
Araştırma Makalesi / Research Article

2016'da Türkiye'de Kanatlı Hayvanlardan Üretilebilecek Biyogaz ve Elektrik Enerji Potansiyeli

Halil ŞENOL^{1*}, Emre Aşkın ELİBOL², Ünsal AÇIKEL³, Merve ŞENOL⁴

¹Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

²Giresun Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Giresun

³Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

⁴Birlik Anadolu Lisesi, İngilizce Öğretmenliği Bölümü, Diyarbakır

Özet

Dünya sahip olduğu geleneksel doğal enerji kaynaklarının tükenebilir nitelikte oluşu, önümüzdeki yıllarda tükenme boyutlarına ulaşması, insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgar, biyokütle vb. enerji kaynakları kullanılmakta ve kullanımı artarak devam etmektedir. Biyogaz yenilenebilir enerji kaynakları statüsünde yer alan dünya enerji ihtiyacına alternatif bir çözüm kaynağıdır. Biyogaz bütün organik atıklardan üretilir. Organik atıklar çevre kirliliği açısından oldukça zararlıdır. Biyogaz üretimi enerji ihtiyacına çözüm yolu bulmasının yanında atıkları bertaraf etmesinden dolayı önem kazanmaktadır. Günümüzde biyogaz teknolojisi uygulamaları ekonomik ve çevresel yararlarından dolayı dünya genelinde gittikçe artma eğilimindedir. Bundan dolayı, son yıllarda organik madde atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesiyle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Kanatlı hayvan atıklarından oksijensiz fermantasyon ile biyogaz üretimi önemli derecede bir enerji kaynağıdır. Ayrıca, biyogaz üretimi ile kanatlı hayvan gübresi fermente gübre haline dönüştürülebilir. Bu çalışmada biyogaz, biyogaz üretimi, biyogazın artırılması ve ülkemizde mevcut kanatlı hayvan gübresinden oluşturulabilecek biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Organik Atık, Yenilenebilir Enerji, Oksijensiz Fermantasyon.

Potential of Producing Biogas and Electric Energy From Poultry Animals In Turkey, 2016

Abstract

The World has traditional and natural energy sources which are in the statute of exhaustible sources and in the coming years to research the depletion of reserves because of this the humanity has directed themselves to renewable energy sources. Nowadays renewable energy sources as solar, wind, biomass etc. are used and their usages increase day by day. Biogas is in the statute of renewable energy source and it is an alternative solution for the world's energy needs. Biogas production by anaerobic decomposition of poultry waste is an important alternative energy sources. Organic wastes are quite harmful for environmental pollution. Production of biogas has gained importance with not only find a solution for energy needs, but also remove the wastes. Nowadays, biogas technology applications are gradually increasing worldwide due to the economic and environmental benefits. Many researches and studies related to the determination of the biogas potential of waste organic materials have been carried out in the recent years. The production of biogas from poultry animal wastes (anaerobic fermentation) is an important alternative energy source. Besides this, with biogas production, poultry animal manure will be transformed into fermentation manure. In this process, biogas, biogas production, purification of biogas and potential of biogas production from available manure in our country has been observed.

Keywords: Biogas, Organic Waste, Renewable Energy, Anaerobic Fermentation.

*Sorumlu yazar: halilsenol1990@hotmail.com

Geliş Tarihi: 19/04/2017 Kabul Tarihi: 16/05/2017

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasından dolayı hayvancılık sektörü büyümüş, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çevre kirliliğine neden olan hayvansal atığın birikmesine ve oluşmasına sebep olmuştur. Bu atıklar çevre için oldukça zararlıdır ve bertaraf edilmesi zordur. Son yıllarda Türkiye’de hayvansal atıkların yanında özellikle kümes ve çiftlik hayvanlarının sebep olduğu çevresel atıklar, oldukça önemli çevresel sorunlardır. Bu sebeple kanatlı hayvan yetiştiriciliği sektöründe dışkıının oluşturduğu çevresel sorunlar önemli olmaya başlamıştır [1,2].

Hayvan atıklarının su kirliliğine olan zararlı etkilerini inceleyecek olursak, hayvancılık endüstrisi ülkemizde çok geniş bölgelere yayıldığından dolayı, suları kirletmesi açısından değerlendirilmesi gerekirse bu yönden etkilerinin tespit edilmesi zordur. Yerleşik olmayan kirlilik kaynakları olarak bilinen gübreler, yaş organik atıklar, hayvansal atıklar vb. yüzey sularına veya yer altı sularına ulaşarak suların kalitesini bozmaktadır ve kirletmektedir. Bu durumda sular kullanılmaz duruma gelmektedir [3].

Hayvancılık işletmelerinde, özellikle kanatlı hayvanlar endüstrilerinde çevre kirliliği oluşturan atıklar, önemli bir ekonomik potansiyelinin olduğu ortaya konmuştur. Hayvan endüstrisindeki atıkların neredeyse hepsi gübre ve yem üretimi gibi alanlarda kullanılabilir. Böylece hayvan endüstrisindeki atıkların değerlendirilmesi hem çevre kirliliğini azaltır hem de bu atıkların ekonomik olarak geri kazanımı sağlanır. [3]. Ancak bu atıkların herhangi bir fermantasyon işlemiyle patojen bakterilerden ayrılma gibi işlemler uygulanmadan doğrudan tarımda ekim alanlarına veya akarsulara uygulanması çevre kirliliğinin yanında toprağın ürün verimliliğini de etkilemektedir [4].

Kanatlı üretimin başladığı ilk zamanlarda kanatlı gübrelerinin sorun teşkil ettiği düşüncesine sahip olunmamış ve diğer hayvan gübreleri gibi geleneksel yöntemlerle tam olarak kompostlama yapılmadan toprağa verilmiştir [5].

Hayvan gübrelerinin yeteri kadar değerlendirme yöntemlerinin olmaması ve kurutma ya da kompostlama tekniklerinin maliyeti artırmasıyla, yerleşim birimleri etrafında kurulmuş büyük kapasitedeki tavukçuluk işletmelerinin genelde %50 civarında sulandırarak depoladıkları tavuk gübreleri çevre açısından koku, sinek kaynağı, atmosfer ve su kirliliğine neden olmaktadır [5].

Çevre kirliliği konuları arasında kanatlı hayvanların yaş gübrelerinin büyük payı vardır. Özellikle tavuk gübresi hoş olmayan bir koku ile çevreyi kirletmektedir. Dünyada her ülke kendi ekonomisine ve gereksinimine uygun en ekonomik yöntemi bulma arayışı içerisinde girmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve birçok gelişmekte olan ülkelerde de tavuk gübresi birçok şekilde değerlendirilmektedir. Ancak bazı ülkelerde biyogaz tesisleri kurularak, tavuk gübresinden elde edilen biyogaz, enerjiye dönüştürülerek hem enerji hem de kompost elde edilmektedir. Bu şekilde atık olarak nitelendirilen tavuk gübresinden hem biyogaz elde edilerek enerji sağlanması hem de kompost gübre elde edilmesi sağlanmaktadır. Dünya da üretilen tavuk gübrelerinin yaklaşık %95i kompost gübre olarak, yem üretimi ve yakıt olarak değerlendirilebilir [5].

Ekonomik açıdan genel olarak ülkemiz tarımda ve hayvancılıkta çok elverişli yapıya sahiptir. Böylece 1999 yılından bu yana ülkemizde yaklaşık 238 milyon kanatlı hayvan beslenmektedir. Bu nedenle ülkemizdeki hayvancılıkta kanatlı hayvanların ayrı bir yer aldığı anlaşılır. 2016 yılında ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre bu sayı 320,4 milyona ulaşmıştır [6].

1.1. Biyogaz Üretimi

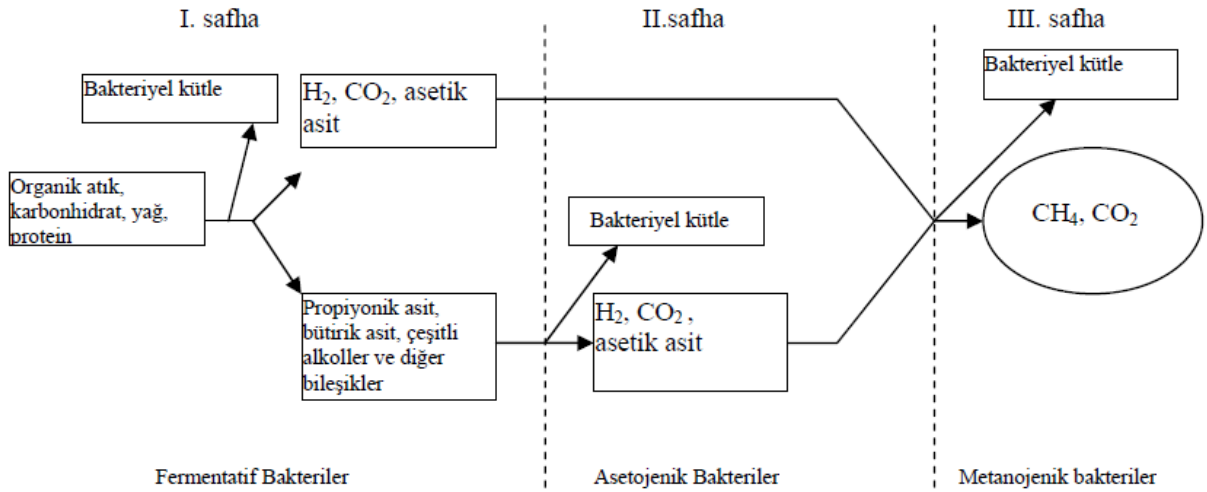
Biyogaz anaerobik (oksijensiz) ortamda, sabit bir sıcaklık altında organik maddelerin farklı mikroorganizma grupları tarafından parçalanmasıyla meydana gelmektedir. Biyogazın doğal oluşumu biyojeokimyasal karbon döngüsünün önemli bir parçasıdır. Metan üreten bakteriler (metanojenler) organik madde parçalayan ve çevreye ayrılmış ürünler veren mikroorganizmalar zincirinin son halkasıdır. Bu süreçte yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz oluşur.

Mikrobiyal faaliyetler sayesinde atmosfere her yıl 590-880 milyon ton metan salınmaktadır ve dışarı verilen metanın yaklaşık %90’ı biyokütleinin ayrışmasından elde edilmektedir, kalan kısmı ise fosil kökenli (petro kimyasal prosesler, vb.) kaynaklardan oluşmaktadır [7].

Biyogaz; renksiz, yanıcı, ana bileşenleri metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) olan, az miktarda hidrojen sülfür (H_2S), azot (N_2), oksijen (O_2) ve karbon monoksit (CO) içeren bir gaz karışımından oluşmaktadır. Genellikle organik maddenin % 40-% 60 kadarı biyogaza dönüşür. Geri kalan artık ise kokusuz, gübre olarak kullanılmaya elverişli bir katı veya sıvı üründür. Bu atık ise çevreye zarar verici olan organik atıkların bertaraf edilmiş halidir ve organik gübre olarak kullanılabilir [8].

Fermentasyon ile biyogaz üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyokütleden elde edilir. Son yirmi beş yıldır, anaerobik fermentasyon (oksijensiz fermentasyon), endüstriyel ve zirai atıkların çoğuna uygulanmaktadır [9]. Elde edilen bu enerji temiz bir enerjidir ve organik artıklarının oksijensiz ortamda metan gazına dönüşümü ile mümkündür. Biyogaz üretiminde kullanılan bazı organik atıklar, mısır sapı, şeker pancarının yaprakları veya küspesi, pirinç samanı ya da atıkları, büyükbaş ve küçükbaş hayvan gübreleri, mezbaha et ve kan atıkları, lağım atıkları, atıksu arıtma tesisi çamurları, insan dışkıları, ağaç yaprakları, yosun ve alglerdir [10,11].

Organik atıkların veya organik maddelerin fermentasyonu aşağıdaki Şekil 1 de üç safha halinde gösterilmiştir. Bu safhaların ilki hidroliz, ikincisi asit üretimi ve üçüncüsü ise metan üretimidir. Birinci safhada yüksek moleküllü organik bileşikler hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha küçük molekül ağırlıklı organik bileşiklere dönüşürler. Asit üretimi safhasında düşük molekül ağırlığına dönüşen organik bileşikler asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerine ve asetik aside dönüştürülür. Üçüncü safhada ise asetik asidin ayrışmasıyla ve CO_2 ve H_2 senteziyle metan üretimi gerçekleşir [12].



Şekil 1. Biyogaz üretim aşamaları

1.1.1. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

1.1.1.1. Organik Besleme Akımı

Sürekli bir biyogaz üretimini gerçekleştirmek, düzenli sıcaklık kontrolünü için biyoreaktöre sık aralıklarla, besleme yapmak gerekir. Beslemenin artması organik maddenin parçalanmasını arttırmaktadır. Çünkü sürekli bir biyogaz üretimini gerçekleştirmek için biyoreaktördeki substrat-su oranının sabit olması tutulması halinde mikroorganizmaların biyogaz üretimi için tüketileceği organik madde miktarı azalmamış olur ve böylece daha çok gaz üretimi gerçekleşir. Böyle bir sabitlik yaratmak için biyoreaktöre beslenecek olan substratın su ve organik madde miktarı oranı önceden hesaplanarak ayarlanması gerekmektedir [13].

1.1.1.2. Katı Madde Oranı

Biyogaz üretimi için kullanılan substratın katı madde içeriğindeki belirli seviyeden sonraki artışlar, metanojen bakterilerin aktivitesini kademeli olarak yavaşlatabilir ve sonuç olarak biyogazın üretim verimi düşebilir [7]. Biyogaz tesislerinde biyokütle olarak bilinen katı madde içeriğinin %7-12 değerinde olması gerekmektedir [14]. Anaerobik fermantasyon sistemlerinde maksimum biyogaz üretim verimi reaktöre verilen hammadde katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, kütlece %12 katı madde oranının aşılması durumunda ise düştüğü görülmektedir. Anaerobik parçalanma biyoreaktöründeki su karışımı az, katı madde oranı fazla ise mikroorganizma içeriğindeki büyüme azalmasından ve karıştırma için gerekli enerji ihtiyacı artışından dolayı gaz verimi düşmektedir. Biyogaz üretimindeki substratın ayrıca katı madde oranının çok az olması ve su miktarının fazla olması ise yine mikroorganizmalar için uygunsuz koşulların oluşmasına yol açar. Böylelikle biyogaz oluşumu yine olumsuz etkilenir [15].

1.1.1.3. Hidrolik Alınma Süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin (substratın) bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tanımlanabilir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler(substratlar) tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlamaktadır. Belirlenen hidrolik bekleme süresi içinde substrat olarak kullanılan organik maddelerin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek yok olduğu varsayılır. Biyogaz tesislerindeki HBS, işletme sıcaklığına bağlı olarak 20-120 günler arasında değişmektedir. Tropikal kısımlarda HBS nin 40 ila 50 gün arasında olduğu bilinmektedir. Örneğin Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre yaklaşık 100 gün olduğu bilinmektedir [16].

1.1.1.4. Organik Yükleme Hızı

Anaerobik parçalanma (oksijensiz fermantasyon) sırasında uygun olabildiğince organik yükleme hızı sabit alınmalıdır. Organik yükleme hızı fazla ise reaktörde uçucu yağ asitleri birikir ve pH azalır. pH'ın azalması metan oluşturan bakterilerin faaliyetini aksi yönde etkilemektedir. Bu olay da biyogaz üretim hızını olumsuz yönde etkiler. Aynı şekilde organik besleme hızı azaldığı zaman biyogaz üretim hızı da olumsuz etkilenir [16].

1.1.1.5. Karıştırma Hızı

Biyogaz reaktörünün verimi öncelikle reaktördeki organik maddelerin kalma zamanından, hayatta kalabilecek durumda olan metanojen bakteriler ve biyoreaktöre giren organik maddelerin birbirlerine olan temasından etkilenmektedir. Fermantasyon ile verimli bir gaz karışımı üretmek için, biyogaz reaktöründeki karıştırmanın yararı araştırmacılar tarafından bahsedilmiştir. Anaerobik biyoreaktör içerisindeki organik maddelerin karıştırılması ile mikroorganizmalar eşit şekilde dağılmaktadır. Karıştırma işlemi ayrıca organik maddelerin partikül büyüklüğünü azaltmaktadır. Böylece ön işlem etkisine ve karışımdan biyogazın serbest kalmasına yardımcı olmaktadır [17,18].

1.1.1.6. Sıcaklık

Metanojen bakteriler aşırı fazla sıcaklık ve aşırı düşük sıcaklıklarda aktif olmazlar. Mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen bu reaksiyonlar 60 °C ye kadar sıcaklık arttıkça artmaktadır. Metanojen bakteriler sıcaklığa karşı ve ışığa karşı hassas davranırlar [16].

Psikofilik sıcaklık aralığı 5 - 25 °C, arasındadır.

Mezofilik sıcaklık aralığı 25 - 38 °C arasındadır.

Termofilik sıcaklık aralığı 50 - 60 °C arasındadır.

1.1.1.7. pH Değeri

Metanojen bakteriler nötr veya hafif olarak alkali ortamda performans gösterirler. Fermantasyon işlemi anaerobik şartlarda uniform olarak devam ederken ortamın pH'ı, normal olarak 7-7,5 arasında değişmektedir. Karbondioksit-bikarbonat ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$) ve amonyak-amonyumun ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) tamponlama etkisinden dolayı pH seviyesi azda olsa değişmektedir. Düşen pH'ın metan oluşturan mikroorganizmalar üzerinde zıt etki yapılmasını bikarbonatlar engeller. Çünkü bikarbonatlar oksijensiz fermantasyon sırasında pH düşürme etkisini önleyebilmektedir. Bunun nedeni ise üretim fermantasyon sırasında oluşabilen uçucu yağ asitlerinin, serbest olacak şekilde yağ asitleri halinde değil de bağlı olacak şekilde olacağından dolayı pH ın düşmesini önleyebilmektedir. Oksijensiz fermantasyonla biyogaz oluşumu için ideal pH aralığı 6.8-7.8 olarak kabul edilebilir. Fermantasyon reaktörünün pH' ı 6,8' nin altına düşerse, metanojik bakterilere toksik etki yapabilmektedir. pH 6,5 altındaki bir değere geldiğinde ise gaz üretimi tamamen durmaktadır. Bu nedenle pH düşüğünde metanojen bakteriler olumsuz olarak etkilenir ve bu durum da biyogaz üretim verimini olumsuz olarak etkiler [16].

1.1.1.8. C/N Oranı

Organik atık maddeler, oksijensiz fermantasyon tankında üreyen farklı mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir. C/N oranı bu mikroorganizmalar için gerekli uygun ortam kaşullarının sağlanmasında çok önemli bir yere sahiptir. C/N oranı 23'den büyük olduğunda çürüme yavaşlar. Aynı şekilde bu oran 10'dan küçük olması durumunda da çürüme yavaşlamaktadır. Bu nedenle biyogaz üretimi için optimum C/N oranı 10-23 değerleri arasında olmalıdır [16].

1.1.1.9. Biyoreaktörde Köpük Oluşumu

Üretilen biyogazın fazla miktarda oluşumu, biyoreaktörde köpük tabakasının oluşması kaçınılmazdır. Bu köpük oluşumu, işletmeye alınan gaz çıkışının fazla olması veya organik yükteki ani artışlardan da olabilmektedir [19]. Köpük oluşumu, HBS nin yükselmesiyle ya da sıcaklığın yükselmesiyle azaltılabilir. Yağ asitleri gideriminin geliştirilmesiyle birlikte köpük oluşumunun düştüğü gözlenmiştir [20]. Ayrıca pH'ın düşmesiyle de köpük oluşumu yükselmektedir. Köpük oluşumu HBS nin 10 günden az olduğunda da yaşanır. Bu köpük tabakasını yok etmek için mekanik karıştırma veya su püskürtme gibi çözüm önerileri geliştirilmiştir [21].

1.1.1.10. Toksik Etki

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar biyoreaktörde oksijensiz fermantasyon sonucu mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaparlar. Mineral iyonlar (potasyum, sodyum magnezyum, kalsiyum, amonyum ve kükürt gibi maddeler) mikroorganizmaların gelişmesini artırır. Fakat ağır metaller toksik etki yapabilirler. Örneğin 50-200 mg/l amonyum mikroorganizmalarının gelişmesini sağlar fakat 1500 mg/l amonyum mikroorganizmalar üzerinde zıt etki yapabilmektedir [16]. Biyogaz üretiminde yukarıdaki parametreler çok önemlidir. Biyogaz oluşumunda tesis verimi; katı madde oranı, C/N oranı, basınç, karıştırma, pH, sıcaklık, yükleme oranı, toksik maddeler ve bekleme süresi gibi birçok bileşene bağlı olmaktadır. Bu bileşenler tesisin yapısına göre değişiklik göstermektedir [23].

1.2. Biyogazın Saflaştırılması

Organik atıklardan oksijensiz fermantasyon sonucu ile üretilen biyogaz saf metan içeriğine sahip olmadığı için biyogazın kullanım amacına saflaştırılması gerekmektedir. Biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılması birtakım kurallarla mümkün olmaktadır. Motorlu taşıtlarda kullanılması için biyogazın içeriğinde ki H₂S içeriği en fazla 17 ppm ve içeriğindeki CH₄ oranı da %96 in üzerinde olmalıdır. Hatta bazı ülkeler biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılabilme kuralını H₂S oranının max 4 ya da 5 ppm olması gerektiğini savunmuştur. Bu değerlere getirilen biyogaz yüksek basınç altında (yaklaşık 200 bar) sıkıştırılarak, sıkıştırılmış doğal gazla çalışan (CNG) gibi motorlarda kullanılabilmesi mümkündür. İçeriğinde ortalama % 97 CH₄ gazı bulunan 1 m³ biyogaz 1 litre benzinle aynı enerji değerine sahiptir [22]. Biyogaz karışımının içerisinde saflaştırılması genellikle gereken en büyük bileşenler CO₂ ve H₂S dir.

1.3. Biyogazın CO₂ den Ayrılması

Biyogazın içerisinde saflığını azaltan en büyük bileşen CO₂ dir. Biyogaz karışımı içerisindeki bu bileşen ne kadar çok ayrıştırılırsa biyogazın enerji değeri o kadar çok artmaktadır. Başlıca CO₂ adsorplama yöntemleri olarak; sudan geçirme, polietilen glikol ile adsorplama, karbon moleküler elek kullanma ve membran ayırma olarak bilinmektedir. Küçük işletmeli tesislerde ise en basit yöntem oluşan biyogazı doğrudan sudan geçirmektir. Su ile biyogazın içeriğindeki metan oranı %90 na kadar çıkmaktadır [24]. Suya tutunan CO₂ kuru buz üretiminde ve seralarda kullanılabilir. Bir diğer ayrıştırma yöntemi olan polietilen glikol ile adsorplama ise biyogazın saflaştırmalarında daha büyük tesisler için uygun görülmektedir. Çünkü karbondioksit tutan polietilen glikol desorpsiyon kolonunda kolaylıkla kazanılabilmektedir. Orta ve büyük ölçekli tesislerde polietilen glikol ile yapılan saflaştırmalar su ile yapılan saflaştırmalara göre uzun vade de daha az maliyet içeriğine sahiptir. Membran ayırma yönteminde ise biyogaz içeriğindeki gaz karışımının molekül büyüklüğü farkını kullanarak yapılan ayrıştırma yöntemidir. Bu yöntem ile CO₂ ve H₂S gazları CH₄ gazına göre daha küçük molekül yapısına sahip olduğundan membran fitreden daha kolaylıkla geçebilmektedir. Böylece arıtma işlemi tamamlanmış olmaktadır [25].

1.4. Biyogazın H₂S den Ayrılması

CO₂ biyogazın verimini düşürdüğü gibi H₂S de biyogaz üretim proseslerin de korozyona sebep olmakta ve arıtılması gerekmektedir. Başlıca H₂S arıtım yöntemleri olarak; polietilen glikol ile ayrıştırma, su ile ayrıştırma, biyogaz reaktörüne demir klorür veya hava ilavesi ve aktif karbon kullanılmasıdır. Biyogaz reaktörüne hava ya da oksijen ilave ederek hava ile biyogaz içeriğinde oluşan H₂S reaksiyona girerek Hidrojen Sülfat oluştururlar. Bu hidrojen sülfat reaktörden fermente gübre ile birlikte alınmaktadır. Bu yöntemle biyogaz içeriğinde istenmeyen gaz olan H₂S konsantrasyonun da yaklaşık %95 e varan azalma gözlenmektedir. Bu yöntemle kullanılan havanın içeriği ise en fazla %6 olmalıdır. Biyogaz reaktörünün içerisine demir klorür eklenmesi ile H₂S ile demir klorür reaksiyona girmekte ve demir sülfat oluşturmaktadır [26]. Bir diğer H₂S ayrıştırma yöntemi olan yöntem ise aktif karbon içerisinden ham biyogazın geçirilmesidir. Bu yöntem aslında doğrudan arıtım yöntemi değildir. Biyogaz reaktörü içerisine gönderilen havanın H₂S ile reaksiyona girerek kükürt ve su oluşturmaktadır. Aktif karbon sayesinde oluşan kükürt adsorbe edilir ve reaktörden ayrılmaktadır [27].

1.5. Biyogaz İçerisindeki Nemin Giderilmesi

Reaktörde oluşan biyogaz neme doymuş haldedir ve biyogaz proseslerin de depolama alanına giden biyogaz yanında nemi de beraberinde götürmektedir. Depolanan biyogaz içeriğindeki nem biyogazın enerjisini düşürmesi ve gazın sıkıştırılması esnasında nemin gaz ventilerine sıkışması gibi problemlere sebep olmaktadır. Bu nedenle biyogaz içeriğindeki nem miktarının giderilmesi gerekmektedir. Biyogazın içeriğinde nem olması yakıldığında kırmızımsı renkte alev çıkmasından anlaşılabilmektedir [28]. Biyogaz içerisindeki nemin giderilmesi için su adsorplayıcı katı veya sıvılar kullanılabilir.

Ayrıca adsorpsiyon kulelerinde suyu seven tuzlar, metal oksitler veya glikol gibi bileşenler sayesinde biyogaz içeriğindeki nem giderilebilmektedir.

2. Materyal ve Metot

Biyogaz bütün organik maddelerden oksijensiz fermantasyon yolu ile metanojen bakteriler tarafından oluşabilen bir gaz karışımıdır. Biyogazın verimi ve yanıcılığı CH₄ gazından kaynaklanmaktadır. Temel bir biyogaz bileşimi aşağıdaki Tablo 1’ de ortalama olarak verilmiştir [29].

Tablo 1. Biyogazın içeriği

Gazın cinsi	Gazın içeriği (% değeri)
CH ₄	40-70
CO ₂	30-60
H ₂ S	0-3
H ₂	0-1
O ₂	0,01-0,2
N ₂	0,1-1

Tablo 2. Çeşitli gazların enerji değerleri

Gazın cinsi	Enerji Değeri (MJ/m ³)
Propan	25,5
Bütan	28,7
Doğal gaz	37,3
Biyogaz	24,0

Yukarıdaki Tablo 2’ de çeşitli gazların enerjileri MJ değeri verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi 1 m³ biyogazın enerji değeri 24 MJ’ dür [30].

Biyogazın içerisindeki CH₄ gazı biyogazın verimi olarak bilinmektedir. Biyogazın verimi organik atıkların çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 3’ de farklı organik atıklara göre CH₄ içeriğini ifade etmektedir [31].

Tablo 3. Organik atık cinslerine göre CH₄ yüzdeleri

Organik atıklar	Hacimce CH ₄ içeriği (% değeri)
Sığır gübresi	65
Tavuk Gübresi	60
Domuz Gübresi	67
Saman	59
Çimen	70
Yapraklar	58
Mutfak Çöpleri	50
Deniz Yosunu	63
Su sazı	52

Tablo 4. 2016 yılı ülkemizdeki kanatlı hayvan sayıları

Hayvan cinsi	Hayvan sayısı
Tavuk	316.322.000
Hindi	2.828.000
Kaz	851.000
Ördek	398.000
Toplam	320.399.000

Yukarıdaki Tablo 4’ de TÜİK verilerine göre toplam kanatlı hayvan sayısı verilmiştir [6]. Ülkemizde 2016 yılında yaklaşık toplam 320,4 milyon kanatlı hayvan yaşamaktadır.

Tablo 5. Biyogaz enerjisi

Gazın cinsi	Miktarı(m ³)	Enerji değeri(kwh)
Biyogaz	1	4,7

Yukarıdaki Tablo 5’ de 1 m³ gazın enerji değeri kwh cinsinden verilmiştir [32]. 1 m³ biyogazın enerji değeri 4,7 kwh e eşittir. Bu değerde 1 TL sının üzerinde bir rakama tekabül etmektedir.

Tablo 6. Hayvan cinsine göre yaş gübre ağırlıkları

Hayvan cinsi	Yaş gübre miktarı(ton/yıl)
Büyükbaş hayvan	3,6
Küçükbaş hayvan	0,7
Kanatlı hayvan	0,022

Yukarıdaki Tablo 6’ da hayvan cinsine göre yaş gübre miktarları verilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere bir tane kanatlı hayvan bir yılda 22 kg yaş gübre üretmektedir [33].

Tablo 7. Bazı hayvan türlerinin gübresinin biyogaz üretim potansiyeli

Gübre cinsi	Gübre miktarı (ton)	Biyogaz potansiyeli (m ³)
Sığır	1	33
Koyun	1	58
Kanatlı hayvan	1	78

Yukarıdaki Tablo 7’ de kanatlı hayvan gübresinin 1 tonundan 78 m³ biyogaz üretilebileceği ifade edilmiştir [34].

Biyogaz hesabı yapılırken kullanılacak diğer kabuller şu şekilde verilebilir: 2017 yılının elektrik enerjisi fiyatı 1 kwh elektrik enerjisinin fiyatı 0,30 TL dir [31].

3. Bulgular ve Tartışma

Aşağıdaki Tablo 8’ de ülkemizin kanatlı hayvan atıklarından elde edebileceği biyogaz miktarı hesaplamaları yaparken 1 kwh elektrik enerji değeri 0,3 TL’ den hesaplanacaktır.

1 m³ biyogaz enerjisinin 4,7 kwh değerine eşit olduğundan dolayı 1,41 TL değerindedir.

Aşağıdaki Tablo 9’ da kanatlı hayvanların ürettiği yaş gübre ve bu yaş gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı verilmiştir.

Tablo 8. Kanatlı hayvan sayılarına göre biyogaz üretim miktarları

Toplam kanatlı hayvan sayısı	Ürettiği yaş gübre miktarı (ton/yıl)	Ürettiği biyogaz miktarı (m ³ /yıl)	Enerji değeri (MJ/yıl)
1	0,022	1,716	41,184
320.399.000	7.048.778	556.853.462	13.364.483.088

Tablo 8’ de belirtildiği gibi Türkiye’de 320.399.000 tane kanatlı hayvan bulunmaktadır ve bu kanatlı hayvanların ürettiği toplam biyogaz miktarı 556.853.462 m³ tür. Bu enerji değeri de 13.364.483.088 MJ değerine eşittir.

Aşağıdaki Tablo 9’ da ülkemizdeki bütün kanatlı hayvanlardan üretilebilecek aylık, yıllık ve günlük kazanç TL olarak verilmiştir.

Tablo 9. Kanatlı hayvanlardan üretilen biyogazın ülkemize yıllık, aylık ve günlük kazancı

Yıllık kazanç (bin TL)	Aylık kazanç (bin TL)	Günlük kazanç (bin TL)
785.163	65.430	2.181

Tablo 10. 2016 yılında kanatlı hayvanlardan üretilebilecek elektrik enerji değeri

Toplam kanatlı hayvan sayısı	Aylık elektrik üretim miktarı (kwh)	Günlük elektrik üretim miktarı (kwh)
1	0,67	0,022
320.399.000	218.100.000	7.270.000

Yukarıdaki Tablo 10’ da Türkiye’ de kanatlı hayvanların oluşturabileceği toplam aylık ve günlük olarak elektrik enerji değeri hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi ülkemizdeki bütün kanatlı hayvanların oluşturabileceği toplam elektrik enerji miktarı aylık olarak 218.100 Mwh değerine karşılık gelmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Tablo 9’ da ülkemizde kanatlı hayvanların yaş gübresinden üretilebilecek biyogaz miktarının değeri Türk lirası cinsinden verilmiştir. Bu tabloya göre yıllık yaklaşık 785 milyon TL, aylık yaklaşık 65 milyon TL ve günlük yaklaşık 2 milyon TL olarak bulunmuştur. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere ülkemiz, kanatlı hayvanlarından elde edilebilecek keşfedilmemiş bir biyogaz potansiyeline sahiptir.

Yukarıdaki tablolara bakıldığında ülkemizde 2016 yılında toplam 320,4 milyon kanatlı hayvanın bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu hayvanların en büyük sorunu ise atık olarak oluşturdukları dışkıların bertaraf edilmesi problemidir. Bu problemlerde biyogaz üretimi sayesinde giderilebilmektedir. Çünkü biyogaz üretimi hem atıkların bertaraf edilmesini sağlar hem de enerji ihtiyacına yardımcı olur. Oksijensiz fermantasyon sonucunda dışarıya çıkan yan ürün depolanabilir ve zamanla yapısında hiçbir bozulma olmaz ve zamanı gelince istenildiği zaman tarlaya serilebilir.

Ülkemizde kanatlı hayvan yaş gübresinden biyogaz üretimine enerji açısından bakıldığında toplam yıllık ürettiği enerji miktarı yaklaşık 13,36 milyar MJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer enerji olarak dışa bağımlı ülkemizin gerekli olan enerji miktarının büyük bir kısmını karşılamaktadır. Aynı zamanda Türkiye’deki bütün tavuk gübrelerinin oluşturduğu bu enerji değerini elektrik enerji değerine karşılığı günlük olarak 7.270 Mwh elektrik enerjisi yapmaktadır. Bu nedenle ülkemizin enerji ihtiyacını azaltacak olan biyogaz üretim tesislerinin sıklaştırılması ve özellikle kanatlı hayvanlardan seri üretimin olması gerekmektedir.

Biyogaz üretimini ülke ekonomisi açısından değerlendirecek olursak, oldukça verimli olduğu ortaya çıkmaktadır. 1 m³ biyogazın değeri yaklaşık olarak 1,3 TL olduğunu düşünürsek bir üretim tesisinde elde edilen enerjide oldukça verimli halde olduğu karşımıza çıkmaktadır. Fakat ne yazık ki ülkemiz biyogaz üretim tesisi sayısı açısından Dünya ve Avrupa ülkelerinden oldukça geride kalmıştır. Bu nedenle ülkemizde biyogaz üretiminin yapılmasına, tesis sayısının artırılmasına, biyogaz tesis projelerinin önemsenmesine ihtiyaç vardır.

Tavuk gübresinden üretilen biyogazın TL değeri hesaplanırken, yapılan hesaplamalarda maliyet giderleri hariç tutulmuştur. Çünkü maliyet tasarımı tesisin yerine, durumuna ve yıllık kullanımına bağlı olarak değişmektedir.

Biyogaz üretimi günümüzde yaygın olarak kentsel atık su arıtma tesislerinde ve artan şekilde tarımsal atıklar, hayvan endüstrisi atıkları gibi organik atıkları bertaraf etmek amacıyla kullanılmaktadır [35]. Fakat bu atıklar hem yeteri kadar değerlendirilmemekte hem de tavuk atıkları bu değerlendirmeler doğrultusunda kullanılmamaktadır. Bu nedende ülkemizdeki bu atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Eleroğlu H., Yıldırım A. 2011. Tavukçuluk Katı Atıklarının Tavuk Gübresine İşlenerek Çevre Kirliliğinin Azaltılması, 3. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, pp494-503, 7-10 Eylül, KKTC.
2. Koç T. 2002. Bandırma İlçesinde Tavukçuluğun Çevresel Etkisi, Ekoloji Dergisi, 11 (43): 11-16.
3. Karaman S. 2006. Hayvansal Üretimden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Olanakları, Journal of Science and Engineering, 9 (2): 133-139.
4. Yetilmezsoy K. 2010. Tavuk Çiftliklerinden Kaynaklanan Atıkların Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, 2. Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, pp132-136, 4-5 Kasım, İstanbul.
5. Şahin S., Altunal N., 2008. Etlik Piliç Dışkılarının Gübre Olarak Değerlendirilmesi ve Önemi, Veteriner Tavukçuluk Derneği Dergisi, 6 (3): 6-7.
6. TÜİK. 2017. <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>. (Erişim tarihi: 02.02.2017).
7. Kossmann W., Pönitz U. 1999. Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany.
8. Gül N. 2006. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Isparta.
9. Ghosh S. 1997. Anaerobic Digestion For Renewable Energy and Environmental Restoration. The 8th International Conference on Anaerobic Digestion, pp50-55, 12-15 Haziran, Japonya.
10. Speece R.E. 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Arachae Press, Nashville.
11. Karim K., Klasson T., Hoffmann R., Al-Dahhan M.H. 2005. Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mixing, Bioresource Technology, 96: 1607-1612.
12. Demir İ., Öztürk İ. 1989. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Kinetik Modellenmesi, 5.Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kongresi, pp18-23, 13-15 Haziran, Adana.
13. Çeken H.B. 1997. Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Afyon.
14. Demir İ. 1993. Hayvan Atıklarından Biyogaz Eldesi. Türk Devletleri Arasında 2. İlimi İşbirliği Konferansı, pp179-186, 2-3 Kasım, Kazakistan.
15. Ardıç İ., Taner F. 2004. Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Sudaki Çözünürlüğüne Asidik Önilemlerin Etkileri, Ekoloji dergisi, 14 (53): 39-43.
16. Öztürk, M. 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
17. Casey T.J. 1986. *Requirements and Methods for Mixing in Anaerobic Digesters. Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Agricultural Wastes*, London: Elsevier Applied Science Publisher, 90-103.

18. Lee S.R., Cho N.K., Maeng W.J. 1995. Using the Pressure of Biogas Created During Anaerobic Digestion as the Source of Mixing Power, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 80 (4): 415-417.
19. Mosey F.E., Foulkes M. 1984. *Control of the Anaerobic Digestion Process, In Swage Sludge Stabilization and Disinfection*, Ed. A.M. Bruce. Ellis Horwood, Chichester.
20. Halalsheh M., Koppes J., Elzen J., Zeeman G., Fayyad M., Lettinga G. 2005. Effect Of SRT and Temperature on Biological Conversions and The Related Scum-Forming Potential, *Water Research*, 39: 2475-2482.
21. Yıldız Ş., Balahorli V., Sezer K. 2010. Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi, *Su ve Çevre Dergisi*, 33: 90-105.
22. İlkılıç C., Deviren H. 2011. Biyogazın Oluşumu ve Biyogazı Safılaştırma Yöntemleri, 6th International Advanced Technologies Symposium, pp150-155, 16-18 Mayıs, Elazığ.
23. Çağlayan G.H., Koçer N.N. 2014. Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimini Araştırılması, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 215-220.
24. Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. *Biyogaz Teknolojileri*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
25. Eyidoğan M. 2008. Biyogazın Safılaştırılması ve Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanılması, *Makine ve Mühendis*, 584 (49): 18-24.
26. McNamara C.J., Anastasiou C.C., O'Flahert V., Mitchell R. 2008. Bioremediation of Olive Mill Wastewater, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 61: 27-134.
27. IEA Bioenergy. 2005. Biogas Upgrading and Utilization. Task 24; Energy from Biological Conversion of Organic Waste, Report, 4-18.
28. Walsh J.L., Ross C.C., Smith, M.S., Harper S.R. 1989. Utilization of Biogas, *Biomass*, 20: 277-290.
29. Kobya, M. 1992. Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları İçin Bir Biyogaz Tesisi Tasarımı. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, 68s, Erzurum.
30. EKSİS. 2017. Biyogaz Enerji Hesabı. http://www.kurutma.net/biogaz_enerji_hesabi.html. (Erişim tarihi 25.01.2017).
31. Nadaisa H., Capelaa I., Arrojaa L., Duarteb A. 2005. Anaerobic Treatment Tecnology, *Water Research*, 39 (2005): 1511-1518.
32. Enerji. 2016. <http://www.enerjiatlasi.com/haber/2017-yili-elektrik-fiyatlari-belirlendi>. (Erişim tarihi: 01.02.2017).
33. Eleroğlu H., Yıldız S., Yıldırım A. 2013. Tavuk Dışkısının Çevre Sorunu Olmaktan Çıkarılmasında Uygulanan Yöntemler, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 2: 14-24.
34. Ilgar R. 2012. Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Bölümü, Coğrafya Eğitimi ABD.
35. Haak L., Roy R., Pagilla K. 2015. Toxicity and Biogas Production Potential of Refinery Waste Sludge for Anaerobic Digestion, *Chemosphere*, 144 (2016): 1170-1176.