

Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi

Kenan DALKILIÇ¹

Aysenur UĞURLU¹

ÖZET: Hayvansal atıklar geleneksel olarak Türkiye'de yakılarak ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanında gübre amaçlı toprağa verilmekte, bu da çevre üzerinde olumsuz birçok etki yaratmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hala yetersiz olmakla beraber, son yıllarda hayvansal atıklardan biyogaz üretimine yönelik uygulamalar artarak devam etmektedir. Bu gelişmelere rağmen Türkiye'de toplam hayvansal atıkların %25-30'unu oluşturan tavuk atıklarından biyogaz üretme ile ilgili uygulamalar sınırlı kalmaktadır. Bu makalede, Türkiye ve dünyada tavuk atıklarından biyogaz üretilmesi çalışmaları özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, tavuk atıkları

Biogas Production From Chicken Manure

ABSTRACT: Traditionally, animal manures are burned for heating in Turkey. It is also used as soil conditioner which has adverse environmental effects. Although, the use of renewable energy sources in Turkey is very limited, the application studies on biogas production from animal manure are increasing. 25-30% of total animal manures produced in Turkey are composed of chicken manure. The works on biogas production from chicken manure are very limited in Turkey. In this paper, biogas production studies from chicken manure in Turkey and in the World are reviewed.

Key Words: Biogas, chicken manure Research on biogas production studies is still not enough,

GİRİŞ

Kümes hayvancılığı ürünlerinin üretimi ve tüketimi küresel olarak artma eğilimi göstermektedir. Kümes hayvancılığı endüstrisi istatistiklerine göre ABD, Çin ve Brezilya kümes hayvanı eti üretiminde liderliklerini devam ettirmektedirler. 2011 yılında her birinin sırasıyla 19900x10³, 18000x10³, 12000x10³ ton kümes hayvanı eti ürettiği tahmin edilmektedir. Buna göre dışkı, leş, ayak, tüy ve kan gibi binlerce ton atığın ortaya çıkması muhtemeldir (17). 2007 yılında toplam 4000x10⁶ ton hayvansal atığın oluştuğu Çin'de, tavuk atıkları bu toplamın %10'dan fazlasını oluşturmuştur (14). ABD'de 2008 yılı itibarıyla kuru olarak 35 milyon ton hayvansal atık oluşmakta ve bu atıklar tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan toplam sürdürülebilir biyomasın %18'ini oluşturmaktadır (14). İngiltere ve AB ülkelerinde ise kümes hayvancılığı endüstrisi bir yılda sırasıyla 820 ve 5500 milyon adet kuş yetiştirmektedir. Kümes hayvanlarına olan talebin artması sonucu açığa çıkan atık miktarı da artmaktadır (11).

Tavuk endüstrisinden kaynaklanan atıklar, dışkı, altlık, yem, ölü civcivler, kırılmış yumurtalar ve tüylerden oluşmaktadır. Bu atıkların besin değeri çok yüksek olduğu için organik gübre olarak kullanımı çok yaygındır. Böylece azot, fosfor ve kalsiyum tekrar kullanılmış ve geri kazanılmış olur. Bu atıklar geleneksel olarak gübre görevi görmesi amacıyla araziye serilmektedir. Fakat bu uygulamaların sık sık yapılması, yüzeysel sularda nütrientlerin artmasına dolayısıyla ötrofikasyona, patojenlerin çoğalmasına, fitotoksik maddelerin üremesine, hava kirliliğine ve

sera gazı emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. İçme sularında yüksek nitrat konsantrasyonları insanlarda mavi bebek sendromuna, kansere, solunum hastalıklarına ve hayvanlarda yavru düşüklere sebebiyet vermektedir (15).

Ülkemizde de, kümes ve çiftlik hayvanlarından (tavuk, ördek, büyükbaş hayvanlar vb.) kaynaklanan atıklar son yıllarda önemli çevresel problemler arasında yer almaktadır. Bu atıkların herhangi bir yönetime tabi tutulmadan doğal tarım alanlarına verilmesi, mahsul çeşitliliğini ve kalitesini düşürmekte ve toprağın stabilitesini ve faydalı kullanım özelliklerini bozabilmektedir. Ayrıca bu atıkların standartlara uygun olmayan koşullarda depolanması koku, sinek, haşere problemleri oluşturarak canlı sağlığını olumsuz etkilemektedir (24). Dünyada bu atıkların uzaklaştırılması ve zararsız hale getirilmesi için uygulanması önerilen yöntemler kompostlama, anaerobik arıtma ve biyogaz üretimi ve direk yakma yöntemleridir (15).

1. Türkiye'de Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretme Potansiyeli

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan hayvansal atıkların biyogaz açısından önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen büyük bölümünün arazide kullanıldığı veya enerji elde edilmeden diğer yöntemler ile bertaraf edildiği bilinen bir gerçektir. Türkiye'deki son tarımsal sayımlara (2009) göre, 3.076.650 tane tarımsal işletme mevcuttur. Bunun

¹ Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü-Ankara

yaklaşık %70'ini hayvansal faaliyetler ile uğraşan işletmeler oluşturmaktadır. Buna göre 10.811.165 tane büyükbaş, 26.877.793 tane küçükbaş ve 234.082.206 tane de kümes hayvanı vardır. Bu hayvanlardan kaynaklanan yaş atıkların miktarı 120.887.280 tondur. Bu atıklar işletmeler için önemli bir problem olabilmekte ve düzgün bir şekilde muamele edilememektedir. Bunun için en iyi yöntemin biyogaz üretimi olduğu belirtilmektedir (3). Yine Avcıoğlu ve Türker (2012)'e göre son tarımsal sayımlar göz önüne alınarak Türkiye'nin biyogaz enerji potansiyeli 2 177 553 000 m³ olarak belirlenmiştir. Bu potansiyelin yaklaşık %27'si kümes hayvanlarının atıklarından kaynaklanmaktadır.

Türkiye'deki et ve yumurta tavuklarından kaynaklanan atıkların biyogaz enerji potansiyelinin enerji eşdeğeri 8853 milyon GJ olduğu belirtilmektedir. Tavuk endüstrisinin bulunduğu yerler göz önünde bulundurulduğu zaman, yıllık 10 milyon m³ üzerinde biyogaz potansiyeline sahip iller Bolu, Sakarya, Balıkesir, Manisa, Afyon, Konya, İzmir, Ankara, Çorum ve Bursa olarak karşımıza çıkmaktadır (4). Yapılan literatür araştırmalarından ve laboratuvar çalışmalarından çıkan sonuca göre, tavuklardan kaynaklanan atıkların günlük miktarı ve bu atıklardan elde edilebilecek metan miktarı sırasıyla 0,085-0,13 kg/tavuk-gün ve 0,35 m³CH₄/kg UKM olarak belirlenmiştir (4,21). Buna göre Avcıoğlu vd. (2013)'nin yaptığı araştırmaya 2009 yılında Türkiye'de et tavukları ve yumurta tavuklarının toplam yaş atık miktarı 6 milyon tona yaklaşmış olup, bu atıklardan elde edilebilecek toplam biyogaz miktarı ise 390 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu biyogazın ısı değeri ise 8.85x10⁶ GJ/yıl olarak bulunmuştur.

Bayrakçı ve Koçar, (2012)'a göre de ülkemizdeki toplam biyokütle enerji potansiyelinin yaklaşık olarak 16-32 Mtoe (milyon ton petrol eşdeğeri) olduğu ve bunun 2,3 Mtoe'ni hayvansal atıkların oluşturduğu tahmin edilmektedir. Hayvansal atıklardan yaklaşık olarak 2,2-3,9 milyar m³ biyogaz üretilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca biyogaz üretimi ve sistemleri konusunda 2000 yılından bu yana birçok üniversite, enstitü, araştırma merkezi ve devlet kuruluşunda çalışmalar yapıldığı, bunların yaygın hale getirilmeye çalışıldığı belirtilmektedir. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı tarafından desteklenen ve kırsal kesimlerde hayvansal atıklardan biyogaz üretiminin yaygınlaştırılmasını amaçlayan proje ile TÜBİTAK-MAM ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin desteklediği ve tarımsal ve hayvansal atıklardan biyogaz üretimi ve üretilen biyogazın entegre enerji dönüşüm teknolojilerinde kullanımını amaçlayan proje gibi projeler bunlara birer örnektir. Bunun

dışında TÜBİTAK'ın, Kayseri'de büyükbaş, koyun, keçi ve tavuk atıklarından biyogaz elde edilmesi projesi, Enertek Enerji Şirketi'nin Çiğli/İzmir'de atık depolama alanına 4,25 MW gücünde biyogaz sistemi kurması ve 34GWh enerji üretmesi, atıksu arıtma tesisinde 3,88 MW gücünde biyogaz tesisi kurması ve 29,4 GWh enerji üretmesi, Fortuna Enerji Yatırımları End. Şti.'nin Germencik/Aydın'da mısır silajı ve büyükbaş hayvansal atıklardan biyogaz üreten 1063 MW gücünde ve 8GWh kapasitesinde bir biyogaz tesisi kurması, Ranteko'nun Çiçekdağı/Kırşehir'de büyükbaş hayvan atıklarının kullanıldığı ve 250 kW gücünde çalışan bir biyogaz tesisi kurması, Ege Üniversitesi'nin Aydın, Kuyucak'da 60 m³ kapasitede biyogaz üretme reaktörü ve 50 m³ kapasitede gaz depolama tankı tesis etmesi yapılan diğer çalışmalara örnektir (6).

2. Dünyada Biyogaz Üretim Çalışmaları

Son 30 yıldır atıklardan biyogaz elde edilmesine yönelik çalışmalar dünya genelinde büyük bir ivme kazanmıştır. Avrupa'da 2007 yılında biyogazdan enerji üretim miktarı 6 Mtoe'ye ulaşmış ve yıllık % 20'den fazla artış göstermiştir. Almanya çiftliklerdeki biyogaz tesislerinin önemli miktarda artması sayesinde şu anda dünyanın en büyük biyogaz üreten ülkesi konumundadır. 2008 yılı sonunda yaklaşık olarak 4000 tane tarımsal biyogaz üretim tesisi, Almanya'da çiftliklerde faaliyet göstermektedir (23). Almanya'da 2020 yılına kadar 43000 biyogaz üretim tesisinin faaliyete geçirilmesi planlanmaktadır. Avrupa'nın birçok ülkesinde atıklardan veya enerji bitkilerinden elde edilen biyogaz ile elektrik üretilerek, elektrik şebekesine aktarılmaktadır. Bazı ülkelerde ise biyogaz arıtılarak araç yakıtı olarak kullanılmaktadır. Projeksiyonlar sadece tarım atıkları için irili ufaklı 220000 adet biyogaz tesisinin Avrupa'da kurulabileceğini göstermektedir (10). 2001 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde 1500 milyon ton biyokütlenin anaerobik olarak işlem görebileceği belirtilmiştir (23).

Günümüzde biyogazdan enerji elde etme örnekleri en çok Batı Avrupa'da geliştirilmiştir ve bunlar daha çok merkezi biyogaz tesisleridir. Avrupa'da biyogazdan elde edilen enerji toplamı, Avrupa Birliği'nin enerji tüketiminin yaklaşık olarak %0,3'ünü karşılamaktadır. Fakat bu oranın artması beklenmektedir. Almanya Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ajansı tarafından, Almanya'da biyogazdan elde edilen enerjinin, toplam enerji tüketiminin %3'ünü karşıladığı belirtilmiştir. Üretilen bu enerjinin de %50'si enerji bitkilerinden, %25'i

hayvansal atıklardan ve %5'i atıksulardan elde edilmiştir (2).

Gelişmiş ülkelerde biyokütle, enerji kaynaklarının ortalama olarak %3'ünü geliştirmekte olan ülkelerde %38'ini ve bazı fakir ülkelerde %90'ını temsil etmektedir. ABD'de biyokütlenin toplam birincil enerji tüketimine oranı %4 iken bu oran Finlandiya'da %2, İsveç'te %15 civarındadır. Buna karşın geliştirmekte olan Nepal'de 20 milyon nüfusa, 16 milyon büyükbaş ve küçükbaş hayvana karşılık 145000 biyogaz tesisi bulunmaktadır. Vietnam 2005 yılı itibarıyla 18000 biyogaz tesisi tamamlanmış ve 150000 tanesinin de 2010 yılına kadar tamamlanması planlanmıştır. Bu tip biyogaz tesisi projelerinin finansmanı karbon ticareti aracılığıyla karşılanabilir durumdadır (10).

Asya ülkelerinde (Çin, Hindistan, vb.) biyogaz uygulamaları çok daha çeşitli durumdadır. Yerel küçük biyogaz tesislerinden elde edilen biyogaz ile ısı, aydınlatma, pişirme gibi ihtiyaçlar karşılanmaktadır. Böylece tahmin edilen enerji talebinin artışının bir kısmı bu çeşit uygulamalarla karşılanabilmektedir (2). 2003 yılında "Çin 2003-2010 Ulusal Kırsal Biyogaz Tesisi Yapım Planı"nı yayınladığında, amaç 2005 yılında biyogaz tesisi sayısını 20 milyona ulaştırmak, çiftçilere de ürettiği biyogazın %10'unu kullanma hakkını vererek 2010 yılında biyogaz tesisi sayısını 50 milyona ulaştırmak idi. Çin 2020 yılında enerji tüketiminin %15'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı hedeflemiştir ki bu da 200 milyon biyogaz tesisi yapımı demektir (10). 2007 yılına gelindiğinde Çin'deki biyogaz tesis sayısı 26.5 milyonu bulmuştur. Asya ülkelerinde devletlerin verdiği finansal destekler ve teknoloji sayesinde, biyogaz tesis sayısı oldukça artmıştır. Asya'da Çin'den sonra biyogaz tesisi en fazla olan ülke 2,5 milyon ile Hindistan'dır. Ayrıca 2-4 m³ hacimlerinde 16-22 milyon civarında biyogaz tesisi yapacak kadar kaynaklarının olduğu rakamlarla ortaya çıkmaktadır (10). 3-10m³lük biyogaz tesislerinden günlük 3-10m³ biyogaz üretilmekte ve bununla ortalama bir ailenin ısınma, aydınlanma ve pişirme gibi günlük ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

Afrika ülkelerinde ise biyogaz tesis sayısı sadece yüzler ile ifade edilmektedir (7). Latin Amerika ülkelerinde biyogaz tesis kurulum çalışmaları son zamanlarda hız kazanmıştır fakat yeterli sayıda değildir (10). Rusya, Ukrayna ve Kazakistan'da günlük 80 kWh elektrik üretebilecek kadar yüksek kapasitelere sahip yüzden fazla biyogaz üretme tesisi mevcuttur. Bununla birlikte Ukrayna ithal ettiği doğalgaza bağımlılığını azaltmak için 10 milyon dolar civarında yatırım gerektiren 3000 adet biyogaz tesisi yapmayı planlamaktadır (10).

3. Tavuk Atıklarından Biyogaz Üretilmesi

Atıklardan biyogaz üretimi, anaerobik koşullarda çeşitli mikroorganizmaların organik maddeleri, enerji üretmek ve üremek amacıyla parçalaması yoluyla gerçekleşir. Sonucunda ise metan, karbondioksit eser miktarda hidrojen, amonyak, hidrojen sülfür gazları ve mineralce zengin posa oluşur (15).

Anaerobik Mikroorganizma

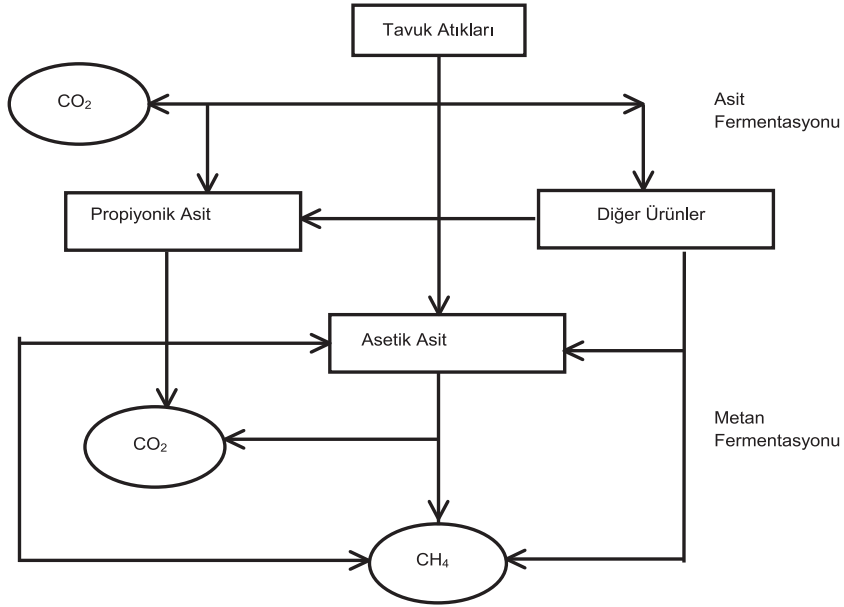
Organik madde+H₂O → CH₄+CO₂+Yeni hücre+NH₃+H₂S+Isı

Tavuk atıkları, protein, karbonhidrat ve yağlardan oluşur. Karbonhidratlar atığın büyük kısmını oluşturur ve selüloz, nişasta ve şeker gibi biyoparçalanabilir maddelerden oluşur. Proteinler, yüzlerce amino asit gruplarından oluşur. Yağlar ise yağ asitlerinden oluşurlar. Tavuk atıklarının anaerobik arıtımı iki ana bölümde ele alınabilir. Birincisi, yağ, protein ve polisakarit gibi kompleks bileşenlerin fakültatif ve anaerobik bakteriler tarafından alt bileşenlere ayrıştırılmasına yani hidroliz edilmesidir. Bu faz, asit fermentasyonu olarak da adlandırılır ve organik asitler, alkoller ve yeni bakteri hücrelerinin oluştuğu fazdır. İkinci faz ise, hidroliz ürünlerinin sıkı anaerobik koşullarda ve belirli çevresel koşullarda metan bakterileri tarafından metan ve karbondioksit dönüştürülmesidir. Bu fazda metanojen fazı olarak adlandırılır. Metan oluşumu sonrasında kalan çamur da toprak şartlandırıcı ve gübre olarak kullanılabilir. Tavuk atıkları diğer hayvansal atıklara göre daha yüksek oranda biyoparçalanabilir madde içermektedir. Ayrıca azot oranı da, protein ve amino asitten dolayı yüksektir. Bir miktar amonyum bakteriler tarafından kullanılsa da fazlası organik maddelerin parçalanmasını, uçucu yağ asidi oluşumunu ve metan oluşumunu inhibe etmektedir. Aşağıdaki şekilde genel olarak organik maddelerin anaerobik olarak parçalanması süreci gösterilmektedir.

Cantrell vd. (2008) kümes atıklarının diğer hayvansal atıklardan daha fazla parçalanabilir organik maddeye sahip olduğunu fakat organik azotça zengin olan bu atıkların orijinal katı içeriği (%20-25 TKM-toplam katı madde) ile anaerobik arıtmaya tabii tutulması durumunda amonyak birikimi sebebiyle proses performansında azalma olabileceğini belirtmektedirler.

Quiroga vd. (2010), İspanya'nın kuzeybatısında yer alan Asturia bölgesindeki tavuk çiftliklerinden topladıkları tavuk atıklarının, enerji kaynağı olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirleyebilmek için atıkların fiziko-kimyasal analizini ve kalorifik değerlerini incelemişlerdir. Kuru bazda yüksek ısıtma değerleri 12.052-13.882kJ/kg iken yaş bazda yüksek nem içeriğine göre alt ısıtma değerlerinin ortalaması

2664kJ/kg olarak bulunmuştur. Atıkların içeriği, kümes hayvanlarının beslenme amaçlarına göre değişiklik göstermekle beraber, mezba ve et üretimi tesisleri dışındaki tesis atıklarının fiziko-kimyasal analizleri sonucu ortaya çıkan ortalama nem, TOK (toplam organik karbon), UKM (uçucu katı madde), kül, ısı değerleri, başlıca organik madde ve metal değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Atıklardan Metan Oluşumu ve Aşamaları

Çizelge 3.1. Tavuk Atığındaki Ortalama Fiziko-kimyasal Analiz Değerleri (19).

Parametre		Madde	% kuru mad.	Metal	% kuru mad.
Nem	%74.53	Karbon	%34.7-36.2	Kalsiyum	4.84
Top. org. karbon (%kuru madde)	%33.16	Hidrojen	%4.6-5.2	Potasyum	2.38
Organik madde (%kuru madde)	%67.37	Azot	%5.6-5.9	Magnezyum	0.43
Kül (%kuru mad.)	%33.65	Klorin	%0.64	Manganez	0.02
Üst ısı değer	13804kJ/kg kuru mad.	Fosfor	%0.65	Çinko	0.02
Alt ısı değer	2664 kJ/kg kuru mad.	Sülfür	%0.109-0.13		

Bujoczek vd. (2000) tarafından yüksek katı madde içeriğine sahip tavuk atıklarının kesikli beslemeli sistemde biyogaz üretim performansı araştırılmıştır. Farklı oranlarda taze atık ile arıtılmış çamur(aşı) karıştırılarak, farklı katı madde içerikleri elde edilmiş ve 35°C'de inkübasyon sağlanmıştır. Reaktördeki organik yüklemeye arttıkça, organik maddelerin CH₄'e dönüşüm veriminin azaldığı belirlenmiştir. Reaktörün kararlı ve stabil çalıştığı, en yüksek katı madde içeriği %10 olarak tespit edilmiştir. Metanojenesis fazının 250mg/L serbest amonyak konsantrasyonuna kadar

sürdüğü tespit edilmiştir. Organik azotun amonyak ve amonyuma dönüşüm verimi bir çok denemede %62 ile %80 arasında bulunmuştur (8).

Tavuk atıklarının laboratuvar ortamında mezofilik koşullarda (37°C) kesikli sistem ile metan üretimi için kuru fermentasyonu denenmiş ve 254 günlük alıştırma sürecinden sonra metan elde edilmiştir. Hesaplanan 8-14 g A/kg TA gibi yüksek amonyak varlığına rağmen, toplam 4.4 L/kg TA (31ml/g UKM) hacminde metan üretilmiştir. Yüksek amonyak seviyelerinde ve yüksek TKM (%25) içeriğinde bile metanojenik bakterilerin

yüksek amonyak konsantrasyonuna alışması, metan üretimi ile sonuçlanabilmektedir (1).

Salminen ve Rintala (2002) hidrolik bekleme süresinin(HBS) ve yükleme oranının, 31°C`de işlem gören laboratuvar ölçekli yarı sürekli beslemeli bir reaktörde, tavuk mezbahası atıksularının arıtımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Parametrelerin proses performansı üzerindeki etkisinin oldukça bariz olduğu belirlenmiştir. Anaerobik sistemin, 0.8 kg UKM/m³-gün organik yükleme seviyesine kadar ve 50-100 günlük HBS aralığında fizibil olduğu ve spesifik metan oluşumunun da 0.52-0.55m³/kg UKM gibi yüksek değerlerde gerçekleştiği bulunmuştur. Bunların yanında, 1.0-2.1 kg UKM/m³-gün yüklemelerde ve 25-13 gibi daha kısa HBS`de, prosesin aşırı yüklenmeden kaynaklanan kısa ve uzun zincirli uçucu yağ asidi birikmesinden dolayı inhibe olduğu ve metan oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Salminen ve Rintala (2002), başlangıçta az miktarda bulunan amonyanın reaktör çıkış suyunda, toplam azotun %55-65 seviyesine (3.8g/L) ulaştığını belirlemişlerdir. TKM ve UKM giderimlerinin ise sırasıyla %76 ve %64 oranında olduğu tespit edilmiştir.

CSTR çıkışlı tavuk atığı atıksuyu, 35°C`de, anaerobik granüler çamur yataklı 12.3 L`lik bir reaktörde, amonyak inhibisyonunun etkisinin gözlemlenmesi için kullanılmıştır(18). 1.5-3.5 kg KOİ/m³-gün`e karşılık gelen organik yükleme ve 1.5 günlük HBS`de maksimum biyogaz üretimi 1.2m³/m³-gün olarak ve TKOİ giderimi %70-80 aralığında gerçekleştirilmiştir. Fakat toplam amonyak azotu(TAA) birikiminin metanojenesis fazında inhibisyona sebep olduğu, ÇKOİ/TAA oranının bu inhibisyonda anahtar rol oynadığı, pH=8.5-9 aralığında ÇKOİ/TAA eşik değerinin 2.4(TAA:1250mg/L) olduğu Liu vd. (2012) tarafından bulunmuştur.

Tavuk atıksuları ile sentetik atıksuya dışardan ilave edilen NH₄Cl`nin, metanojen mikroorganizma türleri ve aktiviteleri üzerindeki etkisi Krylova vd. (1997) tarafından araştırılmıştır. Sonuç olarak, 2-10g/L(0.5-2.6g NH₄-N/L) arasındaki NH₄Cl konsantrasyonlarında biyogaz ve metan oluşumunun etkilenmediği, fakat 10-30g/L NH₄Cl konsantrasyonlarında biyogazda %50-60 ve metanda %80-90 azalma olduğu gözlemlenmiştir. 30gNH₄Cl/L (7.8 g NH₄-N/L) konsantrasyonu üzerinde bütün metanojenik bakteri türlerinde belirli bir azalma olduğu, fakat kütesel olarak %10`luk (kütle/hacim) fosforit cevherinin ortama ilave edilmesi ile prosesin metan ve biyogaz üretiminin tekrar iyileştiği ve metanojenik türlerin arttığı rapor edilmiştir. Ortama 50 g NH₄Cl/L ve üzeri konsantrasyonlarda ekleme yapılması durumunda da sistemin geri dönülemez şekilde inhibe olduğu ayrıca belirtilmiştir (16).

Gelegenis vd. (2007a), sürekli karışimli bir CSTR`de, mezofilik şartlarda (35°C), seyreltilmiş tavuk atıkları ile peyniraltı suyunun farklı karışımlarının

reaktöre yarı sürekli beslenerek gerçekleştirdikleri deneylerde, herhangi bir kimyasal ilavesine gereksinim duyulmadan, peyniraltı suyunun besleme miktarının %50`sini oluşturabilecek kapasiteye kadar arttırılabildiğini ispatlamışlardır. Peyniraltı suyunun düşük KOİ değerine bağlı olarak, karışıma hacimsel olarak %50 oranında eklenmesine kadar, biyogaz oluşumunda (L/kg UKM) herhangi bir değişim görülmemiştir. Fakat peyniraltı suyunun karışımdaki miktarı %50 oranını geçtikten sonra, pH ve biyogaz oluşumlarındaki azalmalardan dolayı proste kararsızlık meydana geldiği gözlemlenmiştir. Deneyler daha sonra, önceden sadece tavuk atıkları ile beslemiş olan bir CSTR`de devam ettirilmiş, besleme atığındaki KOİ miktarı değişmeyecek şekilde, artan miktarlarda peyniraltı suyu eklemesi yapılmıştır. 35°C`de 18 günlük bir HBS ve 4.9 g KOİ/L-gün organik yükleme ile biyogaz üretiminin %40`lık bir artışla 2.2L/L-gün olarak gerçekleştiği bulunmuştur. Biyogaz miktarındaki bu artış, azotça zengin olan tavuk atığına göre, peyniraltı suyunun kolay parçalanabilir karbonhidrat bakımından daha zengin olmasına ve dolayısıyla karışımın karbon/azot (C/N) oranının arttırılmış olmasına bağlanabilir (12).

Benzer şekilde, Gelegenis vd. (2007b)`de zeytin atıksuları ile seyreltilmiş tavuk atıksularının farklı oranlarının biyogaz üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalar, mezofilik şartlarda CSTR`de gerçekleştirilmiş, hacimsel olarak %30 zeytin atıksuyu miktarına kadar biyogaz oluşumunda olumlu değişimler tespit edilmiş ve herhangi bir kimyasala veya zeytin atıksuyunun seyreltilmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Zeytin atıksularının besleme atığındaki oranı %30 (v/v)`tan fazla olduğu durumlarda ise biyogaz veriminde azalmalar olduğu görülmüştür. Sürekli tam karışimli proste 18 günlük HBS`nde yapılan çalışmalarda %30`luk karışımdaki besleme atığının KOİ`si 88gO₂/L, organik yükleme miktarı 4.84gUKM/L-gün olarak belirlenmiştir. Reaktör bu şartlarda hızlı bir şekilde kararlı duruma gelmiş ve %65(v/v) metan içeriğiyle 1.53L/L-gün biyogaz üretimi sağlamıştır (13).

Anaerobik proste optimum besleme içeriği ve C/N oranı baz alınarak büyükbaş hayvan atıkları, tavuk atıkları ve buğday sapları, metan üretim miktarının arttırılması amacıyla ko-fermantasyona tabi tutulmuştur (22). Ko-fermantasyon atıkların tek başına besleme olarak kullanımından daha verimli olmuştur. Hatta, bu üç atığın ko-fermantasyonu, sadece tek tür hayvansal atık ile buğday sapının ko-fermantasyonundan bile daha sinerjik etki göstermiştir. Kararlı pH ve düşük TAA ve SAA (serbest amonyak azotu) konsantrasyonlarında 25/1-30/1 arasındaki C/N oranının proses performansı açısından iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. En yüksek metan üretim potansiyeli 40:60 (büyükbaş hayvan atığı: tavuk atığı) oranında elde edilmiştir (22).

SONUÇ

Tavuk atıkları ile ilgili olarak dünyada birçok çalışma yapılmaktadır ve bu çalışmalar gelişerek devam etmektedir. Tavuk atıklarından daha fazla gaz elde etme, daha verimli arıtma çalışmaları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Ülkemizde ise sadece tavuk atıklarının biyogaz üretme potansiyeli belirlenmiştir. Bu doğrultuda, tavuk atıklarından

biyogaz elde etme çalışmaları hızlandırılıp, çevre üzerinde yarattıkları olumsuz etkiler önlenirken, bu atıkların yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilerek bir an önce uygulamaya geçilmesi; uygulamada ki eksikliklerin ve zorlukların tespit edilip, en verimli koşulların belirlenmesi ülkemizin geleceği ile ilgili olarak önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Abouelenien, F., Nakashimada, Y., Nishio, N., 2009 "Dry mesophilic fermentation of chicken manure for production of methane by repeated batch culture" *Journal of Bioscience and Bioengineering* : 107 No. 3, 293–295.
2. Angelidaki, I., Karakashev, D., J. Batstone, D., M. Plugge, C., J. M. Stams, A., 2011, "Biomethanation and its potential", *Methods in Enzymology*, volume 494, ISSN 0076-6879, DOI: 10.1016/B978-0-12-385112-3.00016-0
3. Avcıoğlu, A.O., Türker, U., (2012) "Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:1557–1561
4. Avcıoğlu, A.O., Çolak, A., Türker, U., 2013 "Türkiye'nin Tavuk Atıklarından Biyogaz Potansiyeli", *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty* 10(1):21-28.
5. Başpınar, A.B., Türker, M., Hocalar, A., Öztürk, İ., 2011, "Biogas desulphurization at technical scale by lithotrophic denitrification: Integration of sulphide and nitrogen removal", *Process Biochemistry* 46 : 916–922
6. Bayrakçı, A.G., Koçar, G., 2012, "Utilization of renewable energies in Turkey's agriculture", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 : 618– 633
7. Bond, T., Templeton, M.R., 2011, "History and future of domestic biogas plants in the developing world", *Energy for Sustainable Development* 15 : 347–354
8. Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J.; Sparling, R., Cenkowski, S., 2000, "High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure", *J. agric. Engng Res.* (2000) 76, 51-60, doi.10.1006/jaer.2000.0529, available online at <http://www.idealibrary.com>
9. Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., 2008, "Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities", *Bioresource Technology* 99: 7941–7953.
10. Deublein, D., Steinhauser, A., 2008, "Biogas :From Waste And Renewable Energy Resources", Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, ISBN 978-3-527-31841-4, 450p.
11. Font-Palma, C., 2012, "Characterisation, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview" *Energy Conversion and Management* 53 : 92–98.
12. Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Mavris, V., 2007, "Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure" *Renewable Energy* 32 : 2147–2160.
13. Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N., Goumenaki, M., 2007, "Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by co-digesting with diluted poultry-manure" *Applied Energy* 84 : 646–663.
14. Jiang, X., Sommer, S.G., Christensen, K.V., 2011, "A review of the biogas industry in China" *Energy Policy* 39 : 6073–6081.
15. Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'Dwyer, T.F., 2002, "Advances in poultry litter disposal technology-a review" *Bioresource Technology* 83: 27- 36.
16. Krylova, N.I., Khabiboulline, R.E., Naumova, R.P., Nagel, M.A., 1997, "The influence of ammonium and methods for removal during the anaerobic treatment of poultry manure", *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 70 : 99-105.
17. Lasekan, A., Abu Bakar, F., Hashim, D., 2012. "Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources", *Waste management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.001>
18. Liu, Z.G., Zhou, X.F., Zhang, Y.L., Zhu, H.G., 2012, "Enhanced anaerobic treatment of CSTR-digested effluent from chicken manure: The effect of ammonia inhibition" *Waste Management* 32 : 137–143.
19. Quiroga, G., Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Maraño, E., 2010, "Physico-chemical analysis and calorific values of poultry manure", *Waste Management* 30 (2010) 880–884
20. Salminen, E.A., Rintala, J.A., 2002, "Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading", *Water Research* 36 :3175–3182
21. TÜBİTAK MAM, 2001, "Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı", Çevre Bakanlığı Projesi
22. Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., Han, X., 2012, "Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw" *Bioresource Technology* 120 : 78–83.
23. Weiland, P., 2010, "Biogas production: current state and perspectives" *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85:849–860
24. Yetilmezsoy, K., 2008, *Tavuk Çiftliği Atıklarının Havasız Çamur Yataklı Reaktörde Arıtılabilirliği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 235s.*