA, 2020). Türkiye'de 2006 yılında Türkiye Ulusal Sera Gazı Envanteri oluşturulmuştur. Bu oluşum içerisindeki tarım sektörü; enterik fermantasyon, gübre yönetimi, pirinç ekimi, tarım toprakları, tarımsal artıkların tarlada yakılması ve üre uygulamasından kaynaklanan emisyon envanterlerini içermektedir (Türk Sera Gazı Envanteri (TGHGI), 2021). Bu envanterlere bağlı olarak, Türkiye'de 2018 yılı sera gazı verilerine göre, 63.9 Mt CO_{2e} (Karbon Dioksit eşdeğeri) tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır, bu da ulusal düzeydeki emisyonlara (%15.2) olumsuz yönde bir katkı sağlamaktadır (TÜİK, 2021).

Hayvansal üretim sistemlerinde sera gazı emisyonları arazi kullanımı, enterik fermantasyon, gübre yönetimi, işleme ve naklieden meydana gelmektedir (Vac ve ark., 2013; Jose ve ark., 2016; Peng ve ark., 2016; Parra-Cortes ve ark., 2020). Emisyonların artmasında etkili olan diğer faktörler ise rasyonun kalitesi, hayvanların stres düzeyi, hayvanların genetiği (Hegarty ve ark., 2007) ve yemden yararlanma oranı (Zhou ve ark., 2009) yer almaktadır. Ruminantlardan kaynaklanan metan emisyonları, ruminantların yem alım seviyesine, yemlerin sindirilebilirliğine ve yemin işlenmesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Enishi, 2007).

Son yıllarda sera gazı emisyonları tüm dünyayı ilgilendiren bir konu haline gelmiştir. Gelecek nesilleri dikkate almadan ekonomik faaliyette bulunan ülkeler, bölgesel ve ardından küresel çevre sorunlar ortaya çıktıkça "sürdürülebilirlik, hayvan refahı, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları" konularına odaklanmışlardır. Hayvancılıkta sera gazı emisyonları hakkında geniş ve giderek artan bir literatür bulunmaktadır (Casey ve Holden, 2005, 2006; Cederberg ve Mattson, 2000; Basset-Mens ve Van der Werf, 2005; Cederberg ve Stadig, 2003; FAO, 2006; Lovett ve ark., 2006). Bu makalede, hayvancılık faaliyetlerinin sera gazı emisyonlarını artırmalarına ilişkin son zamanlarda yapılan emisyon azaltma stratejileri ve bu stratejilere bağlı olarak hayvan sağlığını, verimliliğini ve refahını iyileştirmeye yönelik çalışmalara yer verilmiştir

ve gelecekte hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların küresel düzeyde olası etkilerini hafifletmeye yönelik bir dizi strateji önerilmiştir.

Hayvancılık Faaliyetlerinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Hayvancılık faaliyetleri sonucunda antropojenik sera gazı emisyonlarında artışlar meydana gelmektedir. Bu faaliyetlerden kaynaklanan başlıca sera gazı kaynakları, hayvanların solunumu ve gübre yönetiminden kaynaklanan CH₄, arazi kullanımı ve değişikliklerinden kaynaklanan CO₂ ve gübre yönetiminden kaynaklanan N₂O'dur (Shibata ve Terada, 2010). Ruminantların, diğer çiftlik hayvanlarına oranla daha yüksek biyokütleleri ve sindirim ürünleri nedeniyle sera gazı üretimine etkileri yüksektir (Pitesky ve ark., 2009). Sığır eti ve süt üretimi, sera gazı emisyonlarının %20-41'lik bölümünü kapsar iken, bu oran domuz ve kümes hayvanlarında %8-9, küçükbaş hayvanlarda ise %6.5'dir (FAO, 2013).

Enterik fermantasyon, antropojenik CH₄ emisyonlarının birincil kaynağı olarak kabul edilmekle birlikte, 2010 yılında dünya çapındaki hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan emisyonlarda %30-40'lık bir payının olduğu bildirilmiştir (Weiss ve Leip 2012; Tubiello ve ark., 2013). Enterik fermantasyon, 1990'lardan günümüze kadar, Türkiye'deki tarımsal faaliyetler nedeniyle meydana gelen sera gazı emisyonlarının açık ara en büyük kaynağıdır. 2019 yılında, tüm CH₄ emisyonlarının %49.4'üne olumsuz yönde katkıda bulunmuştur. Enterik fermantasyon oluşumlarında gübre yönetiminin %13'lük bir payı, N₂O emisyonlarının ise Türkiye'de sera gazı emisyonlarında %7.5'lik bir payı bulunmaktadır (TÜİK, 2021). Birincil kaynağı ruminantlar olmak üzere, Türkiye'de yıllık CH₄ emisyonununun 32,06 kt CO₂ eq'luk kısmı, enterik fermantasyonla ilişkilendirilmektedir (FAOSTAT, 2018).

Ruminantların CH₄ üretimi yem alımı, yemin türü, rasyonun sindirilebilirliği, yem/ konsantre oranı, çevre sıcaklığı, süt verimi, canlı ağırlık ve yemin CH₄ dönüşüm oranı gibi birçok faktörden etkilenmektedir (IPCC, 1997; Shibata ve Terada, 2010). Farklı geviş getiren hayvan türleri tarafından atmosfere salınan CH₄ ise hayvan türlerine, popülasyonlara ve rumen hacmi gibi bir dizi faktöre bağlıdır (Broucek, 2014). Koyun ve keçiler yılda yaklaşık 10-16 kg CH₄ üretebilirken, sığırlarda bu oran yılda yaklaşık 60-160 kg'dır (Soren ve ark., 2017).

Antropojenik sera gazı emisyonlarının birincil kaynağı CH₄ iken, ikinci sırada N₂O yer almaktadır. N₂O, hayvanların (ruminant ve monogastrikler) meradaki gübrelerinin birikiminden ve gübrelerin mera yönetimindeki dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır (O'Mara, 2011). Hayvancılık faaliyetlerinde N₂O emisyonları sığırlarda %60, monogastriklerde %21,6 ve küçükbaşlarda %18,8 olduğu bildirilmiştir (Zervas ve Tsiplakou, 2012). Küçükbaş hayvanlardan kaynaklanan nispeten yüksek N₂O emisyon yüzdesi, koyun ve keçi yetiştiricilerinin zayıf gübre yönetimine bağlı olabilir (Zervas ve Tsiplakou, 2012).

Hayvancılık faaliyetleri sonucu açığa çıkan antropojenik sera gazları atmosfere olumsuz yönde etki

ederek iklimi küresel olarak değiştirirken, çiftlik hayvanları üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu olumsuz etkiler; hayvanların verimlerinde düşüşler, çevre koşullarına karşı adapte olmada zorluk ve bu koşullara bağlı olarak hayvanların refah koşullarının düşmesi ile karşımıza çıkmaktadır. Hayvan refahı çeşitli yollar ile biyolojik fonksiyonlar, ekolojik davranışlar veya duygusal durum gibi kriterler kullanılarak tanımlanmıştır. Hayvan refahının tüm bu yönlerini bir arada toplayan basit bir yaklaşım vardır; hayvanlar sağlıklı olduklarında ihtiyaç duydukları her şeye sahiptirler (Dawkins, 2006). Bu tanım, hayvanların refah standartlarına iyi bir şekilde ulaşabilmesi için ihtiyaçlarını ve sağlığının (ya da fiziksel veya duygusal) önemini vurgulamaktadır. Hayvan refahı, sürdürülebilir hayvancılık faaliyetleri için gerekli bir unsur olarak düşünülmektedir (Broom ve ark., 2013). Giderek artan insan nüfusu, hayvan refahının, sürdürülebilir hayvancılık anlayışı içerisinde entegre edilmesini talep etmektedir (Appleby, 2005). Artan bilinçli tüketici sayısı, etik üretim sistemlerini tercih etmekte ve kötü koşullar altında üretilen ürünleri satın almayı reddetmektedir (Broom ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada, tüketicilerin %88'i herhangi bir eti satın alırken, hayvan refahı unsurunu bir alım kriteri olarak belirlediklerini bildirmişlerdir (Clonan ve ark., 2015). İklim değişikliği ile mücadelede herhangi bir mücadele stratejisi uygulanırken, hayvan refahı en üst düzeye çıkarılmalı veya en azından bozulmadan korunmalıdır.

Emisyon Yoğunluğunu Azaltmak için Stratejiler

Emisyon, hayvan başına veya bir sürü bazında çıktı olarak ölçülen ve daha verimli sistem veya süreçlerin çıktı birimi başına daha az atık (sera gazları dahil) oluşturduğu gerçeğine dayanan sistemin üretkenliği ile (olumsuz olarak) ilişkilidir (Gerber ve ark., 2011). Örneğin, verimliliği artırmak aynı miktarda ürünü üretebilmek için daha az hayvan ve/veya daha kısa yaşam süresi olan hayvanların yetiştirilmesine dayanmaktadır. Bu azaltma yaklaşımı, sera gazı emisyonlarını azaltabilir ve aynı zamanda karlılığı artırabilir. Bununla birlikte, verimliliğin artırılmasına yönelik sistemlerde belirli bir eşik aşıldığında, örneğin; hayvanların konsantre rasyonlar ile beslenmesi, sınırlı otlatma ve verim düzeyi yüksek hayvan yetiştirme, hayvancılığı giderek entansif (modern) sistemlere dönüştürecek ve buna bağlı olarak hayvanların refahını bozabilecektir. Bu eşğin, hayvan verimliliğinin genellikle hayvan refahı pahasına elde edildiği entansif sistemlerde görülmesi daha olasıdır. Buna karşın, daha az gelişmiş üretim sistemlerinde, hayvan refahı üzerinde hiçbir zararlı (ve hatta potansiyel olarak faydalı) etkileri olmaksızın üreme, beslenme ve/veya sağlığın iyileştirilmesi ile hayvan verimliliğinin artırılması sağlanacaktır.

Sağlık ve Refahın İyileştirilmesi

Sağlığın kötü olduğu koşullarda hayvan refahının iyi standartlarına ulaşamaz (Dawkins, 2006; Fraser ve ark., 2013). Hayvan refahı, hayvan sağlığı ve canlılığının zayıf olması, yem alımının azalması, besin maddelerinin sindirilebilirliğinin azalması ve enerji ihtiyacının artması

gibi davranışsal ve metabolik değişikliklerle ilişkilidir (Collard ve ark., 2000; Bareille ve ark., 2003).

Hayvan sağlığındaki iyileştirmeler, yaralanma ve hastalıklardan kaynaklanan sürü içerisindeki hayvan kaybını azaltabilmesine bağlı olarak, sürünün ortalama üretken ömrünün uzatma olanağı da artırılmaktadır. Süt sığırlarında sürüdeki hayvanların ortalama yaşam süresinin artması, hayvan verimliliğini artırmanın ve kg ürün başına sera gazı emisyonlarını azaltmanın bir yolu olarak önerilmiştir (Weiske ve ark., 2006; Bell ve ark., 2011).

Hastalık ve parazitlerin önlenmesi ve kontrolü yoluyla iyileştirilmiş hayvan sağlığı, genel olarak hayvan refahı için temel unsurlar olarak kabul edilmektedir (Organization International des Epizooties (OIE), 2012). Refah, hayvanların sağlık koşullarına ve doğal davranış sergileme yeteneklerine bakılarak belirlenmektedir. Hayvan refahının belirlenmesinde sağlık dışında da yöntemler kullanılmasına karşın, henüz sera gazı emisyonlarını azaltmak için belirli bir strateji test edilmemiştir. Hayvan refahı ve üretkenlikte önemli gelişmeler sağlanabilmesi için hayvancılıkta temel değişiklikler yapılabilir. Örneğin, kötü bakım koşullarına bağlı stres, süt ve et üretimini azaltabilmektedir (Rushen ve ark., 1999; Hemsworth ve Coleman, 2011). Sıcaklığa bağlı stres, laktasyondaki koyunlarda solunum hızında, rektal sıcaklığında ve termoregülasyon için vücut yağ rezervinin mobilizasyonunda bir artış meydana getirmekte olup, bu da hayvan refahının düştüğünü göstermektedir (Caroprese ve ark., 2012; Ciliberti ve ark., 2016). Yumurtacı tavuklarda, kafesteki tavuk sayısının aşırı artmasından dolayı meydana gelen sosyal stres, yaşama gücü ve veriminde azalmalara yol açabilmektedir (Adams ve Craig, 1985; Bell ve ark., 2004).

Hayvan verimliliğini arttırmayı amaçlayan bazı stratejiler hayvan refahını olumsuz yönde etkileyebilir. Bazı stratejiler ise hayvan verimliliğini ve ekonomik performansı olumlu yönde etkileyebilir ve sera gazı emisyonlarını azaltabilir.

Üreme Etkinliğinin Artırılması

Doğurganlığın yetersiz olması, üretim hedeflerine ulaşmak için sürüde daha fazla damızlık hayvanın gerekli olduğu ve sürünün varlığını korumak için daha fazla hayvanın üretilmesinin gerekli olduğu anlamına gelir, bu da sürü düzeyinde emisyonları artırmaktadır.

İlkinde buzağılama yaşının düşürülmesi, sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu azaltmak için bir strateji olarak önerilmektedir. Buzağılama yaşının düşürülmesi, sera gazı emisyonlarını tahminen %8-10 oranında azaltmak için umut verici bir strateji gibi görülmektedir (Nguyen ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada Charolais sığırlarında sürüsünde düvelerin ilkinde buzağılama yaşının 3'ten 2'ye düşürülmesiyle, canlı doğum ağırlığının %5'ten %10'a çıkarıldığı bildirilmiştir (Farrié ve ark., 2008).

Gebelik ve bazal metabolizmadan kaynaklanan enerji gereksinimleri, büyümeden kaynaklanan enerji gereksinimlerine eklenmelidir (Roche ve ark., 2009). Enerji gereksinimleri sadece besleme ile karşılanamaz. Sadece besleme ile karşılanan enerji gereksinimlerinde hayvanların negatif enerji dengesine girmesine, vücut rezervlerinin mobilizasyonuna ve vücut kondisyon skorunda aşırı düşüşlere neden olmaktadır (Berry ve ark., 2006; Roche ve ark., 2007). Buzağılamadaki yetersiz

beslenme durumu hayvanlarda ketosis (Gillund ve ark., 2001), süt humması (Roche ve Berry, 2006), abomasum deplasmanı (Cameron ve ark., 1998) ve karaciğer yağlanması (Drackley, 1999) gibi hastalıklara yol açmaktadır. Ayrıca hayvanların yetersiz beslenmesi yumurtalama hızının düşmesine, gebelik kaybı olasılığının ve kuruda kalma süresinin artması gibi üreme oranlarını etkileyecektir (Walsh ve ark., 2011). Bu nedenlere bağlı olarak verimliliğin düşmesi, emisyon yoğunluğunu kaçınılmaz şekilde artırmaktadır. Hayvanlarda refahın iyileştirilmesi (düşük üreme baskı yoluyla) emisyon yoğunluğunu azaltmaya yardımcı olabilecek bir örnektir.

Stres üreme performansını düşürmek ile birlikte stresin hafifletilmesi üremede önemli gelişmeler sağlayabilmektedir. Memeli türlerinde stres (özellikle ısı stresi), erkek veya dişi gamet oluşumu ve işlevi, embriyonik gelişim ve fetal büyüme ve gelişme gibi birçok üreme fonksiyonu üzerinde etkisi bulunmaktadır (Hansen, 2009). Kızgınlık döneminde, stres altındaki koyunlarda östrus yüzdesi, östrus süresi, östrus döngü uzunluğu, gebe kalma ve kuzulama oranı ve doğumdaki kuzuların ağırlığında önemli etkiler gözlemlendiği bildirilmiştir (Maurya ve ark., 2004). Süt ineklerinde stres, iştah azalması ve strese yanıt vermek için enerji kullanımındaki artışa bağlı olarak negatif enerji dengesinin etkileri şiddetlenebilir (Shehab-El-Deen ve ark., 2010). Erken gebelik döneminde yaşanan stres, sığırlarda embriyonik kayıplara neden olmaktadır (Hansen ve Block, 2004). Bu bağlamda gebe kalma oranı ve yavru gelişiminin iyileştirilmesinin, üretkenlikte ve sera gazı hafifletmelerine fayda sağlaması olasıdır.

Üreme performansı, döl verimi veya süten kesilen yavru sayısının artışı yoluyla da artırılabilir. Daha yüksek döl verimi, belirli türlerin refahı üzerinde önemli etkiye sahip olabilmektedir. Artan döl verimi, kuzular (Dwyer, 2008) ve domuzlarda (Rutherford ve ark., 2013) daha fazla açlık ve termal stres riski ile bağlantılı olarak yavru ölümleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilmektedir (Mellor ve Stafford, 2004). Tekiz ve ikiz kuzuların ölme olasılığı, üçüz kuzulara oranla çok daha düşüktür (Barlow ve ark., 1987). Fazla sayıdaki yavruların süten kesimi, doğumdan sonraki ölüm oranının düşürülmesi ile de elde edilebilir. Buzağılama ve maternal özelliklerin iyileştirilmesi, doğum öncesi ve doğum sonrası dönemlerde yavruların hayatta kalma oranının artması sera gazı emisyonlarını azaltabileceği bildirilmiştir (Wall ve ark., 2010). Doğumdan süten kesime kadar geçen dönemde buzağuların ölüm oranlarındaki %5'lik bir iyileşmenin (%85'ten %90'a) sera gazı emisyonlarını azaltacağını öngören bir senaryo tanımlanmıştır (Beauchemin ve ark., 2011). Yavru refahı için ölüm oranındaki düşüşlerin sonuçları açıktır. Ek olarak koyunlarda daha önce önerildiği gibi, anne bakımına yanıt olarak uygun geri bildirim alınmadığında kuzu ölümleri anede endişe veya hayal kırıklığına neden olabilmektedir (Dwyer, 2008).

Sonuç olarak, hayvanlarda aşırı üreme baskısı anne ve yavru sağlığına zararlı olabilmektedir. Üreme verimliliğini artırmaya yönelik yavruların hayatta kalma oranlarının iyileştirilmesi hem hayvan verimliliğine hem de onların refahına fayda sağlayabilmektedir. Bu bağlamda, gebe hayvanların yeterli beslenmesi, yönetimi ve uygun bir doğum ortamının sağlanması yeni doğan yavrular için

uygun bakım ve yetiştirme koşulları sera gazı emisyonlarının azaltılması için de belirleyici bir yöntemdir.

Yetiştirmede Verimliliğin Arttırılması

Sürüde yüksek verimli hayvanlar kullanılarak sürünün mevcudiyetinin azaltılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilecek stratejilerinden birisidir (Van de Haar ve St Pierre, 2006; Wall ve ark., 2010; Bell ve ark., 2011). Ancak daha yüksek verimli hayvanlar kullanılarak yapılan seleksiyonda, belirli özellikler bakımından yapılan seleksiyon baskısı ile dengelenmediği sürece hayvanların sağlıklarına ve refahlarına zarar verebilmektedir (Rauw ve ark., 1998; Lawrence ve ark., 2004). Yüksek üretim verimliliği için genetik seleksiyon biyolojik işleyişi bozabilir (Oltenu, 2009; De Vries ve ark., 2011; Fraser ve ark., 2013) ve çok sayıda beklenmedik sonuçlara yol açar. Vücut enerji rezervlerini verimliliğini artırmak için harekete geçirmek, yüksek bir genetik potansiyel, sağlık ve doğurganlık üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir (Bell ve ark., 2011). Örneğin yapılan bir çalışmada süt sığırlarında yüksek süt veriminin, doğurganlık sorunları ve ketosis gibi metabolik bozukluk görülme sıklığı arasındaki artışa neden olduğu bildirilmiştir (Walsh ve ark., 2011).

Yemden yararlanmanın artırılması ile sera gazı emisyonlarını azaltmak umut verici bir yaklaşımdır ve uygun seleksiyon yöntemleri ile de bu yönde ilerlemeler kaydedilmiştir. Geviş getiren hayvanlar için ıslah hedefi olarak yemden yararlanmanın artırılması durumunda, CH₄ emisyonlarında %15'lik bir azalmanın sağlanabileceği tahmin edilmektedir (Waghorn ve Hegarty, 2011). Yemden yararlanmanın artmasıyla emisyonlarda ve emisyon yoğunluğunda meydana gelen azalmalar, N₂O için de geçerli olmalıdır (Gerber ve ark., 2013), çünkü N bakımından daha verimli hayvanlar rasyonla alınan N'u daha fazla tutacak ve dolayısıyla dışkı ve idrarla N atılımı azalacaktır. Yemden yararlanma oranının artırılması hayvan ıslahı, sağlığı ve doğurganlık özelliklerinde bazı riskler ortaya çıkarabilmektedir. Örneğin, vücut kondisyon skorunun yemden yararlanma oranının tahminine dahil edilmemesi durumunda, vücut enerji rezervlerinin üreme yerine üretime kanalize olması, doğurganlıkta bir düşüşe neden olabilir (Pryce et al., 2014). Yapılan bir çalışmada boğalarda, yemden yararlanma oranı ile laktasyondaki hayvanlarda sağlık özellikleri (mastitis, r_g-0.79; ketosis, r_g-0.37) arasındaki istenmeyen genetik korelasyonlar (r_g) tahmin edilmiştir (Waasmuth ve ark., 2000).

Artan verimlilik ve üretkenlikte ıslah, sera gazı emisyonlarının azaltma potansiyeli için önemli olsa da geçmiş deneyimler, ekonomik ve çevresel maliyetleri olan hayvan refahının olumsuz sonuçlarını dengeleyebilmek için daha geniş ıslah hedeflerine ihtiyaç duyulmaktadır (Lawrence ve ark., 2004). Bu bağlamda literatürler, refah gibi üretken olmayan özelliklerin süt sığırlarında (Gaddis ve ark., 2014), domuzlarda (Rowland ve ark., 2012) ve kanatlılarda (Kapell ve ark., 2012) verimlilik özellikleri ile ilişkili olarak geliştirilebileceğini ileri sürmektedir. Düşük refah koşulları, seleksiyon yapılmış sürülerde yetiştirmenin gerekli bir sonucu değildir ve uygun şekilde kullanılırsa hayvan ıslahı, refahı artırma potansiyeline sahip olabilir (Jones ve Hocking, 1999).

Barınak ve Yönetim

Entansif üretim sistemleri hayvan barınaklarının ve hayvancılık faaliyetlerinin nispi sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Entansif sistemler, düşük sera gazı emisyonları ile ilişkilendirilen, sistem verimliliğini artırmak için girdilerin ve hizmetlerin artan kullanımı olarak tanımlanabilir (Burney ve ark., 2010; Crosson ve ark., 2011). Hayvan başına düşen birim alanın azalması veya hayvanların meraya erişiminin kısıtlı olması, entansif sistemlerin karakteristik özelliğidir. Etkili bir sera gazı azaltımı için, merada birim alan başına hayvan sayısı yoğunluğunun yem tedarikinde bir artışla eşleştirilmesi gerekir. Çünkü tek başına birim alan hayvan yoğunluğunun artırılmasının üretimin azalmasına ve hayvan başına sera gazı emisyon yoğunluğunun artmasına neden olması beklenir. Ek olarak, otlatmalı sistemlerde hayvan sayısının artması (mera ekosisteminin tipine göre değişecektir), meraların bir karbon yutağı olarak çalışma kapasitesini aşabilir (Soussana ve ark., 2004).

Entansif sistemlerde birim alana düşen hayvan sayısının artması, refahı olumsuz yönde etkileyebilir, bu da sürüdeki hayvanlarda rekabeti artırabilir, daha sık agonistik davranışlar sergilemeye ve daha büyük sosyal strese neden olur (Veissier ve ark., 2008). Örneğin, birim alanda hayvan sayısının artması gebe domuzlarda saldırganlığı, yaralanmaları ve stres tepkilerini artırır (Barnett ve ark., 1992; Salak-Johnson ve ark., 2007) ve kafesteki tavuklarda yaşama gücü ve verimlilikte azalmalara yol açabilir (Adams ve Craig, 1985; Bell ve ark., 2004). Sürü sayısının yüksek olduğu durumlarda, koyunlarda (Mui ve Ledin, 2007) ve sığırlarda (Kondo ve ark., 1989) sosyal strese yol açan saldırgan davranışlar artmaktadır. Ekstansif ruminant yetiştirme sistemlerinde birim alana düşen hayvan sayısının artması, patojenlere maruz kalmaya bağlı olarak paraziter hastalık riskini artırabilir (Taylor, 2012). Ruminantlarda sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için gereken birim alan başına düşen hayvan sayısının %30-50'lik artışı göz önüne alındığında (Pinares-Patino ve ark., 2007; Johnson ve ark., 2008), hayvanların refahının sağlık ve sağlık dışı yönleri üzerindeki zararlı etkileri olacağı tahmin edilmektedir. Sosyal stresin azaltılması yoluyla refahın iyileştirilmesi, sığırlarda daha fazla yem alımına (De Vries ve ark., 2004) ve domuzlarda gelişmiş yem etkinliğine (Vermeer ve ark., 2014) doğrudan katkıda bulunabilir ve böylece üretim oranlarını iyileştirir. Ayrıca sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir önlem olarak düşünülmelidir.

Sınırlı otlatma hem N₂O, hem de CH₄ emisyonlarını azaltabilmektedir. Yapılan bir çalışmada sınırlı otlatmanın, yemin et ve süte daha etkin bir şekilde dönüştürülmesiyle sonuçlandığı ve hayvan başına yıllık tahmini CH₄ emisyonlarında %22'lik bir azalmaya yol açtığı (DeRamus ve ark., 2003), serbest erişime kıyasla otlatmanın günde 3 saat ile sınırlandırıldığında sığırlardan kaynaklanan N₂O emisyonlarında %40-57'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, meraya erişimin kısıtlanması, hayvanların sağlığını ve refahını etkileyebilir. Dışkı ile temas ve betonun etkileri nedeniyle toprakta artışlar meydana gelir (Cook ve ark., 2004; Haskell ve ark., 2006). Ek olarak, sığır ve koyunlar "otlayıcı" olarak evrimleşmiş canlılardır ve beslenme gereksinimlerinin

karşlanması koşuluyla meraya erişim talebi göstermektedirler (Legrand ve ark., 2009). Bu nedenle meraya erişimin sınırlandırılması, hayvanlarda doğal davranışın engellenmesine neden olmaktadır (Rutter, 2010). Daha önceden de belirtildiği üzere hayvan refahı, evcil hayvanların ihtiyaçlarına sahip olma fırsatının sağlanmasıdır. Bu nedenle hayvan refahı tanımı göz önünde bulundurulduğunda, doğal davranış sergileyen hayvanların otlamasına olanak sağlamak optimal refah koşulları için önemlidir.

Sınırlı otlatmanın olumsuz yönlerine karşılık refah için bazı olumlu özellikleri de bulunmaktadır. Örneğin, genetik değeri yüksek süt ineklerinin yüksek beslenme gereksinimleri, entansif sistemlerde daha kolay karşılanmaktadır. Bu hayvanlar için, otlatma sistemlerinde beslenme gereksinimleri karşılanmadıkça, açlık ve zayıf vücut kondisyon durumu sağlık ve refahı tehlikeye atabilir ve hayvanların yem tüketimi ve dinlenme gibi motivasyonel önceliklerden vazgeçmesini neden olabilir (Charlton ve ark., 2011). Ek olarak entansif yetiştiricilik kötü havalarda (sıcak, soğuk ve yağmurlu havalarda) barınak sağlanması, yırtıcılara karşı koruma ve parazitlere daha az maruz kalma gibi üstünlükler de sağlayabilmektedir.

Sera gazı emisyonunun azaltılması ve hayvan refahı hedefleri arasındaki dengeyi optimize etmek, beslenme ihtiyaçlarının kolayca karşılanabilmesi için kapalı yetiştirme sistemleri ve meraya erişimi birleştiren karma sistemlerin uygulanması önemli stratejiler arasındadır.

Sonuç

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin uluslararası anlaşmaların taahhütlerini yerine getirilebilmesinde sera gazını azaltmaya yönelik stratejiler odak noktası haline gelmiştir. Bu bağlamda, hayvancılık faaliyetlerinde hayvanların bireysel olarak refahlarının iyileştirilmesi ve hayvansal ürün çıktılarının çevresel etkisini azaltılmasına yönelik stratejiler önemli bir durum haline gelmektedir. Örneğin; hayvanlar arasında sosyal stresin azaltılması, hayvan sağlığının iyileştirilmesi veya yavru ölüm oranlarının azaltılması yoluyla refahın iyileştirilmesi, çiftçilere ve hayvancılık sektörüne daha iyi ekonomik getiriler sağlayacak şekilde üretkenlik artırılabilir.

Sera gazı emisyonlarını azaltmak için kullanılan stratejilerin, hayvanların refahları üzerindeki etkileri konusunda büyük bir bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu bağlamda, hayvanların bireysel olarak refahlarından ödün vermeden hayvancılık faaliyetlerinin çevresel sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi konusunda gerçekçi ve bilinçli yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Balezantis T, Dabkiene V, Streimikiene D. 2022. Eco-efficiency and shadow price of greenhouse gas emissions in Lithuanian dairy farms: an application of the slacks based measure. J. Clean. Prod.356,131857.
- Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada; evaluation using farm-based life cycle assessment. Animal Feed Science and Technology 166, 663–677.

- Bell MJ, Wall E, Simm G, Russell G. 2011. Effects of genetic line and feeding system on methane emission from dairy systems. *Animal Feed Science and Technology* 166, 699–707.
- Broom DM, Galindo FA, Murgueitio E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280, 1771.
- Charlton GL, Rutter SM, East M, Sinclair LA. 2011. Preference of dairy cows: indoor cubicle housing with access to a total mixed ration vs. access to pasture. *Applied Animal Behaviour Science* 130, 1–9.
- Cheewaphongphan P, Chatani S, Saigusa N. 2019. Exploring Gaps between Bottom-Up and Top-Down emission estimates based on uncertainties in multiple emission inventories: a case study on CH₄ Emissions in China. *Sustainability* 11, 2054.
- Clonan A, Wilson P, Swift JA, Leibovici DG, Holdsworth M. 2015. Red and processed meat consumption and purchasing behaviours and attitudes: impacts for human health, animal welfare and environmental sustainability. *Public Health Nutrition* 18, 2446–2456.
- Crosson P, Shalloo L, O'Brien D, Lanigan GJ, Foley PA, Boland TM, Kenny DA. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology* 166, 29–45.
- De Vries M, Bokkers EAM, Dijkstra T, Van Schaik G. De Boer IJM. 2011. Associations between variables of routine herd data and dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 94, 3213–3228.
- Enishi O. 2007. Greenhouse gas emissions caused from livestock in Japan. *Proceedings of the 4th Workshop on Greenhouse Gas Inventories in Asia Jakarta, (GGIAJ, 2007)*, National Institute for Environmental Studies, Japan.
- EPA-Global Greenhouse Gas Emissions Data <https://www.epa.gov/ghgemissions/globalgreenhousegasemissions-data/>, last access: 22 November, 2020.
- EPA-United States Environmental Protection Agency. Climate Change Indicators: Greenhouse Gases. <https://www.epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases/>, last access: 22 November 2020.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations statistical databases) 2018. Ana sayfa. 21 Aralık 2021 tarihinde şuradan alındı <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Gaddis KP, Cole JB, Clay JS, Maltecca C. 2014. Genomic selection for producer-recorded health event data in US dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97, 3190–3199.
- Gerber PJ, Hristov AN, Henderson B, Makkar H, Oh J, Lee C, Meinen R, Montes F, Ott T, Firkins J, Rotz A, Dell C, Adesogan AT, Yang WZ, Tricarico JM, Kebreab E, Waghorn G, Dijkstra J, Oosting S. 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7, 220–234.
- Weiss F, Leip A. 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 149, 124–134.
- Hegarty RS, Goopy JP, Herd RM, McCorkell B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.*, 85: 1479-1486. DOI: 10.2527/jas.2006-236
- Hemsworth PH, Coleman GJ. 2011. Human–livestock interactions. In *The stockperson and the productivity and welfare of farmed animals* (ed. PH Hemsworth and GJ Coleman), p 208. CABI, Wallingford, UK.
- Peng S, Piao S, Bousquet P, Ciais P, Li B, Lin X, Tao S, Wang Z, Zhang Y, Zhou F. 2016. Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2010. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 14545–14562.
- Jose VS, Sejian V, Bagath M, Ratnakaran AP, Lees AM, Al-Hosni YAS, Sullivan M, Bhatta R, Gaughan JB. 2016. Modeling of greenhouse gas emission from livestock. *Front. Environ. Sci.* 4, 27.
- Kapell DNRG, Hill WG, Neeteson AM, McAdam J, Koerhuis ANM, Avendaño S. 2012. Twenty-five years of selection for improved leg health in purebred broiler lines and underlying genetic parameters. *Poultry Science* 91, 3032–3043.
- Pitesky M, Stackhouse K, Mitloehner F. 2009. Clearing the Air: Livestock's Contribution to Climate Change. *Advances in Agronomy*. ISSN0065-2113, DOI:10.1016/S0065-2113(09)030016.
- Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada; evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology* 166, 663–677.
- Nguyen TTH, Doreau M, Corson MS, Eugène M, Delaby L, Chesneau G, Gallard Y, Van der Werf HMG. 2013. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level. *Journal of Environmental Management* 120, 127–137.
- Llonch P, Haskell MJ, Dewhurst RJ, Turner SP. 2017. Review: current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in Livestock Systems: an Animal welfare perspective. *Animal* 274-284.
- Hristov AN, Henderson B, Makkar H, Oh J, Lee C, Meinen R, Montes F, Ott T, Firkins J, Rotz A, Dell C, Adesogan AT, Yang WZ, Tricarico JM, Kebreab E, Waghorn G, Dijkstra J, Oosting S. 2013. Technical options for the mitigation Welfare trade-offs with livestock GHG mitigation 283 of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7, 220–234.
- Pryce JE, Wales WJ, De Haas Y, Veerkamp RF and Hayes BJ. 2014. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. *Animal* 8, 1–10.
- Ribeiro LG, Machado FS, Campos MM, Guimaraes R, Tomich TR, Reis LG, Coombs C. 2015. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Rev. Colombiana Ciencias Pecuarias* 28, 124–143.
- Rowland RR, Lunney J and Dekkers J. 2012. Control of porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) through genetic improvements in disease resistance and tolerance. *Frontiers in Genetics* 3, 260.
- Shibata M, Terada F. 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal* 81, 2e10.
- Taylor MA. 2012. Emerging parasitic diseases of sheep. *Veterinary Parasitology* 189, 2–7.
- TGHGI, 2021. Turkish Greenhouse Gas Inventor. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved on 18.04.2022 from <https://unfccc.int/documents/271544>.
- Tubiello FN, Salvatore M, Rossi S, Ferrara A, Fitton N and Smith P. 2013. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters* 8, 015009.
- TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu. 21 Aralık 2021 tarihinde şuradan alındı <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=37196&dil=2>.
- Vac SC, Popita GE, Frunzeti N, Popovici A. 2013. Evaluation of greenhouse gas emission from Animal manure using the closed chamber method for gas fluxes. *Not Bot Horti Agrobo* 41 (2), 576–581.
- Vermeer HM, de Greef KH and Houwers HWJ. 2014. Space allowance and pen size affect welfare indicators and performance of growing pigs under comfort class conditions. *Livestock Science* 159, 79–86.

- Waghorn GC and Hegarty RS 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology* 166, 291–301.
- Walsh SW, Williams EJ and Evans ACO 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science* 123, 127–138.
- Weiss F and Leip A 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 149, 124–134.
- Zervas G, Tsiplakou E 2012. An assessment of GHG emissions from small ruminants in comparison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. *Atmospheric Environment* 49, 13–23.
- Zhou ME, Sanabria H, Guan LL. 2009. Assessment of the microbial ecology of ruminal methanogens in cattle with different feed efficiencies. *Applied Environ. Microbiol.*, 75: 65246533. DOI: 10.1128/AEM.02815-08.