

**FARKLI HAYVAN GÜBRELERİ VE MISIR
SİLAJI KARIŞIMINDAN HAZIRLANAN
HAMMADDELERDEN BİYOLOJİK METAN
VERİMİNİN SAPTANMASI**

Züleyha UYKAN

**Yüksek Lisans Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erkan GÖNÜLOL
2019**

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI HAYVAN GÜBRELERİ VE MISIR SİLAJI KARIŞIMINDAN
HAZIRLANAN HAMMADDELERDEN BİYOLOJİK METAN
VERİMİNİN SAPTANMASI**

ZÜLEYHA UYKAN

BİYOSİSTEM MÜH. ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. ERKAN GÖNÜLÖL

TEKİRDAĞ – 2019

Tüm Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Erkan GÖNÜLOL danışmanlığında, Züleyha UYKAN tarafından hazırlanan “Farklı Hayvan Gübreleri ve Mısır Silajı Karışımından Hazırlanan Hammaddelerden Biyolojik Metan Veriminin Saptanması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

İmza :

Üye: Prof. Dr. Erkan GÖNÜLOL

İmza :

Üye: Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI HAYVAN GÜBRELERİ VE MISIR SİLAJI KARIŞIMINDAN HAZIRLANAN HAMMADDELERDEN BİYOLOJİK METAN VERİMİNİN SAPTANMASI

Züleyha UYKAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erkan GÖNÜLÖL

Tez çalışmasında metan üretimi sırasında, bazı hayvan atıklarında yüksek konsantrasyonda amonyak bulunduğundan gözlemlenebilecek operasyonel sorunlar ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu nedenle kullanılan vizon gübresi, büyükbaş gübresi, kanatlı gübresi ve mısır silajının tek tek ve karışım olarak biyogaz üretimleri ve biyogaz içerisinde bulunan metan verimleri bulunmuştur. Deneysel çalışmalar Aristoteles Üniversitesi Ziraat Orman ve Çevre Fakültesine ait Tarımsal Yapı ve Ekipmanlar laboratuvarında yapılmıştır. Biyogaz verimi $108,58 \pm 2,80$ - $615,50 \pm 17,17$ ml/gUKM aralığında değişmiştir. Metan verimleri $48,80 \pm 1,56$ - $380,23 \pm 17,0$ ml CH₄/gUKM değerleri arasında değişiklik göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, anaerobik sindirim, biyokimyasal metan potansiyeli, enerji, hayvansal atık.

2019, 38 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE DETERMINATION OF BIOLOGICAL METHANE POTENTIAL FROM DIFFERENT ANIMAL MANURES AND CORN SILAGE MIXTURE

Züleyha UYKAN

Tekirdağ Namik Kemal University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Erkan GÖNÜLOL

In the thesis study, it has been tried to find operational problems that can be observed during the production of methane because of the high concentration of ammonia in some animal manures. For this reason, the biogas production and the methane yields in the biogas were determined by using the mink manure, cattle manure, poultry manure, and corn silage individually and as a mixture. Experimental studies were carried out in Aristoteles University Agricultural Forest and Environmental Faculty Agricultural Building and Equipment Laboratory. The biogas yield changed in the range of $108,58 \pm 2.80 - 615,50 \pm 17.17$ ml / gVS. Methane yields varied between $48,80 \pm 1,56 - 380,23 \pm 17,0$ ml CH₄ / gVS values.

Key words: Biogas, anaerobic digestion, Biochemical methane potential,, energy, animal waste.

2019, 38 pages

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1.GİRİŞ	1
1.1.Biyogaz; Bileşimi, Yararları , Üretim Aşamaları ve Etkileyen Unsurlar.....	2
1.2.Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık Hammaddeler.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ	11
3. 3. MATERYAL VE METOD	20
3.1. Atıkların Karakterizasyon Analizleri.....	20
3.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Belirlenmesi.....	22
3.2.1.Üretilen Biyogazın Ölçümü ve Analizi.....	25
3.2.2.Metan Veriminin Belirlenmesi.....	26
3.3.Verilerin İstatistik Analizleri.....	27
3.4.pH Ölçümleri.....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Atıkların Karakterizasyon Analiz Sonuçlarına ait Bulgular ve Tartışma.....	28
4.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP).....	29
4.2. 1. Biyogaz Verimi Bulguları ve Tartışma.....	29
4.2.2. Metan Verimi Bulguları ve Tartışma Sonuçları.....	31
4.3.Verilerin İstatistik Analiz Sonuçları ve Tartışma.....	32
4.4. Rektörlerin pH Ölçüm Sonuçları Bulguları ve Tartışma.....	33
5. SONUÇ	34
6. KAYNAKLAR	35

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Biyogazın Bileşimi.....	3
Çizelge 1.2. Sektörlere Göre Biyogaz İçeriklerinin Karşılaştırması.....	8
Çizelge 3.1. Reaktör Yükleme Oranları.....	24
Çizelge 4.1. Atık karakterizasyon Analiz Sonuçları.....	28
Çizelge 4.2. Biyogaz ve Metan Verimi İstatistik Analiz Testi Sonuçları.....	28
Çizelge 4.3. pH Ölçüm Sonuçları.....	34
Çizelge 5.1. Sonuçlar.....	34

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Biyogaz Üretim Aşamaları.....	1
Şekil 3.1. Toplam Katı Madde İçeriğinin Belirlenmesi.....	21
Şekil 3.2. Uçucu Katı Madde İçeriğinin Belirlenmesi.....	21
Şekil 3.3. İnokülümün İnkübasyonu.....	23
Şekil 3.4. Reaktörlerin İnkübatör'e Konulması.....	25
Şekil 3.5. Gaz-Su Yer Değiştirme Prensibiyle Çalışan Silindirler.....	25
Şekil 3.6. Gazın Silindirden Alınması.....	26
Şekil 3.7. Gaz Kromatografisi.....	26
Şekil 3.8. Gaz Komotografisi Ölçüm Örneği.....	27
Şekil 3.9. Ph Metre.....	27
Şekil 4.1. Kümülatif Biyogaz Verimleri.....	29
Şekil 4.2. Toplam Metan Verimleri.....	31

SİMGELER DİZİNİ

TKM	: Toplam Katı Madde (%)
UKM	:Uçucu Katı Madde (% TKM)
TKN	: Kjeldahl Azotu (ppm)
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu (ppm)
BMP	:Biyokimyasal Metan Potansiyeli

ÖNSÖZ

Dünyada yenilenebilir enerji kullanım oranı henüz yaklaşık % 2.7'dir. Yenilenebilir enerji kaynakları iyi değerlendirilerek kullanımını artırılmalıdır. Yenilebilir enerji kaynaklarından birisi de biyogazdır. Hayvansal üretimde oluşan atık gübreden, yenilebilir enerji üretimi, daha etkin bitki besin maddesi aynı zamanda çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla biyogaz üretimi teşvik edilmelidir. Biyogazın üretiminin bu çok yönlü avantajları nedeniyle gün geçtikçe önemi artmaktadır. Biyogaz üretim sürecine sadece hayvansal atıklar değil bitkisel atıklar da sokularak sadece muhtemel çevre sorunları değil üretim sürecini iyileştirerek daha etkin bir gaz eldesi de sağlanmış olur.

Biyogaz olarak değerlendirilmeyen hayvansal atıkların depolanması ve bertarafı sırasında oluşan karbon emisyon değerlerinin yüksekliği son yıllarda yapılan birçok çalışmada vurgulanmıştır. Biyogaz olarak değerlendirilen atıklar kontrollü ve uygun koşullarda depolanmasıyla bu emisyon değerlerinde de önemli bir kazanım elde edilir.

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında, öncelikle biyogaz, biyogaz bileşimi, yararları üretim aşamaları ve etkileyen unsurlar hakkında bilgi verilmiş ve biyogaz üretim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen sayın Danışman Hocam Prof.Dr. Erkan GÖNÜLOL'a,

Denemeler sırasında her zaman yanımda olan Doç.Dr.Thomas KOTSOPOULOS, Maria-Lida CHRİSTOU, Sotiris KALAMARAS ve Georgios VİTOULİS'a,

Deneme yerinin sağlanması ve ekipman desteğini veren Aristoteles Üniversitesi'ne,

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Nisan, 2019

Züleyha UYKAN
Biyosistem Mühendisi

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ile enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Dünya enerji ihtiyacını yaklaşık %24,2 doğalgaz, % 29 kömür ve % 32,8 oranında petrolden karşılamaktadır. Geriye kalan kısım ise sadece nükleer enerji, hidro enerji ve yenilenebilir enerjidir. Dünyada doğalgaz, kömür ve petrol rezervleri tükenmekte olan enerji kaynaklarıdır. Son yapılan araştırmalar fosil yakıt kaynaklarından petrolün 2047, doğalgazın 2068, kömür rezervinin ise 2140 yılına kadar sonlanacağını göstermektedir Ayrıca bu enerji kaynakları atmosferdeki sera gazı emisyonunu artırdığından dolayı bu enerji kaynakları aslında doğa için oldukça zararlıdır (Türkmenler ve ark. 2014).

Türkiye'nin enerji ihtiyacı artan nüfus ve ekonomik büyüme nedeniyle hızla artmaktadır. Türkiye limitli enerji kaynakları nedeniyle enerji bağımlı bir ülkedir ve bunun sonucu olarak enerji ihtiyacını oldukça masraflı bir şekilde ithal etmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan sağlanan verilere göre Türkiye tükettiği enerjinin sadece 3'te 1'ini üretmektedir. Bu nedenle enerji ihtiyacı açısından dışarıya bağımlılığımız %70 in üzerindedir. Türkiye'nin başlıca enerji kaynakları kömür, doğalgaz ve su enerjisidir. Türkiye'nin biyogaz potansiyeli mevcut doğal gaz kullanımının % 88'ine eşdeğerdir (Şenol ve ark. 2017).

Biyokütle, Dünya toplam birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %10'unu oluşturan, ısıtma ve ulaşımdaki kullanımının yanı sıra, elektrik üretimi amacıyla da kullanılabilen enerji çeşididir. Ülkemiz biyokütle kaynakları ve organik atık kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Ülkemizdeki organik atıklar genel toplam atıkların % 65'idir. Bu nedenle ülkemiz çok büyük bir organik atık kapasitesine sahiptir. Bu atıklar kontrolsüz bir şekilde çevreye atılmakta ve çürümeye terk edilmektedir. Bu nedenle çevre kirliliği oluşturmaktadır. Bitkisel ve hayvansal organik maddeler, çoğunlukla ya çevreye atılarak doğaya zararlı bir hale gelmektedir ya da doğrudan yakılmaktadır. Bir başka alternatif olarak bu atıklar tarım topraklarında doğrudan gübre olarak kullanılabilir. Fakat bu tür gübreler doğrudan toprağa katıldığı için zararlıdır. Çünkü bu gübrelerin oluşum aşamasında hayvanların veteriner tarafından kullanılan aşular, yedikleri zararlı yem karışımları vb. gibi maddelerden dolayı yapısında patojen bakterilerin oluşumu gerçekleşmektedir. Bu nedenle bu patojen bakteriler tarımdaki toprak verimini aksine daha da verimsiz hale getirebilme potansiyeline sahiptir . Fakat biyogaz sonucu oluşan yan ürünler organik bir gübre olarak kullanılabilir potansiyeline sahiptir. Bu nedenle hayvan gübresinin anaerobik sindirimi sonucu oluşan organik atıklar toprak verimini %10 artırmaktadır.

Organik gübre için biyokütle dönüşüm yöntemlerinden olan biyogaz üretimi yapmak hem biyogaz üretiminden enerji elde etmek için faydalı hem de organik gübre elde edilmesi açısından avantajlıdır (Şenol ve ark. 2017) .

Öte yandan sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmanın akıllı çözümlerle azaltılması ve bu emisyonların enerjiye dönüştürülmesi toplumun refahı açısından önemlidir. Kyoto protokolü ile azaltılması gereken 6 sera gazı çeşidi tanımlanmıştır. Bunlar; CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs ve SF₆'dır . Bu sera gazlarından tarım ve hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşanlar ise CO₂, CH₄ ve N₂O'dur. Sera gazlarından CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının atmosferik konsantrasyonları yaklaşık olarak her yıl sırasıyla %0.4, %0.6 ve %0.25 oranında artmaktadır. Bu artışlar, küresel iklimdeki değişikliklere olumsuz katkı yaptığı için, uluslararası iklim kurumlarının önderliğinde bu emisyonların azaltılmasına yönelik önemli adımlar atılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaz enerjisinde ise bu durum çok farklıdır. Çünkü biyogaz enerjisi bileşenlerinden biri olan CO₂ doğanın kullandığı karbondioksit'e eşittir ve bu nedenle atmosfere zararlı değildir ve kirlilik etkisi yaratmaz. Biyokütleden elde edilen biyogaz, içeriğindeki metan (CH₄) gazı sayesinde tükenmekte olan doğal gaz enerjisinin yerine geçebilecek en büyük potansiyeldir .

Metan gazı (CH₄) emisyonlarının en önemli kaynağı fosil yakıtların üretimi, dağıtımı ve kullanımınıdır. Hayvancılık ise metan emisyonlarının ikinci en önemli kaynağıdır. Metan, otobur hayvanlara özgü olan ve bir sindirim prosesi olan enterik fermantasyonun bir ürünü olarak üretilir. Enterik fermantasyon, karbonhidratların mikroorganizmalar tarafından kan dolaşımı içinde emilmesi için daha basit moleküllere parçalanmasıdır. Hem geniş getiren hayvanlarda (sığır, koyun, keçi) ve hem de bazı geniş getirmeyen hayvanlarda (at, eşek, katır) bu proses ile metan gazı üretilir. Bu şekilde açığa çıkan metanın miktarı; hayvan tipine, yaşına ve ağırlığına, beslenme kalitesine ve miktarına ve hayvanın harcadığı enerjiye göre değişir (Ersoy 2017).

1.1.Biyogaz; Bileşimi, Yararları , Üretim Aşamaları ve Etkileyen Unsurlar

Biyogaz; organik maddelerin oksijensiz ortamda fermente olması sonucu oluşan CH₄, CO₂, H₂S, H₂ karışımı bir gazdır (Çizelge 1.1). Biyogaz üretiminde uygulanan anaerobik biyoteknoloji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yeri olan biyokütleden yakıt elde etme yöntemlerinden birisidir. Organik artıklardan oksijensiz ortamda metan gazına dönüşümü sonucunda geriye kalan kısım ise bitki besin elementlerince zengin olup gübre olarak kullanılabilir (Nasl 2015).

Çizelge 1.1.Biyogazın Bileşimi

Bileşen	Kimyasal Sembol	Hacimsel Oran (%)
Metan	CH ₄	50-75
Karbondioksit	CO ₂	25-45
Su Buharı	H ₂ O	2-7
Oksijen	O ₂	<2
Nitrojen	N ₂	<2
Amonyak	NH ₃	<1
Hidrojen	H ₂	<1
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	<1

Biyogazın yoğunluğu 0,83 g/L, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700°C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gaz karışımıdır. Biyogazın yakıt değeri karışımındaki metan gazından ileri gelmektedir. En önemli bileşeni olan saf metan 9100 kcal/m³ ısı değerine sahiptir. İçerindeki metan oranına bağlı olarak ısı değeri ise 4800-6900 kcal/m³ arasında değişmektedir. Bu nedenle ısınma, aydınlatma ve su ısıtılması gibi amaçlarla kolaylıkla kullanılabilen temel enerji kaynaklarına alternatif olabilecek bir enerji kaynağıdır. Biyogaz bileşiminde %40'dan az metan olduğunda yanma için uygun olmamaktadır (Nasl 2015).

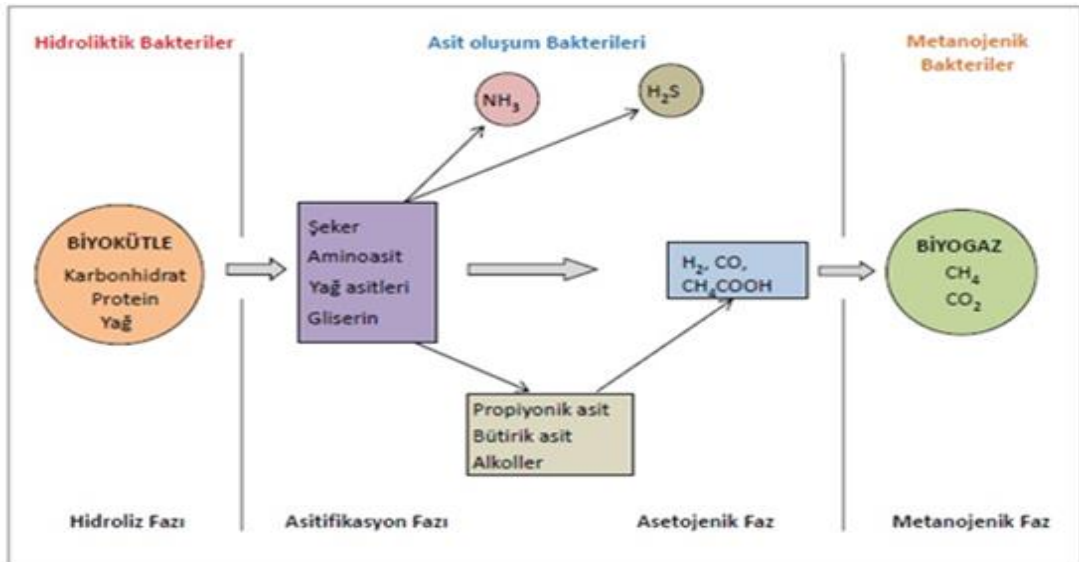
Biyogazın yararlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (Nasl 2015).

- *Ekonomik yararları:* Kırsal bölgelerdeki ekonomik gelişme biyogazın en önemli yararlarından biridir. Ülkemizin kırsal bölgelerindeki milyarlarca liralık değişim potansiyeli inanılmaz derecede bir etkidir. Pek çok iş sahası oluşturulmakta (üretim, hasat ve kullanım) ve endüstriyel gelişmede (yakıt için dönüşüm fabrikalarındaki gelişme ve enerji) önemli olacaktır.
- *Çevresel Yararlar:* Biyogaz; iklim değişiklikleri, asit yağmurları, toprak erozyonu, su kirliliği gibi çevresel konuların yanı sıra ,ayrıca çöp depolama alanlarındaki hacmin azalmasına yardımcı olur. Vahşi yaşamın ve ormanlık alanların korunmasında da yardımcı olur.
- *İklim Değişikliği:* İklim değişikliği dünyanın en önemli problemlerinden biridir. İnsan aktiviteleri ve fosil yakıtların yanmasıyla atmosfere sera gazları diye adlandırılan yüz milyonlarca atık salınmaktadır. Bu gazlar CO₂, CH₄ gibi gazları içerir. Atmosferdeki sera gazlarının tümü dünya iklimini değiştirmekte ve biyosfer tabakasını bozmaktadır. Biyogaz enerjisi teknolojinin zararlarını minimize edilmesine yardımcı olmaktadır. CH₄ ve CO₂ ikisi önemli problemlere neden olabilmektedir. CH₄ depolama alanlarında

tutularak, atık sular ıslah edilerek, metanın atmosfere verilmesi önlenir. Metan'ın yanmasıyla açığa çıkan CO₂ bir sonraki üretim için absorbe edilir. Bu karbon halkası olarak adlandırılır.

- *Asit Yağmurları:* Asit yağmurları yakıtların yanmasıyla açığa çıkan sülfür ve nitrojen oksitlerden kaynaklanmaktadır. Asit yağmurları insanları, vahşi yaşamı ve çevreyi etkilemektedir. Biyogaz sülfür içermediğinden ve kömürle kolay karıştığından (co-firing, sülfür emisyonlarını azaltmanın en basit yöntemlerinden biridir) asit yağmurlarını azaltmaktadır.
- *Toprak Erozyonu ve Su Kirliliği:* Biyogaz pek çok yönden su kirliliğini azaltmaktadır. Enerji üretimi daha çok tarıma elverişli olmayan alanlarda, sulak alanlarda ve yıllık üretimin yapıldığı alanlarda yapılmalıdır. Tüm bu durumlarda, üretim, toprak erozyonu ve su ile sürüklenmeyi azaltarak toprağı stabilize etmektedir.
- *Depolama Hacmini Azaltma:* Biyogaz elde etmek veya enerji üretmek için her yıl tahmini olarak 350 milyon ton tarımsal atık kullanılmaktadır. Bu kaynakların uygun ve düzenli kullanımı sonucunda depolama alanlarında boş alanlar oluşur. Bu sistem ile dağ gibi atık toplama alanları oluşmayacaktır.

Anaerobik işlem; hidroliz, asit oluşumu ve metana dönüşüm olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır (Şekil 1.1). Prosesin bütününe bir olumsuzluğa meydan vermeyecek şekilde birbirleriyle uyumlu olması gerekir.

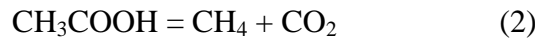
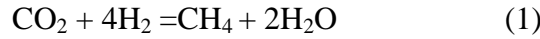


Şekil 1.1: Biyogaz Üretim Aşamaları

Hidroliz aşamasında; hammaddenin kompleks yapıları (karbonhidratlar, proteinler, yağlar) daha basit organik yapılara (örneğin: aminoasitler, şeker, yağ asitleri) dönüştürülür. Bu aşamada fermantatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları, organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları, proteinleri ve yağları parçalayarak CO₂, asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler (Azbar ve Ark. 2013).

Asidifikasyon ve asetojenez aşamasında; birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetogenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir. Asetojenez, yani “asit oluşumu” aşamasında bu ürünler asetojen bakteriler tarafından biyogazın öncül maddelerine (asetik asit, hidrojen ve karbondioksit) dönüştürülür. Bu bağlamda kısmi hidrojen basıncı büyük önem taşımaktadır. Fazla yüksek hidrojen miktarı enerjisel nedenlerle asetojenezin ara ürünlerinin bozunmasını engeller (Nasl 2015).

Metajenez Aşaması; anaerobik fermantasyonun son aşamasıdır burada metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO₂ ve H₂'yi kullanarak metan (CH₄) ve su (H₂O) açığa çıkartırlarken (1) , başka grup metan oluşturan bakteriler ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadırlar. (2).



Ancak bu aşamada birinci yolla oluşan metan miktarı, ikinci yolla elde edilen metan miktarından azdır. Anaerobik reaktörlerde üretilen metanın yaklaşık olarak %30'u H₂ ve CO₂'den; %70 ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır.

H₂ ve CO₂'den metan üreten arkeler, asetik asit kullanan arkelere oranla çok daha hızlı çoğalmaktadırlar. Dolayısıyla ortamda yeterli H₂ ve CO₂ bulunduğu sürece bu yolla metan üretimi sürer.

Biyogaz üretimini etkileyen bir çok unsur vardır. Bu unsurlar, gazın içeriğini ve reaktördeki bakteriyel etkinlikleri ve dolayısıyla üretilen biyogaz miktarını ve elde edilecek enerjiyi etkilemektedir (Nasl 2015).

Biyogaz üretimini etkileyen unsurlar aşağıda verilmiştir;

- Atığın kompozisyonu
- C/N oranı
- pH ve tamponlanma kapasitesi
- Reaktör sıcaklığı
- Hidrolik alıkoyulma süresi
- İnhibitör maddeler
- Toksikite
- Karıştırmanın etkisi

Atığın kompozisyonu: Biyogaz üretimi için en önemli etkenlerden biri reaktöre beslenen hammaddedeki katı madde derişimi ve hammaddenin kimyasal yapısıdır. Reaktör içerisinde metanojenlerin hareketliliği ferment ürün katı içeriği tarafından etkilenmektedir. Büyük molekül yapısındaki parçacıklar, mikroorganizmaların bulunduğu ortamda biyokimyasal olarak daha zor ve uzun bir sürede parçalandığından anaerobik sistemlerde sistem verimini sınırlayan basamağı olan hidroliz basamağını etkiler. Bu yüzden gaz üretimi olumsuz yönden etkilenmektedir. Biyoreaktöre hammadde beslenmeden önce, hammaddelerdeki büyük ve küçük parçacıkların eş dağılımlı olmasını sağlamak için parçalayıcı kullanarak bu ortamı sağlanabilir. Böylece sistem verimi artırılmış olur. Bu nedenle katı madde yüzdesi uygun bir aralıkta seçilmelidir. Bunun için hammaddeler su ile seyreltilerek katı miktarı uygun bir aralığa getirilebilir (Nasl 2015).

C/N Oranı: Karbon (C) anaerobik bakteriler için enerji kaynağıdır, azot (N) ise bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir. $C/N < 16$ durumunda; fazla amonyak üretimi sebebiyle biyogaz üretimi olumsuz etkilenir. $C/N > 25$ durumunda; azot eksikliği anlamına gelir ve anaerobik bakterilerin metabolik faaliyetlerini olumsuz etkilenir. Biyogaz üretilen atıklarda C/N oranı 16-25 olmalıdır (Nasl 2015).

pH ve tamponlanma kapasitesi: Anaerobik bakterilerin, baskın grubu olan asit üreten mikroorganizmaların optimum büyüme koşulu ise pH 5,5-6,5 aralığındadır. Metan bakterilerinin en uygun yasama aralığı pH 6,5-8,0 arasındadır. (Azbar ve ark. 2013).

Ancak, metan bakterilerinin optimum pH aralığı düşünülecek olursa, tek kademeli sistemlerde, iki bakteri grubunun da beraber yaşayabileceği pH 6.5-8 olmalıdır .Metan üreten arkeler, pH'daki değişikliklere fermantasyon bakterilerine göre daha hassastır (Azbar ve Ark. 2013).

Reaktör sıcaklığı: Çalıştıkları sıcaklığa göre biyogaz üreten bakteriler;

- Psychophilic (Psikrofilik) Bakteriler (Optimum faaliyet sıcaklığı: 5-25 °C)
 - Mesophilic (Mezofilik) Bakteriler (Optimum faaliyet sıcaklığı: 25-38 °C)
 - Thermophilic (Termofilik) Bakteriler (Optimum faaliyet sıcaklığı: 50-60 °C)
- (Sapmaz 2017)

Sürecin ani sıcaklık değişimlerine karşı karşıya bırakılması, çeşitli metabolik grupların farklı etkilenmesinden dolayı dengesizliğe neden olur. Büyük sıcaklık değişimleri ise amonyak zehirlenmesini etkilemektedir.

Hidrolik alıkoyulma süresi: Atık içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülerek biyogaz üretmesi için gerekli olan süredir. Uçucu katının reaktörde kalış süresi anaerobik fermantasyonda en önemli etkenlerden biridir. Bu sürenin artması organik maddenin parçalanma hızını artırmaktadır. Organik maddenin bileşimine, katı oranına, reaktör türüne ve sıcaklığa bağlıdır (Nasl 2015).

Inhibitör maddeler: Substrat içerisinde, biyolojik reaksiyonları etkileyerek biyogaz verimini etkileyen bazı inhibitör ve toksik maddeler mevcut olabilmektedir. Özellikle yüksek katı madde içeriği ile işletilen reaktörlerde, toksik etki yaratan maddelerin miktarları tayin edilmeli, düzenli olarak ölçülmelidir.

Toksisite: Kullanılan atık biokütle kaynaklı bazı maddeler veya proses sırasında oluşan ürünler biyogaz üretiminde inhibisyona sebep olabilir. Protein ve amino asit gibi organik maddelerin anaerobik ayrışması sonucu NH₄ (amonyum) açığa çıkar. Azotça zengin sanayi atık sularında problem oluşturur. Anaerobik reaksiyonlar sonucu organik maddenin yapısındaki organik azot, amonyağa dönüşmektedir. Amonyak, sistemde ortamın pH 'sına bağlı olarak NH₄⁺ iyonu şeklinde veya iyonlaşmamış yapıda bulunabilir (Kavacık 2007).

pH ve Amonyak Derişim İlişkisi: 6,5'lik bir pH değerinin 8,0'e yükselmesi, serbest amonyak derişiminin artmasına neden olur. Nötr pH'da, ortamda amonyuma göre 99 kat az olan amonyak iyonları, pH seviyesinin 9 olarak okunduğu ortamlarda amonyuma göre 2,33 kat az hale gelir.



Fermantördeki sıcaklık yükselişi de engelleyici amonyak yönünde bir denge kaymasına neden olur (Çiçek 2014).

Karıştırmanın etkisi: Biyogaz üretilen birçok atık içerisindeki fiziksel özelliklerden dolayı tepkime süresince diğer başka atıklarla ya da bulamaçla bire bir etkileşmesi için karıştırılması gerekir. Aynı şekilde beslemenin içinde bulunan büyük parçacıkların küçültülmesi ve kütle aktarım dirençlerinin azaltılması için de karıştırmaya gerek duyulmaktadır. Eğer besleme içinde topaklaşma varsa, biyogaz üretimi düşer. Bu nedenle biyogaz sistemlerinin sürekli karıştırılması gerekmektedir (Nasl 2015).

1.2.Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık Hammaddeler

Biyogaz üretiminde organik içeriği yoğun olan her türlü atık hammadde olarak kullanılabilir. Kullanılacak olan hammadde içeriğine göre oluşacak gazın metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) oranları değişmektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Sektörlere Göre Biyogaz İçeriklerinin Karşılaştırması

Gaz Bileşeni	Birimi	Biyogaz Kaynağı		
		Tarımsal Biyokütle	Arıtma Çamuru	Çöp Deponisi
CH ₄	%	60-70	55-65	45-55
CO ₂	%	30-40	35-45	30-40
N ₂	%	<1	<1	5-15
H ₂ S	ppm	10-2000	10-40	50-300

Organik içerikli atıkları bitkisel, şehir ve endüstriyel atıklar ve hayvansal atıkları olarak sınıflandırabiliriz.

Bitkisel Atıklar: İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen atıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Bitkisel atıkların kullanıldığı biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında proses kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kırsal kesimlerde bitkisel atıklardan biyogaz üretimi önerilmemektedir (Anonim 2011).

Organik İçerikli Şehir Ve Endüstriyel Atıklar: Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözülmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır (Anonim 2011).

Hayvansal Atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk, vizon gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır (Anonim 2011).

Hayvanlar yemdeki besin maddelerinin en fazla %45'inden yararlanabilirler ve bitki besin maddelerinin yarısından fazlası dışkıya geçer (Tuluk 2007).

Büyükbaş ve küçükbaş (Ruminant) hayvan atıklarında; bulunan yüksek miktardaki lignin, biyolojik çözünürlüğü düşük bir maddedir. Büyükbaş hayvan atığının biyolojik çözünürlüğü, farklı atıkların da etkisiyle %40-50 aralığında değişmektedir. Hayvan atıklarının endüstriyel veya tarımsal başka organik atıklarla karıştırılması, hidroliz sürecini de etkilemekle beraber, büyükbaş hayvan atığının biyogaz potansiyelinde %50'ye varan artışlara neden olabilmektedir (ASAE 2003). Ayrıca, büyükbaş hayvan çiftliklerinde, kullanılan altlık malzemesi C/N oranını değiştirir ve sistemin biyogaz potansiyelini artırır (Eghball 1994).

Tavuk atıkları, ayrışmaya uğramamış besin ve metabolizma atıklarının yanında, yataklık malzemesini de içerir. Otçul hayvanların sindirim sisteminden geçen ürünler, kolay ayrışabilir karbon miktarlarını büyük ölçüde kaybetmişlerdir. Tavuk atıklarının pH değerleri, hafif asidik karakter gösterebilir de, ruminant hayvanların atıklarının genel pH değeri nötr seviyelerine yakındır. Tavuk atığının diğer hayvan atıklarından en önemli farkı, tavuğun bilinen bir fizyolojik özelliğinin bir sonucudur. Tavukta üreme organları, kalın bağırsaklar ve idrar yolları aynı delikle (kloak) dışarı açıldıklarından, dışkı idrarla karışmış olarak dışarı atılır ve bu nedenle azot bakımından oldukça zengindir. Bu azot bileşiklerinin anaerobik ayrışması sırasında, yüksek miktarlarda serbest amonyak ve amonyum iyonlarının üretimi ve pH değerine bağlı olarak da amonyak inhibisyonu oluşabilmektedir (Azbar ve ark. 2013).

Vizon atıkları da tıpkı tavuk gübresi gibi biyogaz üretimine karşı inhibitör olarak görev yapan yüksek bir amonyak içeriğine sahiptir. Vizon gübresi yüksek besin değeri ile bilinir. Bir ton vizon gübresi 25.3 kg fosfor, 6.6 kg amonyum ve 3.4 kg potasyumdan oluşur. Bu yüksek besin değerlerinin sebebi, vizonların etobur olmasıdır. Beslendikleri maddeler, gübrelerinin kükürt içermesini sağlar (Anonmous 2016). Vizon gübresinin lignin içeriği inek gübresine göre daha düşüktür, ve bu oran, %10,8'dir (Anonmous 2011). Taze vizon gübresi, kuru maddesinde % 16.7 oranında azot içeriğine sahiptir ve düşük karbon içerir. Karbon azot oranı C/N = 7:1'dir. Bu nedenle vizon gübresinin çevreye azot emisyon riski daha düşük azot içeriğine sahip (kuru maddesinde %2-3) inek gübresiyle kıyaslandığında çok daha yüksektir.

Vizon gübresi düşük karbon oranı nedeniyle; karbon açısından zengin atıklar (talaş, saman, çimenler, at gübresi, inek gübresi vb. ile karıştırılmalıdır ve karbon/azot oranı artırılmalıdır. Bu vizon gübresinin anaerobik sindirim için daha en uygun bir hale gelmesini sağlar (Dubrovskis 2009).

Anaerobik mikroorganizmalar için azot çok önemlidir ve anaerobik aktiviteyi azaltmamak için en az 40-70 mg/L arasında olmalıdır. Öte yandan, yüksek oranda amonyak

konsantrasyonu anaerobik sindirim sürecini engeller. Özellikle protein ve üre açısından zengin olan vizon ve tavuk gübresi gibi organik maddelerden elde edilen yüksek konsantrasyonlu amonyak, anaerobik bozunması sırasında üretilir ve metanojenez sürecini inhibe eder (Anonmous 2011).

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretimi konusunda yapılan ilk çalışmalarda ruminant hayvan gübresi kullanılmıştır. Zaman içerisinde edinilen tecrübelerle, fermantasyon işleminde farklı atık türlerinin gübre ile birlikte kullanımı gündeme gelmiştir (Tıraş 2017).

Bu tezin amacı, kanatlı ve vizon gübresi gibi yüksek azot içerikli gübrelerden biyogaz üretimi sırasında ortaya çıkacak amonyak toksitesini gidermek böylece bu tür hayvan gübrelerinin biyogaz sürecine etkin bir şekilde katmaktır. Bu amaçla dört karışım için biyogaz üretimi yapılmıştır. Bunlar; büyükbaş gübresi-mısır silajı, kanatlı gübresi-mısır silajı, büyükbaş gübresi-vizon gübresi-mısır silajı, kanatlı gübresi-vizon gübresi-mısır silajı'dır. Çalışmada ayrıca karışım materyallerinin de ayrı ayrı biyogaz üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda kanatlı hayvan üretiminin artışıyla bunların gübrelerinden biyogaz üretimi birkaç proje ile araştırılmış ve uygulamaya geçilmiştir. Ancak, hakkında oldukça az sayıda çalışma yapılan vizon gübresi de bu çalışmaya eklenmesiyle bu araştırmayı özgün kılmıştır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Alibaş (1996) yaptığı çalışmada; 25, 34, 44 ve 52°C fermantasyon sıcaklıklarında, kesikli tip reaktörlerde; sığır gübresi, tavuk gübresi ve arpa sapının metan verimlerini karşılaştırmıştır. 44 ve 52°C'de uçucu kuru madde başına en fazla biyogaz üretimini arpa sapında bulmuştur. Fakat oluşan biyogazların metan yüzdesinin çok düşük olduğunu saptamıştır. Biyogaz 44°C'de oluşmuş ve % 45,81 oranında metan içermektedir, 52°C'de oluşan biyogazın %40,79 oranında metan içerdiğini saptamıştır.

Bujoczek ve ark. (2000), yüksek azot içeriğine sahip tavuk atıklarının oksijensiz ortamda fermantasyonunu incelemiştir. Toplam katı madde içeriği %21,7 olan tavuk atığı, 160 ml'lik şişelerde, 35°C ortam sıcaklığında, 17 hafta boyunca farklı seyreltmeler ve farklı substrat/aşı oranlarında incelemiştir. Farklı iki aşı kullanılarak yaptıkları çalışmaları, %5-21,7 toplam katı madde içeriklerine sahip reaktörlerde gerçekleştirilmişlerdir. Anaerobik arıtma çamuru ve anaerobik ortamda 6 ay bekletilmiş tavuk atığı, sistemlerde kullanılan iki aşı çeşididir. Çalışmalar sonucunda, arıtma çamurunun tavuk atığına göre daha iyi nitelikte bir aşı olduğunu saptamışlardır. Ayrıca %10,3 katı madde oranının; tavuk atıklarının çürütülmesi için en uygun yüzde olduğu saptanmışlardır. Bu katı madde oranını; %40 gübre, %60 anaerobik çürütme çamuru ile sağlamışlardır. Böylece bu karışımla çalışmalar arasında en yüksek biyogaz değeri olan 473 ml/g UKM değerini elde etmişlerdir. Sadece taze gübre ile %5 toplam katı madde oranında; biyogaz verimi 548 ml/g UKM bulunmuştur. Serbest amonyakın 250 mg/L seviyesinin üzerine çıkmasıyla metan üretimini durdurduğunu belirtmişlerdir.

Sadaka ve arkadaşları (2000), domuz, kümes hayvanları ve sığır dışkılarının anaerobik olarak ayrışması konusunda çalışma yapmıştır. Hayvan dışkılarından biyogaz üretim potansiyelini değerlendirmek amacıyla, kesikli anaerobik reaktörde ayrışma sürecini araştırmıştır. Bekletme süresinin ve başlangıçtaki toplam katı içeriğinin biyogaz dönüşümüne etkisini incelemiştir. Ayrıca domuz, kümes hayvanları ve sığır dışkılarının fermantasyonu sırasında katı miktarındaki azalmayı incelemiştir. Uçucu katı maddedeki (UKM) azalma, reaktördeki başlangıç katı içeriğinin azalmasıyla az bir oranda artmıştır. Ayrışma sırasında pH değerleri sabit ve anaerobik ayrışma için uygun oranda tutulmuştur. Tüm dışkı türlerinde; reaktördeki katı içeriğinin azalmasıyla, biyogaz üretiminin arttığını gözlemlemiştir. En düşük başlangıç katı içeriği (%12-14) olan domuz dışkısı daha çok biyogaz üretmiş, fakat bu değer başlangıçta yüksek katı içeriklerine sahip dışkı türlerinden üretilen biyogaza göre çok az bir farklılık göstermiştir. Sonuçlara göre düşük katı içerikleri ile uygun biyogaz üretim hızı ve

uygun UKM azalması elde etmek için, mikroorganizma nüfusunun ortama alıştırılması gerektiğini belirtmiştir.

Callaghan ve ark. (2002), sığır atığına değişik oranlarda ekledikleri tavuk atığı ve meyve ve sebze atıkları ile tam karışimli anaerobik reaktörlerde metan oluşum performansını incelemiştir. Kullanılan atıkların su içerikleri; meyve ve sebze atığı için %90'a, tavuk atığı için %85'e, sığır atığı için %92,4'e yükseltilmiştir. 18 litrelik reaktörlerde ve 35°C sıcaklıkta bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sığır atığını öncelikle diğer atıklarla karıştırmadan, 4 ay süre ile tek başına çalıştırmıştır. Reaktörde bekleme süresi tüm karışımlar için 28 gün olarak seçilmiştir. Karışımdaki meyve ve sebze oranının ağırlıkça yüzdesi %20 iken oranın %50'ye çıkarılmasıyla; 0,23 L/kg UKM olan biyogaz verimi 0,45 L/kg UKM'a çıkmıştır. Sığır ve tavuk atıkları ile işletilen reaktörlerde; artırılan tavuk atığı oranı, sistemin biyogaz üretim ve katı madde giderim verimini olumsuz etkilemiş ve bu etkinin nedeninin amonyak inhibisyonu olduğunu rapor etmiştir.

Anozie ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmalarında 280 L pilot ölçekli kesikli biyogaz reaktörü kurmuşlardır. Bekleme süresi 40 gün olan dört farklı atıktan biyogaz üretimini incelemiştir. Reaktör hacminin yarısı (140 litre) kullanılmıştır. Atık olarak tavuk dışkısı, mısır sapı, sığır dışkısı ve bunların karışımını (aynı miktarlarda alınarak) kullanmıştır. Her nemli atıktan 48,9 gram alarak 1:1 oranında suyla karıştırmıştır. Günlük ortalama gaz üretimi en fazla (137 L) tavuk dışkısından, en az ise (16,38 L) mısır sapından elde edilmiştir. Sığır dışkısından günlük ortalama 17,78 L ve karışımdan 18,16 L biyogaz elde edilmiştir. Biyogaz üretimi tavuk dışkısından ikinci günde, mısır sapından altıncı günde, sığır dışkısından üçüncü günde başlamıştır. Reaktörün pH değeri 6,7–7,4 arasında ve sıcaklık ise 25°C – 29°C arasında değişmiş olup üretilen biyogazın %60 oranında metan içerdiğini saptamıştır.

Gül (2006) çalışmasında; tavuk gübresinden laboratuvar ölçekli anaerobik çürütme reaktörleri ile biyogaz üretim potansiyelini incelemiştir. Reaktörler sıcaklığı elektrikli ısıtıcı ile $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de tutulan su banyosuna yerleştirilmiştir. Çalışmalarını 2 etap halinde yürütmüştür. İlk etapta aşı oranını %10'da (hacimce) sabit tutularak katı madde oranları %2.5, %5, %10 ve %15'e ayarlamıştır. İkinci etapta ise katı madde oranı %10'da tutarak, aşı oranlarını %0 ve %2.5 olacak şekilde düzenleme yapmıştır. 90 gün boyunca takip edilen deneyler sonucunda katı maddenin artmasıyla birim katı madde başına biyogaz üretiminin

azaldığını, aşı oranının artmasıyla ise birim katı madde başına biyogaz üretiminin bir miktar arttığını belirlemiştir.

Kavacık (2007) çalışmasında, peynir altı suyu ve sığır gübresi karışımının litrelik bir anaerobik reaktörde, farklı alıkonma sürelerinde (5, 10 ve 20 gün) ve değişik katı madde oranlarında; anaerobik fermantasyonunu araştırmıştır. Deneysel çalışmalarında iki farklı katı madde oranı (%8 ve %10) ve iki farklı sıcaklıkta (25 ve 34°C) çalışmıştır. Her bir alıkonma süresinde günlük biyogaz üretim miktarını ve metan üretim oranını ölçmüştür. Ayrıca toplam katı madde (TKM) ve uçucu katı madde (UKM) giderim verimlerini belirlemiştir. Deney sonuçlarında; tüm deneylerde hidrolik alıkonma süresinin artışıyla, günlük biyogaz üretiminin azaldığını göstermektedir. Ancak metan üretim oranı hidrolik alıkonma süresiyle kayda değer bir değişiklik göstermemiştir. En fazla gaz üretimini ve katı madde, uçucu katı madde giderim verimlerini 34°C sıcaklıkta %8 katı madde içeren karışımdan elde etmiştir. Tüm deneylerde biyogaz içindeki metan yüzdesi %60±1 olmuştur.

Ekinci (2007) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde tavuk dışkılarının kesikli sistemde, anaerobik reaktörden alınan aşı kullanılarak; anaerobik arıtımı ve biyogaz üretim oranını incelemiştir. Bu amaçla, 250 ml hacimli 20 adet cam reaktör kullanmıştır. Reaktör içeriğini; değişik yüzdelerde tavuk dışkısı ve aşı içeren anaerobik reaktörlerden alınan arıtma çamuru oluşturmaktadır. Reaktör sıcaklığı ve pH'ı denetlemiş ve değişik tasarım koşullarını sağlamıştır. Anaerobik arıtım süresince, mikroorganizmaların etkinlikleri sonucu oluşan gazlar dereceli kaplarda toplanmıştır. Bu çalışmada, tavuk dışkılarının anaerobik dönüşümü üzerine sıcaklık, pH ve tavuk dışkısı katı yüzdesinin etkisini incelemiştir. En yüksek gaz oluşum hızını (10,17 ml/g UKM), 37°C sıcaklıkta, 6,5 pH değerinde ve 7,54 katı yüzdesinde bulmuştur.

Yazgılı (2007), küçük ölçekli kesikli anaerobik arıtım sistemi yapmak ve inek atığıyla tesisi çalıştırmak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Ayrıca atığın seyreltilmesinin, sıcaklığın ve karıştırmanın biyogaz üretimindeki etkisini görmek için bazı deneyler yapmıştır. Deneyleri 28 ± 2°C kontrollü sıcaklıkta yürütmüştür. Maksimum biyogaz verimi 10 L taze atıktan, karıştırılan reaktörde 3,115 ± 0,034 m³ kadar olmuştur. Minimum biyogaz verimi ise, gaz üretiminin başladığı günde, en düşük sıcaklıkta (20 ± 2°C) 2,152 ± 0,049 m³ kadar elde edilmiştir.

Cantrell ve ark. (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) ile anaerobik arıtmaya tabii tutulması durumunda amonyak birikimi sebebiyle proses performansında azalma olabileceğini belirtmektedirler.

Selimoğlu (2008), biyogazın inek dışkısından üretiminde en uygun koşulların belirlenmesi için iki set deney yapmıştır. Aşı olarak deneylerinde atık su arıtma tesisinden alınan çamuru kullanmıştır. Birinci set deneylerinde inek dışkısının aerobik dönüşümünde aşı miktarı ve pH'ın; asetik asit miktarındaki değişime, gaz oluşum hızına ve günlük giderilen uçucu katı madde yüzdesine etkisini incelemiştir. Büyükbaş hayvan dışkısından biyogaz üretimi için en uygun pH'ın 7,37 aşı miktarının ise 108,17 g olduğu belirlemiştir.

İkinci set deneylerinde inek dışkısının aerobik dönüşümünde katı yüzdesi ve pH'ın; asetik asit miktarındaki değişime, gaz oluşum hızına ve günlük giderilen uçucu madde yüzdesine etkisini incelemiştir. Katı yüzdesini %4 - 12 aralığında, pH ise 6,90 - 7,50 aralığında (sıcaklık, aşı miktarı sabit) değiştirmiştir. Yaptığı analizler sonucunda her bağımlı değişken için model denklikleri ve en uygun çalışma koşullarını belirlemiştir. Büyükbaş hayvan dışkısından biyogaz üretimi için (sıcaklık, aşı miktarı sabit) en uygun pH'ın 7,22, yüzde katının ise %8,07 olduğunu belirlemiştir.

Alvarez ve Liden (2009) yaptıkları anaerobik fermantasyonla biyogaz üretimi deneylerinde lama, koyun ve inek gübresi karışımlarını kullanmışlardır. İlk aşamada 5 farklı organik yükleme oranlarında (0,5-3-4-6 ve 8 kg UKM/m³gün), 18 ve 25°C'de çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, her biri 1,8 L hacimde çalışan 10 reaktör kullanmışlardır.

İkinci aşamayı ise 25°C'de en uygun organik yükleme oranında; değişik oranlarda lama, inek ve koyun gübresi ile yapmışlardır. Yüksek organik yükleme oranlı, düşük bekleme süreli ve yüksek UKM içerikli beslemenin; anaerobik fermantasyon işleminin kararlı halde kalmasında zorluklara neden olduğu bulmuşlardır. Gübre karışımının fermantasyonunda günlük biyogaz üretimini 290-570 ml, metan konsantrasyonu ise % 44-60 aralığında bulmuşlardır.

Arıcı (2009) yüksek lisans tezinde, farklı tarımsal atıkların, aynı sıcaklık koşullarındaki anaerobik fermantasyon performanslarını incelemiştir. Sığır, tavuk, koyun, keçi atığı ile silaj, çim ve biyodizel üretim prosesi artığı olan gliserinden oluşan atıkları kullanmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki karışımlarının ürettiği biyogazı, kesikli reaktörlerde

ve 37°C’de, takip etmiştir. Katı madde oranlarının yaklaşık %10 olduğu reaktörlerde, en yüksek metan verimi; 325 ml/g UKM değeri ile %50 sığır atığı ve %50 silaj karışımından elde edilmiştir. En fazla biyogaz verimini ise 560 ml/g UKM değeri ile %50 sığır, %25 koyun ve %25 silaj karışımından elde etmiştir. Gliserin, sığır atığı ve silaj karışımından oluşan reaktörlere, fermente sığır atığı eklemesi ve pH ayarlaması yapmasına rağmen biyogaz üretimi gözlememiştir. Sonuç olarak tüm reaktörlerde, ürettikleri biyogaz ile orantılı bir şekilde toplam karbonhidrat, toplam katı, uçucu katı madde değerlerinde bir azalma gözlemiştir. En fazla uçucu katı madde gideriminin, %50 sığır ve %50 tavuk atığı karışımında %40 olarak gerçekleştiğini bildirmiştir.

Fantozzi ve Buratti (2009) yaptıkları çalışmada, mezofilik şartlarda (36°C’de) hayvansal atıklarını (tavuk, büyükbaş hayvan ve domuz atıkları) ve bitkisel biyokütleyi pilot ölçekte çalıştırarak farklı atıkların biyogaz ve metan üretim verimlilikleri ile enerji içeriklerini incelemiştir. Çalışmalarının ilk kısmında hayvansal atıklarla denemeler yapmışlar, bu amaçla üç farklı hayvansal atık hem taze su hem de reaktör çıkış suyu kullanılarak belli oranda seyreltilmiş, tavuk atığı kuru madde (KM) oranı %7 olacak şekilde ayarlanmıştır. Aşı içeren tavuk atığı enerji değerleri, aşı içermeyen set ile karşılaştırıldığında birbirine oldukça yakın değer elde edildiği görmüşlerdir.

Dubrovskis ve ark. (2009), vizon gübresi ve inek gübresi ile biyogaz üretimi ve kalitesini bulmak amacıyla çalışma yapmışlardır. İşlem 4 adet kesikli reaktör kullanılarak 37°C’de yapılmıştır. Ortalama biyogaz verimi, %25 aşı (inek gübresi fermantasyonu) ve %75 inek gübresinden elde edilen 303 L/kg UKM ve metan verimini 168 L/kg UKM olarak bulunmuştur. Bu değerler taze olarak konulan inek gübresinden (%100) elde edilen verime göre %23 daha düşüktür. %75 vizon gübresi ve %25 aşıdan (inek gübresi fermantasyonu) elde edilen biyogaz verimini 730 L/kgUKM ve metan verimini 512 L/kgUKM olarak bulunmuştur. Ortalama metan oranı, inek gübresinde %56 ve vizonda ortalama %70 olarak bulunmuştur. Anaerobik sindirim sırasında ortalama organik madde içeriği; vizon gübresinde (% 74 oranında) azalmıştır ve vizon gübresinin biyogaza dönüşüm oranı inek gübresine göre % 17 daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedenini ise vizon yemlerinin inek yemlerine kıyasla daha düşük selüloz içeriği ile açıklamışlardır. Taze vizon gübresinin, C/N oranını arttırmak amacıyla karbon bakımından zengin nitrojen bakımından fakir zirai atıklarla karıştırılması gerektiğini belirtmiştir.

Abouelenien ve ark. (2010), 55°C`de ve başlangıç pH=8`de amonyağın kontrol altında tutulduğu kesikli bir reaktörde, arıtılmış ve ham tavuk atıklarından, 195-157 ml CH₄/gUKM dönüşüm oranı elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise elde edilen biyogaz dönüşüm oranları ise (341-549 ml biyogaz/gUKM) olarak belirlemiştir.

Pola (2011) çalışmasında, altlık olarak kullanılan kavuzun farklı oranlarının, tavuk gübresinden oluşan biyogaz oranına etkisini araştırmıştır. Bu amaç ile tavuk gübresini ve farklı oranlardaki kavuzu mezofilik şartlar altında karıştırmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda, kümülatif biyogaz oluşumunun, artan kavuz oranı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, metan ve karbondioksit bileşimi anlamında biyogaz kompozisyonunun; metan konsantrasyonunun artan kavuz oranı ile arttığı gözlemlenmiştir.

Göl (2012), tarımsal kökenli atıklardan ayçiçeği kabuğu ve tavuk gübresinin biyogaz üretim potansiyelini incelemiştir. Farklı miktarlardaki hammaddelerle oluşturduğu karışımları hazırlayarak anaerobik koşullarda aşı ilavesi ile mezofilik laboratuvar koşullarında fermantasyonunu sağlamıştır. Eğer tavuk gübresi ve tarımsal kökenli atıklarla oluşturulacak karışımın biyogaz üretim potansiyeli belirlenebilirse, tarımsal kökenli atık ve gübre miktarları bilindiğinden bu hammaddelerden üretilecek teorik enerji miktarını hesaplamak mümkün olabilecektir. Elde edilen sonuçlara göre bu hammaddeleri laboratuvar ölçekli çalışmalarda ya da daha büyük ölçekli ticari tarımsal biyogaz tesislerinde kullanmak mümkün olabilecektir. Çeşitli oranlardaki ayçiçeği kabuklarını, tavuk gübresini ve aşığı kullanarak çalışmalar yapmıştır. Ancak, güvenilir metan üretimini yalnızca ilk iki denemede elde edebilmiştir. Bu sonucu, ayçiçeği kabuklarının düşük orandaki biyolojik parçalanmasına bağlamıştır. Bu nedenle ön hazırlık yöntemlerini de içeren ileri çalışmaları önermektedir.

Ayhan (2013), mezofilik şartlarda biyogaz üretiminde süt sığırı gübresi ve mısır silajını farklı karışım oranlarında kullanarak elde edilecek biyogaz miktarlarını belirlemiştir. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyonun deneme süresi 120 gündür. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde 3 farklı kuru madde oranı, 3 farklı gübre/silaj oranı ve 2 farklı aşılama oranı kullanmıştır. En yüksek biyogaz üretimini 443,44 ml/g UKM olarak bulmuştur. Bu üretimi; % 6 kuru madde oranına sahip, aşılama oranı % 30, gübre/silaj oranı 3:1 olan uygulamada elde etmiştir. En yüksek metan verimini ise % 71,7 ile en yüksek silaj miktarına sahip, gübre/silaj oranı 1:3 olan karışımda elde etmiştir.

Dalkılıç (2013) çalışmasında; yumurta üretimi tesislerinden kaynaklanan tavuk atıkları ile iki aşamalı, mezofilik asetojen ve termofilik metanojen anaerobik reaktörlerinde biyogaz üretimini ve zeolitin biyogaz üretimine etkisini araştırmıştır. Öncelikle, ağırlıkça % 1,8 uçucu katı madde (UKM) (% 3 toplam katı madde(TKM) içeriğe sahip tavuk atıkları, sırasıyla 8, 12 ve 16 günlük hidrolik bekleme sürelerinde, tek ve iki aşamalı reaktör sistemine besleyerek biyogaz üretimlerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Buna göre en uygun hidrolik bekleme süresi (HBS) belirlenerek, iki adet iki aşamalı reaktör sisteminde, ağırlıkça % 2.3 UKM (% 3.8 TKM) ve % 5.85 UKM (% 8.25 TKM) aralığında konsantrasyona sahip tavuk atıklarından üretilen, biyogaz miktarı, biyogazın metan içeriğini belirlemiştir. İki aşamalı reaktör sistemlerinden birine eklediği zeolitin (10, 20, 30 g/L) biyogaz ve metan üretimine, amonyum azotu konsantrasyonuna, organik asit giderimine, toplam katı madde ve uçucu katı madde giderimine etkisini araştırmıştır. Deneyler sonucunda toz zeolitin partikül çapının 0.5 mm`den daha küçük olmasından dolayı, biyogaz ve metan üretimine, TKM, UKM ve organik asit giderimine etkisi olmadığını, ancak az da olsa amonyum azotu giderimi açısından olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek biyogaz oranı, 549 ml/g UKM/gün olarak, ağırlıkça % 2.3 (% 3.8 TKM) içeriğine sahip atık beslenmesi esnasında olmuştur. Çalışma boyunca iki aşamalı sistemlerde üretilen biyogazın metan oranı % 74-82 arasında değişmiştir.

Çiçek (2014) yapmış olduğu ‘Farklı Çiftlik Atıklarının Birlikte Çürütülmesi ve Gaz Üretim Optimizasyonu’ adlı yüksek lisans çalışmasında; farklı çiftlik atıklarının tek başına veya birlikte çürütülerek biyogaz potansiyellerini belirlemiştir. Ayrıca çürütme sonucu oluşan ürünlerin bileşimi ve biyogaz üretimini artırıcı koşulların belirlenmesi gibi konuları incelemiştir.

Çiftlik kaynaklı oluşan atıkların birlikte çürütülmesini araştırdığı çalışmaları, hacmi 500-1000 ml arasında değişen, tam karışımın ve mezofilik koşullarının sağlandığı reaktörlerde gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmalarda, sap-saman karışımının kullanıldığı altlık malzemenin büyükbaş hayvan atıkları ile kullanıldığında metan oluşum potansiyelini; %12-%17 değerleri arasında arttırdığı gözlemiştir. Ayrıca atıkların taze veya bayat olarak çürütülmesinin; metan oluşum potansiyeline etkisinin incelenmesi için yaptığı çalışmada taze çiftlik atıkları (günlük) ile hazırlanan kombinasyonların, aynı tür ve miktarda bayat olarak kullanılan atıklar (yaklaşık 14-28 gün bekletilmiş) ile kurulan kombinasyonlara göre daha fazla metan oluşturduğunu tespit etmiştir.

Optimum çürütücü koşulları için kullanılabilir azami tavuk dışkısı miktarının araştırdığı çalışmaları, 1000 ml hacimli, tam karışımın ve mezofilik koşullarının sağlandığı reaktörlerde gerçekleştirmiştir. Toplam eklenen tavuk atığı miktarının kütlece %0, %30, %60 ve %100 oranlarında olacak şekilde, büyükbaş hayvan atıkları ile karıştırmış ve dört farklı biyoreaktör düzeneği kurmuştur. Tavuk dışkısı içermeyen reaktörde metan üretim potansiyelinin başlangıç metan üretimine göre çok değişmediği gözlemiştir. İçeriğinin %30 ve %70 oranını tavuk dışkısının olduğu reaktörlerde, metan üretim potansiyelinin başlangıç metan üretimine göre %10-%20 arasında düştüğünü gözlemiştir. Serbest amonyak azotu miktarındaki düşüş ile metan oluşum oranlarında artış gözlemiştir. Tavuk dışkısının maksimum (%100) oranda kullanılarak işletilen reaktör, %30'u aşkın oranda metan üretim potansiyelini kaybetmiştir. Bu reaktörde gözlenen amonyak inhibisyon şiddeti en yüksek seviyededir.

Nasl (2015) yapmış olduğu laboratuvar ölçekli çalışmada; biyogaz sistemine peynir altı suyu verilmesinin ne gibi etkileri olacağı, oluşabilecek sorunların nasıl giderilebileceği incelenmiştir. Çalışmada 10 litre çalışma kapasiteli 13 litre hacminde olan reaktör kullanılmış ve çalışma boyunca sıcaklık 38°C 'de sabit tutmaya çalışmıştır. Reaktörü ilk olarak 5 litre hacim, 1/1 hayvan dışkısı ve su karışımı ile çalıştırmaya başlamıştır. Zamanla gaz oluşumunda düşüşler olduğunu gözlemiştir; öyle ki 4.gün hiç bir gaz çıkışı olmamış sistem tümüyle durmuştur. Bu durumda pH ayarlaması yapıp NaOH eklenerek pH'ı 5.40 dan 7.00' ye kadar yükseltmiştir. İlk gaz ölçümü 48.gün yapmış ve gazın %12.07 CH₄ içerdiği belirlemiştir. Ortamda tampon oluştuktan sonra büyükbaş hayvan dışkısının içerisinde yer alan ve gaz oluşumunu sağlayan bakterilerin yeterli olmadığı düşünmüş reaktöre hacminin %20'si kadar (yaklaşık 2 litre) aşı eklenmiştir. Anaerobik aşı eklendikten 7 gün sonra ikinci gaz ölçümünü yapmış, mavi alevle yanan ve %43 CH₄ içeren biyogaz elde etmiştir. Sistemin çalışmasının 61. gününden itibaren hayvan dışkısı ile birlikte peynir altı suyu günlük 40 ml miktarda eklenmeye başlanmıştır, fakat peynir altı suyunun içinde bulunan, mikroorganizmaların beslenmesi için gerekli olan minerallerin azlığı dolayısıyla (özellikle Ni-Co) geçen zamanda reaktörde üretilen biyogazın % CH₄ içeriğinde düşüş gözlemiştir. Öyle ki peynir altı suyu eklendikten iki hafta sonra gaz ölçümü yapmış ve %36.97 CH₄ belirlemiştir. Son olarak reaktör karışımına melas eklemenin etkisi incelemiştir. Günlük 4 g sisteme vererek bakteri aktiviteleri üzerinde olan etkileri incelemiştir. 10 gün boyunca melas eklendikten sonra son gaz ölçümü yapmış ve üretilen biyogazın metan içeriği %49 olarak belirlemiştir.

Sapmaz (2017) tez çalışmasında, sadece yumurta üretiminin gerçekleştirildiği bir tavuk çiftliğinden kaynaklanan hayvansal atıkların, mezofilik sıcaklıkta (35°C), farklı katı madde (TKM) oranlarında işletilen anaerobik kesikli test düzenekleri ile ilk olarak optimum katı madde yükleme oranını belirlemiştir. Daha sonra, belirlenen optimum TKM oranında yarı-sürekli anaerobik bir sistem işletmiş ve yine tavuk atıklarının havasız arıtılabilirliği ile biyogaz potansiyeli araştırmıştır. Böylelikle, tavuk atıklarının havasız arıtımının gerçekleştirildiği gerçek ölçekte işletilen sistemlerde gözlenebilecek işletme problemlerinin daha temsil edici bir şekilde ortaya konmasını amaçlamıştır.

Çalışma sonuçları mezofilik şartlarda (35°C) farklı katı madde oranlarında işletilen anaerobik kesikli test düzeneklerinde en yüksek biyogaz verimini, TKM= %5.6 olan biyoreaktörde beslenen yaklaşık 239 l/kgUKM olarak göstermiştir. Kesikli çalışma sonuçlarına göre elde edilen optimum TKM oranında işletilen yarı-sürekli diğer bir anaerobik sistemde ise günlük ortalama biyogaz üretimi 670 ml/gün olarak elde edilmiştir.

Tatal (2017) yaptığı çalışmada, havasız kesikli testlerde, sıcaklığın (mezofilik ve termofilik), inokulum substrat (I/S) oranlarının ve farklı inokulumların metan üretimini araştırmıştır. En yüksek metan verimi (278±12 mlCH₄/g UKM), destekleyici olarak anaerobik aşı çamuru ve inek rumen sıvısı içeren, mezofilik sıcaklıkta ve I/S oranı 1/2 olarak işletilen çürütücüde bulunmuştur. Bir sonraki en yüksek metan verimi, aynı I/S oranına sahip, anaerobik aşı çamuruyla aşılınmış, termofilik çürütücüde (259 ± 12 mL CH₄/g UKM) elde edilmiştir. Hidrojenotrofik metanojenlerin göreceli oranları asetotrofik metanojenlerinkinden daha fazla olduğu için tüm çürütücülerde hidrojenotrofik metanojenez tercih edilmiştir. Sonuçlar, termofilik anaerobik çürütücülerde ekstra enerji girişi yerine farklı inokulumların kombinasyonu ile metan veriminin geliştirilebileceğini göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışması Selanik- Aristoteles Üniversitesi Ziraat Orman ve Çevre Fakültesine ait Tarımsal Yapı ve Ekipmanlar laboratuvarında, Nisan 2018 ve Temmuz 2018 tarihleri arasında yapılmıştır.

Çalışmada, biyogaz hammadde olarak büyükbaş gübresi, kanatlı gübresi, vizon gübresi ve mısır silajı kullanılmıştır.

Reaktörlerde hammadde karışımları aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir;

- KB: Büyükbaş gübresi (%60)+ mısır silajı (%40)
- KBV: Büyükbaş gübresi(%30) + vizon gübresi(%30)+ mısır silajı (%40)
- KBK: Büyükbaş gübresi (%30)+ kanatlı gübresi(%30)+ mısır silajı(%40)
- KKV: Kanatlı gübresi (%30)+ vizon gübresi(%30) + mısır silajı(%40)

Sonuçların sağlıklı olarak değerlendirilmesi için karışımlara katılan her bir hammadde tek tek reaktörlere alınmış ve gaz üretimleri izlenmiştir. Bunun için, vizon gübresi (HV) bu çalışma kapsamında yapılırken, büyükbaş gübresi (HB), kanatlı gübresi (HK) ve mısır silajı (HM) ise aynı laboratuvarında ve aynı dönemde yapılan bir başka çalışmanın sonuçları kullanılmıştır (Vitoulis 2018).

3.1. Atıkların Karakterizasyon Analizleri

Atıklardan oluşturulacak karışımların karakterizasyonu için toplam katı madde (TKM), uçucu katı madde (UKM), Kjeldahl Azotu (TKN) ve Amonyum Azotu (NH₄-N) analizleri yapılmıştır. TKN ve NH₄-N analizleri hizmet alımı yoluyla yaptırılmıştır.

Toplam katı madde (TKM)

TKM analizleri Anonmous. (2005)'e göre yapılmıştır. Bunun için her atıktan üçer adet 100 g örnekler alınmış ve 105°C'de 24 saat etüvde (precision scientific marka U.S.A menşei) kurutulmuştur (Şekil 3.1). Kurutma sonucunda örneklerde oluşan ağırlık kayıpları belirlenmiş ve her atığın TKM'si örneklerin ortalamaları alınarak Eşitlik 3.1'de olduğu gibi hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Toplam katı madde içeriğinin belirlenmesi

$$\%TKM = \frac{(Kurutma \text{ sonrası ağırlık} - Dara) * 100}{(Kurutma \text{ öncesi ağırlık} - Dara)} \quad (3.1)$$

Uçucu katı madde (UKM)

UKM, TKM'nin organik kısmını temsil etmektedir. UKM analizi Anonmous. (2005)'e göre belirlenmiştir. UKM, örneklerin 550°C'de fırında(LAC Ht60B Singapur menşeli) 2 saat yakılması sonucu gözlenen ağırlık kaybının belirlenmesi ile ölçülmüştür (Eşitlik 3.2). Bu amaçla her bir atık için üçer kere 1'er g'lık kuru madde örneği alınmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Uçucu katı madde içeriğinin belirlenmesi

$$\%UKM = \frac{(Yandıktan sonraki ağırlık - Dara) * 100}{(Yanmadan önce ağırlık - Dara)} \quad (3.2)$$

Kjeldahl Azotu (TKN) ve Amonyum Azotu (NH₄-N)

Bu analizler Yunanistan'ın Selanik ilinde Q-Lab laboratuvarından hizmet alımı yoluyla yaptırılmıştır. Analizde Kjeldahl yöntemi ile Kjeldahl azotu ve Amonyum Azotu tayini yapılmıştır. Yöntem kısaca şu şekildedir:

Kjeldahl yöntemle yakma aşamasında öğütülmüş ve iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiş örneklerden tartılarak alınan numuneler kullanılmaktadır. Bu aşamada alınacak örnek miktarı, analizi yapılacak olan materyalin N içeriğine bağlı olup örnekten 0,1-0,3 g tartılmış ve Kjeldahl yakma tüplerine aktarılmış konsantre sülfürik asit ve potasyum sülfat, bakır sülfat ve selenyum karışımından oluşan bir tablet karışımıyla sıcaklığı termostatla ayarlanan bir yakma bloğuna yerleştirilmiş tüpler içerisinde 385° C de 120 dakika süreyle tepkimeye sokulmuştur. Bu aşamada örnek içerisindeki organik madde yanarak parçalanmakta olup ve tüm organik azot, bileşiklerindeki N-NH₄⁺ biçiminde açığa çıkarak asidik ortamda (NH₄)₂SO₄ olarak tutulur.

3.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) Belirlenmesi

Atıkların metan üretim potansiyelini belirlemek amacıyla yapılan BMP testleri Kalamaras ve Kotsopolous (2014) tarafından uygulanan yöntemle göre yapılmıştır. Bunun için inokülüm kontrolü ve ardından reaktör dolumu yapılmıştır. Gaz üretimi başlangıcından sonra üretilen gaz izlenmiştir. Çalışmada ayrıca belirli periyotlarda üretilen gazların analizleri de yapılmıştır.

İnokülüm Kontrolü

Bu çalışmada kullanılan inokülüm, Selanik'te bulunan Agro Energy firması tarafından işletilmekte olan olan BIOGAS LAGADA SA tesisinden alınmıştır. Tesisten alınan inokülümler mezofiliktir.

İnokülüm içinde mevcut bulunan biyobozunur organik materyali tüketmek için önceden 37°C'de inkübatörde metan üretimi bitinceye kadar inkübe edilmiştir. (Şekil 3.3).



Şekil 3.3.İnokülümün inkübasyonu

Reaktörlerin Dolumu ve İnkübasyonu

Çalışmada kesikli tip reaktör kullanıldığı için farklı zamanlarda sonlandırılabilir şekilde deney setleri tasarlanmıştır. Bu kapsamda, toplam hacimleri 500 mL olan 16 adet cam test şişesi reaktör olarak kullanılmıştır. Cam reaktörler, 350 mL'lik bir çalışma hacminde kullanılmıştır.

Karışımların kullanıldığı her bir reaktöre (KB, KBV, KBK ve KVK) inokulum ve karışımlar ayrı ayrı UKM'leri 7 g olacak şekilde konulmuştur. Her bir karışım içindeki hayvansal atık - bitkisel atık oranı ise %60 : 40 tutulmuştur (Kalamaras ve Kotsopolous 2014). Reaktörlere inokülüm ve karışım konulduktan sonra üzerlerine su eklenerek 350 mL'ye tamamlanmıştır.

Hammaddelerin ayrı ayrı konulduğu reaktörlerde (HV, HB, HK ve HM) inokulum ve ham madde ayrı ayrı UKM'leri 1'er g olacak şekilde konulmuştur. Bu reaktörlerde de inokülüm ve hammadde konulduktan sonra üzerlerine su eklenerek 350 mL'ye tamamlanmıştır (Owen 1978; Lesteur 2010).

Çalışmada bir reaktöre ise sadece inokülüm konulmuştur (HI). Karışım ve ham maddeler için biyogaz verimi bu reaktörün biyogaz veriminin çıkarılmasıyla bulunmuştur. Bu reaktördeki inokülümün UKM'si 7g olarak konulmuştur. Reaktörün toplam hacmi inokülüm üzerine su eklenerek 350 mL'ye ulaşılmıştır (Angelidaki ve ark. 2009)

Tüm karışım ve hammadde reaktörlerinin yükleme oranı ve reaktörler için $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri her bir reaktör için yükleme oranlarından hesaplanmış olup Çizelge3.1'de verilmiştir.

Reaktörler kapanmadan önce reaktörlerin içerisinde saf azot gazı (N₂) geçirilerek anaerobik koşullar sağlanmıştır. Ardından tüm şişeler kauçuk tıplar ile sıkıca kapatılmıştır.

Reaktörler bir inkübasyon dolabına konularak 50 gün süresince muhafaza edilmiştir. Dolabın iklimlendirmesi termostatik rezistanslı bir fan sistemi gerçekleştirilmektedir. Dolap içinde reaktörler çürüme süresi boyunca 37°C’de (mezofilik sıcaklığında) ve karanlık bir ortamda tutulmaktadır (Şekil 3.4).

Reaktörler deneyin başlarında her gün, metan üretimindeki azalışla beraber iki günde bir el ile çalkalanarak iyice karıştırılmıştır.

Çizelge3.1.Reaktör Yükleme Oranları

Reaktör	Ham Büyükbaş Gübresi (g)	Ham Kanatlı Gübresi (g)	Ham Vizon Gübresi (g)	Ham mısır silajı silajı (g)	TOTAL NH ₄ -N(ppm)
İnokulum Reaktörü					640000,00
KB1	60%			40%	685870,26
KB2	60%			40%	687496,65
KB3	60%			40%	685921,01
KBV1	30%		30%	40%	739069,58
KBV2	30%		30%	40%	738600,73
KBV3	30%		30%	40%	738633,43
KBK1	30%	30%		40%	718181,97
KBK2	30%	30%		40%	718269,85
KBK3	30%	30%		40%	718262,21
KKV1		30%	30%	40%	770984,27
KKV2		30%	30%	40%	771030,99
KKV3		30%	30%	40%	770747,76
HV1			100%		125774,35
HV2			100%		125888,20
HV3			100%		125774,35
HK1		100%			65017,32
HK2		100%			65017,32
HK3		100%			65017,32
HB1	100%				249947,71
HB2	100%				249947,71
HB3	100%				249947,71
HM1				100%	32853,39
HM2				100%	32853,39
HM3				100%	32853,39



Şekil 3.4.Reaktörlerin inkübatör'e konulması

3.2.1.Üretilen Biyogazın Ölçümü ve Analizi

Reaktörlerde üretilen gaz, bir hortum vasıtasıyla gaz torbalarında toplanmıştır. Torbalar her gün düzenli olarak kontrol edilmiş ve yeterli derecede şişen torbalar sıkılarak, torbalara bağlı plastik silindirlere gaz iletimi sağlanmıştır. Plastik silindirler, su dolu bir kab içinde ve su seviyesi, silindirlerin üzerinde olacak şekilde konulmuştur. Silindirlere gaz girişi oldukça, üzerlerindeki su seviyesinde yükselme olmaktadır. Silindirler beher şeklinde olup üretilen gaz hacmi günlük olarak okunmuştur. Silindirlerde toplanan gaz miktarını sağlıklı okunması için ortamdaki CO₂ gazının sudaki çözünürlüğünü engellemek gerekmektedir. Bunun için kap içindeki suya pH asidik olacak şekilde Fosforik Asit (H₃PO₄) eklenmiştir (Kalamaras ve Kotsopolus 2014).



Şekil 3.5.Gaz-su yer değiştirme prensibiyle çalışan silindirler

İnkübasyon süresi olan 50 gün boyunca ilk 15 günde oldukça fazla daha sonra da azalan miktarlarda gaz üretimi olmuştur. Silindirlere dolan gaz yaklaşık 500 mL'ye ulaştığında, silindire bağlı hortum ucuna takılan valften bir enjektör yardımıyla gazdan örnek alınmıştır (Şekil 3.7). Alınan örnekler gaz kromatografisinde analizleri yapılmıştır. Bu işlem her bir reaktör için inkübasyon süresince toplam beş kere yapılmıştır. Enjektör ile örnek alma işleminden sonra silindir içine dolan gaz boşaltılmıştır.



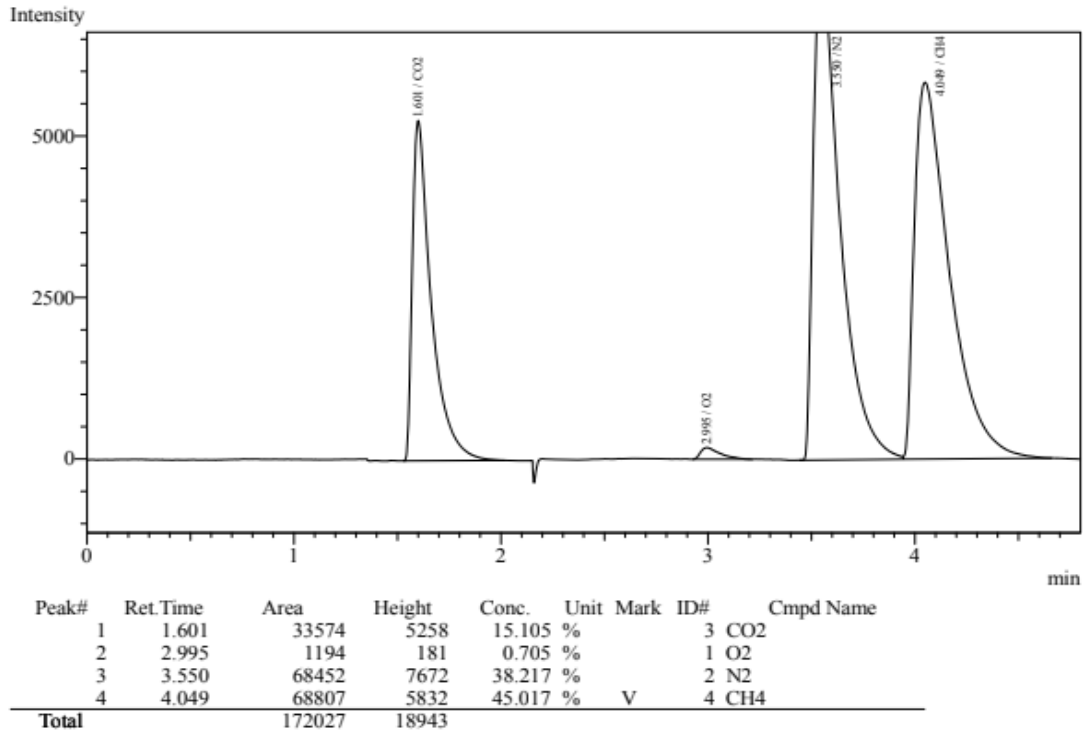
Şekil 3.6. Gazın silindirden alınması

3.2.2. Metan Veriminin Belirlenmesi

Biyogaz kompozisyonlarının analizleri, Japonya menşeli SHIMADZU marka ve GC-2010 plusAT model bir gaz kromatografisi (GC) ile yapılmıştır (Şekil 3.8). Kromatografi bir termal iletkenlik detektörü ile donatılmıştır. Cihazda taşıyıcı gaz olarak helyum (2mL/dk) kullanılmaktadır. Enjektörden 1,5 mL hacmindeki gaz örnekleri cihaza girilmiş ve biyogaz (CO_2 , CH_4 , N_2 ve O_2) analizleri yapılmıştır. (Şekil 3.9)



Şekil 3.7. Gaz kromatografisi



Şekil 3.8. Gaz Komotografisi Ölçüm Örneği

3.3. Verilerin İstatistik Analizleri

Denemelerde elde edilen veriler istatistik analizleri yapılmıştır. Gaz analiz sonuçlarının IBM SPSS programı kullanılarak bulunmuştur ve % 5 önem testine tabi tutulmuştur. Tek yönlü Anova ve Duncan testleri yapılmıştır.

3.4. pH Ölçümleri

Her reaktörün pH değeri biyogaz üretim sonunda mikroişlemci tabanlı Hanna HI 8424 (M/s. Henna Instruments, Italy) model bir pH ölçer kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.9. pH Metre

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Atıkların Karakterizasyon Analiz Sonuçlarına ait Bulgular ve Tartışma

Atıklardan oluşturulacak karışımların karakterizasyonu için toplam katı madde (TKM), uçucu katı madde (UKM), Kjeldahl Azotu (TKN) ve Amonyum Azotu (NH₄-N) analizler sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Atıkların Karakterizasyon Analiz Sonuçları

Örnek	TKM (%)	UKM (%ham madde)	NH ₄ -N (ppm)	TKN (ppm)
İnokülüm	4,94	3,54	3200	5176,5
Büyükbaş Gübresi	5,75	4,55	486	2112,6
Kanatlı Gübresi	24,40	17,51	4533	19075
Mısır Silajı	35,97	34,65	69	4300
Vizon Gübresi	43,70	32,05	11385	25000

Büyükbaş Gübresi UKM (% TKM) değeri ile ilgili literatürde benzer sonuçları Kavacık (2007) ,%83; Arıcı (2009) % 80 ve Öner (2017) % 78 olarak bulmuştur.

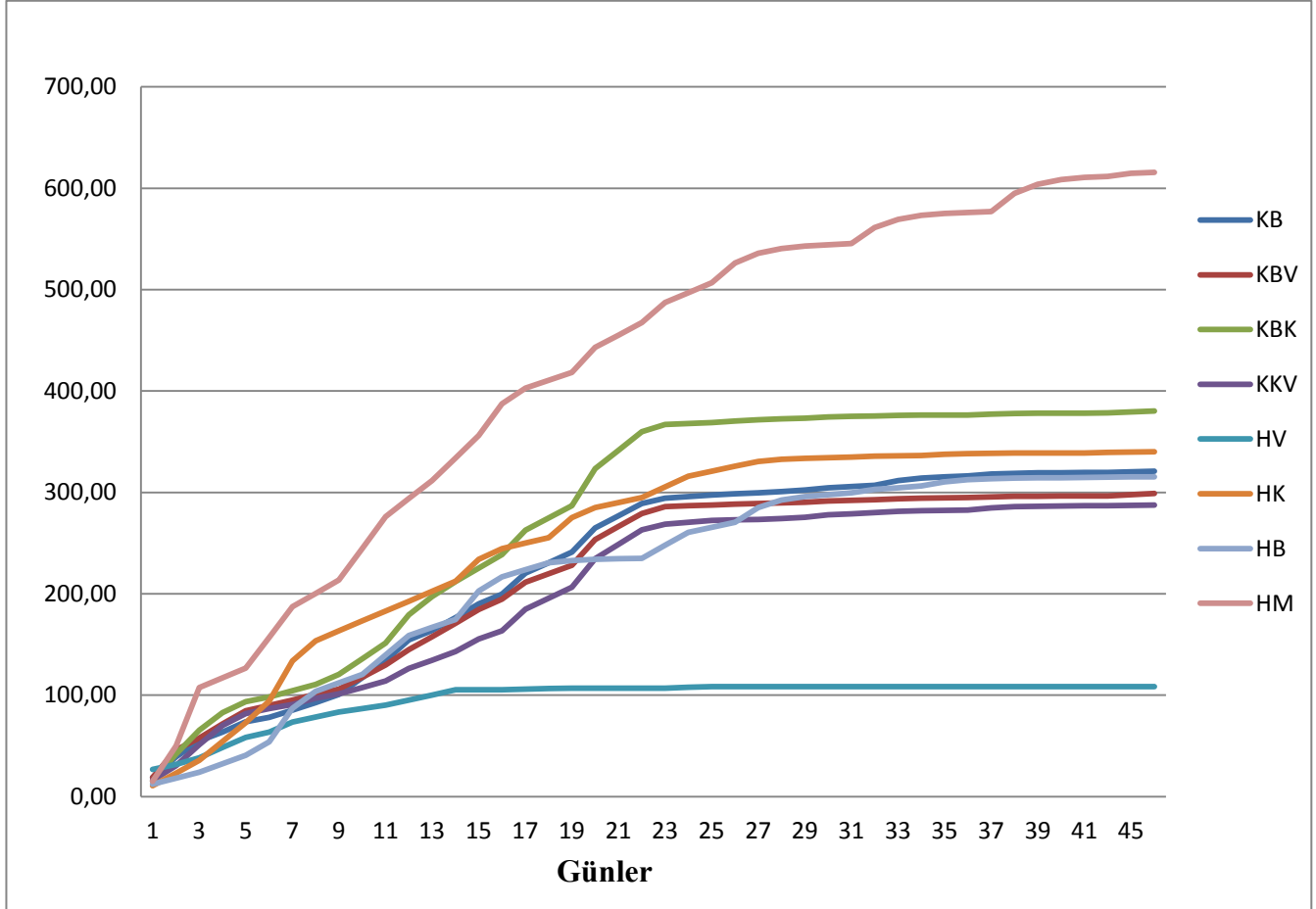
Kanatlı Gübresi ile ilgili benzer sonuçları Arıcı (2009) UKM (%TKM) %71 ve Dalkılıç (2013) TKM % 23,7 olarak bulmuştur. Sapmaz (2017) ise TKM 0,284 g/g ve UKM 0,160 g/g olarak bulmuştur.

Mısır Silajı TKM ve UKM değerleri ile ilgili benzer sonuçları Arıcı (2009) TKM: %29,5 ve UKM:% 94 ve Ayhan (2013) TKM %23,79 ve UKM % 93,57 olarak bulmuştur.

4.2. Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP)

4.2. 1. Biyogaz Verimi Bulguları ve Tartışma

Tüm reaktörler için kümülatif biyogaz verimleri (ml/gUKM) cinsinden Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kümülatif Biyogaz Verimleri

KB için toplam biyogaz verimi 320,86 mL/gUKM’dir. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Bu reaktör için $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriği 686.429,31ppm’dir. Reaktörde biyogaz verimi literatürde verilen değerlere yakın değerde bulunmuştur. Benzer sonuçları Ayhan (2013) büyükbaş gübresi ve mısır silajı karışımının biyogaz verimini 327,89 mL/gUKM bulmuştur.

KBV için toplam biyogaz verimi 298,89 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Vizon gübresi içeren reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 738.767,91 ppm’dir. KB reaktöründen daha fazla $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahiptir. Bunun nedeni vizon gübresinden kaynaklanan $\text{NH}_4\text{-N}$ ve vizon gübresinin düşük C/N seviyesine sahip olmasıdır.

KBK için toplam biyogaz verimi 380,18 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 738.767,91 ppm'dir. KB reaktöründen daha fazla $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahiptir. Fakat biyogaz üretimi daha fazladır. Burada kanatlı gübresi ve inek gübresinin iyi bir karışım olduğu söylenebilir. Arıcı (2009) yaptığı çalışmada %50 büyükbaş +%25 kanatlı gübresi ve %25 mısır silajı'nı karıştırmış ve biyogaz verimini 3 set için 317,27 mL/gUKM - 560,66 mL/gUKM aralığında bulmuştur.

KKV için toplam biyogaz verimi 287,47 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 770.921,01 ppm ve en yüksek $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahip reaktördür. Bununla beraber biyogaz üretiminde düşüş gözlenmektedir, nedeni reaktörün yüksek azot içeriğine sahip kanatlı ve vizon gübresini bir arada bulundurmasıdır.

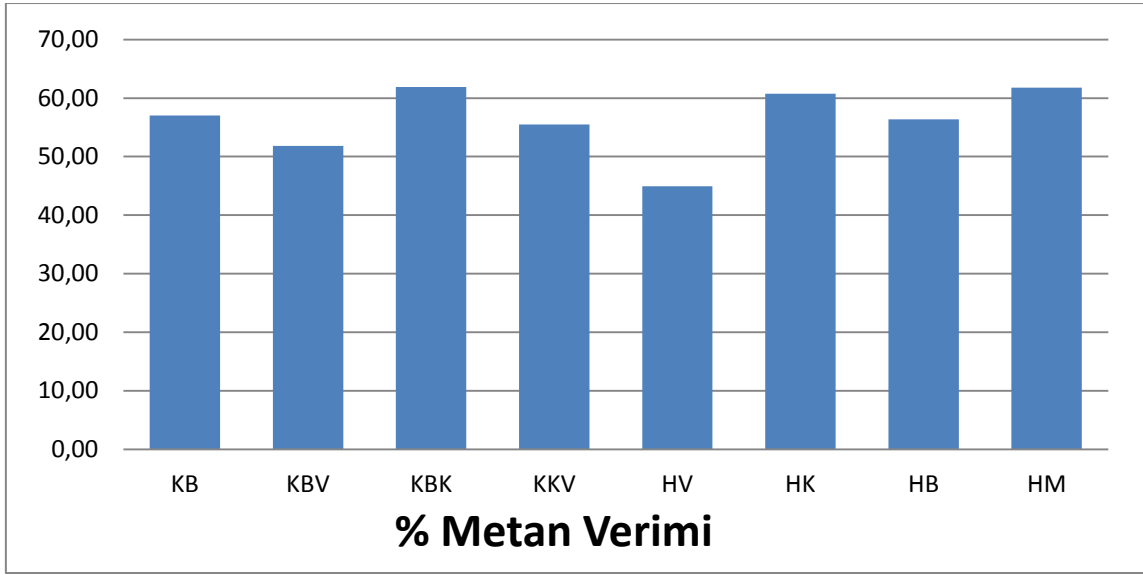
HV için toplam biyogaz verimi 108,58 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Dubrovskis (2009) yapmış olduğu çalışmada %25 inek gübresi (inokulum) ve %75 vizon gübresi ile yapmış olduğu çalışmada biyogaz verimini 725-734 mL/gUKM bulmuştur. Çalışmasında $\text{NH}_4\text{-N}$ 1500 - 3000 ppm arasında ve biyogaz verimi için inhibe edici olmayan değerlerde olduğunu belirtmiştir. Bizim yaptığımız çalışmada ise vizon reaktörü $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri 125.812,3 ppm gibi yüksek inhibe edici bir değerde bulunmuştur.

HK için toplam biyogaz verimi 339,96 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 65.017,32 ppm'dir. Karışım reaktörlerine göre daha az $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahip reaktör KBK reaktörüne göre daha az biyogaz üretme kapasitesine sahiptir. Benzer sonuçla Abouelenien ve ark. (2010) ham kanatlı gübresinin biyogaz verimini 341 mL/gUKM bulmuşlardır.

HB için toplam biyogaz verimi 315,50 mL/gUKM olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1). Reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 249.947,71ppm'dir. Karışım reaktörlerine göre daha az $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahip reaktör KB reaktörüne göre daha az biyogaz üretme kapasitesine sahiptir. Benzer sonucu Selimoğlu (2008) yaptığı çalışmada 327,00 mL/gUKM ve Kalamaras (2014) ise 320 mL/gUKM bulmuştur.

HM için toplam biyogaz verimi 615,50 mL/gUKM olarak ölçülmüştür. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) Reaktörde $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 32.853,39 ppm'dir. En düşük $\text{NH}_4\text{-N}$ içeriğine sahip reaktördür ve en yüksek biyogaz üretme kapasitesine sahiptir.

4.2.2. Metan Verimi Bulguları ve Tartışma Sonuçları



Şekil 4.2. Toplam Metan Verimleri

KB için toplam metan verimi 183,03 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %57,04'dür .(Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2).

KBV için toplam metan verimi 154,84 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı % 51,81'dir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2).

KBK için toplam metan verimi 235,24 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı % 61,88'dir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2). Arıcı (2009) metan verimini üç deney seti için 94,07-236, mL CH₄/gUKM aralığında bulmuşlardır.

KKV için toplam metan verimi 159,51 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %55,49'dur (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2).

HV için toplam metan verimi 48,80 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %44,94'dür (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2).

HK için toplam metan verimi 206,55 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %60,76'dır (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2). Çiçek (2014) metan verimini 229 mL CH₄/gUKM ve Sapmaz (2017) yaptığı çalışmada kanatlı gübresi için metan oranını %60 bulmuştur.

HB için toplam metan verimi 177,91 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %56,39'dur (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2). Kalamaras ve Kotsopolous (2014) yapmış oldukları çalışmada büyükbaş gübresi metan verimini 174 mL CH₄/gUKM ve Öner (2017) yapmış olduğu çalışmada büyükbaş gübresi için metan verimini %57 olarak bulmuştur.

HM için toplam metan verimi 380,23 mL CH₄/gUKM ve biyogaz içerisindeki metan oranı %61,78'dir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2).

4.3. İstatistik Analiz Sonuçları

Reaktörlerin toplam biyogaz verimleri istatistik test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Reaktör örnekleri arasındaki fark %5 seviyesine göre önemli çıkmıştır (f=658,80*).

Reaktörlerin toplam metan verimleri istatistik test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Reaktör örnekleri arasındaki fark %5 seviyesine göre önemli çıkmıştır (f= 479,16*).

Çizelge 4.2. Biyogaz ve Metan Verimi İstatistik Analiz Testi Sonuçları

Örnek	Biyogaz Verimi (ml/gUKM)	Metan Verimi ml CH ₄ /gUKM)
KB	320,86± 8,70 ^c	183,03±3,29 ^c
KBV	298,89±5,87 ^b	154,84±6,48 ^b
KBK	380,18±8,19 ^e	235,24±2,41 ^e
KKV	287,47±13,77 ^b	159,51±8,11 ^b
HV	108,58±2,80 ^a	48,80±1,56 ^a
HK	339,96±2,96 ^d	206,55±1,03 ^d
HB	315,50±4,39 ^c	177,91±4,19 ^c
HM	615,50±17,17 ^f	380,23±17,0 ^f

4.2.3. Reaktörlerin pH Ölçüm Sonuçları Bulguları ve Tartışma

Çizelge 4.3. pH Ölçüm Sonuçları

Reaktör	pH
KB	7,72
KBV	7,87
KBK	7,78
KKV	7,84
HV	7,34
HK	7,74
HB	7,40
HM	7,35

Reaksiyonların bitiminde ölçülen pH tüm reaktörlerde yakın değerler göstermiştir. En düşük değer 7,34 ile ham vizon gübresinin (HV) bulunduğu reaktörde, en yüksek değer ise 7,87 ile büyükbaş gübresi, vizon gübresi ve mısır silajının (KBV) bulunduğu reaktörde bulunmuştur.

Sapmaz (2017) Yüksek Azot İçerikli Organik Atıkların Havasız Arıtımı ile ilgili yaptığı çalışmada pH değeri tüm katı madde oranları boyunca 6.72-7.94 değerleri arasında değişim göstermiştir.

Ayhan (2013) çalışmasında sığır gübresi ve mısır silaj ile yaptığı çalışmalarda farklı oranlarda mısır silajı ve büyükbaş gübresi için pH değerini 7.13-7.78 arasında değişen değerlerde bulmuştur.

5. SONUÇ

Vizon gübresi, kanatlı gübresi, büyükbaş gübresi ve mısır silajının karışımlar ve ham maddeler halinde biyokimyasal metan potansiyellerinin saptandığı bu araştırmada, elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Çizelge 5.1. Sonuçlar

Örnek	Biyogaz Verimi (ml/gUKM)	Metan Verimi ml CH ₄ /gUKM)	Metan Oranı (%)	pH
KB	320,86± 8,70 ^c	183,03±3,29 ^c	57,04	7,72
KBV	298,89±5,87 ^b	154,84±6,48 ^b	51,81	7,87
KBK	380,18±8,19 ^e	235,24±2,41 ^e	61,88	7,78
KKV	287,47±13,77 ^b	159,51±8,11 ^b	55,49	7,84
HV	108,58±2,80 ^a	48,80±1,56 ^a	44,94	7,34
HK	339,96±2,96 ^d	206,55±1,03 ^d	60,76	7,74
HB	315,50±4,39 ^c	177,91±4,19 ^c	56,39	7,40
HM	615,50±17,17 ^f	380,23±17,0 ^f	61,78	7,35

Bu sonuçlara göre biyogaz verimi açısından en uygun karışım KBK(Büyükbaş gübresi + kanatlı gübresi+ mısır silajı) biyogaz verimi, 380,18±8,19 ml/gUKM'dir. Metan verimi 235,24±2,41 ve metan oranı %61,88.

Vizon gübresi tek başına çok düşük verime sahiptir. Karışım olarak bulunduğu KBV ve KKV verim açısından daha düşük orana sahiptir. Bunun nedeni yüksek NH₄-N ve nispeten daha yüksek pH'dır.

Karışımlarda en düşük verim KBV (büyükbaş gübresi+ vizon gübresi) reaktöründe olmuştur. Bu sonuçlara göre kanatlı gübresi ve vizon gübresinin bir arada bulunduğu KKV daha verimli bir karışım olmuştur. Bunun nedeni KBV 'ye göre daha düşük pH ve daha düşük NH₄-N içermesidir.

6. KAYNAKLAR

- Abouelenien, F., Fujiwara, W., Namba, Y., Namba, Y., Kosseva, M., Nishio, N., Nakashimada, Y.(2010.) Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia by biogas recycle, *Bioresource Technology*, 101; 6368-6373
- Alibaş, A. (1996). Sığır Gübresi, Tavuk Gübresi ve Arpa Sapından Sakrofilik, Mezofilik ve Termofilik Fermantasyonlarla Biyogaz Üretimlerinin ve Fermentör Enerji Bilançolarının Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve İncelemeler, No: 13:74
- Alvarez, R. Liden, G. (2009). Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *Biomass and Bioenergy* 33 (3): 527-533.
- Angelidaki I., Alves M., Bolzonella D., Borzacconi L., Campos J. L.,Guwy A.J.,Kalyuzhnyi S., Jenicek P. and van Lier J. B. (2009). Defining the biomethanepotential (BMP) of solid organicwastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays
- Anonim (Aralık 2011) . Türkiye’de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi (Türk-Alman Biyogaz Projesi). biogas-tr@giz.de www.biyogaz.web.tr (Erişim Tarihi, 14.01.2018)
- Anonmous. (2005).APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed. APHA, Washington, D.C.
- Anonmous. (2011).Characteristics of Animal Slurry as a Key Biomass for Biogas Production in Denmark. (<https://www.intechopen.com/books/biomass-now-sustainable-growth-and-use/characteristics-of-animal-slurry-as-a-key-biomass-for-biogas-production-in-denmark> (Erişim Tarihi,18.02.2018)
- Anonmous. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mink>. (Erişim Tarihi, 10.04.2018)
- Anonmous.(2016).Final report for European Project Semester Vasa. <https://eps.novia.fi/assets/Sidor/2/1545/eps-biogas-final-v4.pdf>. (Erişim Tarihi, 02.04.2018)
- Anozie, A.N. Layokun, S.K. Okeke, C.U, (2005). An evaluation of a batch pilot-scale digester for gas production from agricultural wastes, *Energy Sources*,27(14), s.13011311.
- Arıcı, Ş.(2009). Biyogaz üretiminde farklı tarımsal atıkların birlikte fermentasyonunun biyokimyasal parametreler açısından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Asae, “Manure Production and Characteristics American Society of Agricultural Engineers,” *American Society of Agricultural Engineers*, **2003**.
- Ayhan, A.(2013). Farklı Karışım Oranlarındaki Sığır Gübresi ve Mısır Silajından Mezofilik Fermantasyonla Üretilebilecek Biyogaz Miktarlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Azbar N, Dizge N, Karaalp D, Çaliskan G, Tutuk F. (2013). Kapalı Döngü Membran Destekli Biyogaz Prosesi İle Tavuk Atıklarından Temiz Enerji Üretimi. İzmir
- Bekbenbetova K. (2013). Gübre Kullanarak Anaerobik Bir Reaktörde Biyolojik Hidrojen Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R., Cenkowski, S., (2000). High solid anaerobic digestion of chicken manure, *Journal of Agricultural Engineering Resources*, 76, 51-60.
- Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K., Forster, C.F., (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass and Bioenergy*, 27, pp. 71-77.
- Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities, *Bioresource Technology* 99: 7941–7953, 2008.
- Çiçek O. A (2014). Farklı Çiftlik Atıklarının Birlikte Çürütülmesi Ve Gaz Üretim Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Dalkılıç, K. (2013). İki Aşamalı Termofilik Anaerobik Sistemde Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi: Zeolit Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Dubrovskis, V. (2009). Investigation Of Biogas Production From Mink And Cow Manure. Latvia University of Agriculture
- Eghball B. Power J.F. (1994). Management of Manure From Beef Cattle in Feedlots and From Minor Classes of Livestock. <https://www.ars.usda.gov/is/np/agbyproducts/agbychap2.pdf> (Erişim Tarihi, 02.04.2018)
- Ekinci, M.S. (2007). Tavuk Gübresinden Biyogaz İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ersoy A.E. (2017). The Status Of Ghgs Emissions And The Potential Of Biogas Energy From Livestock Manure in Turkey. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Fantozzi, F. And Buratti, C. (2009). Biogas Production From Different Substrates In An Experimental Continuously Stirred Tank Reactor Anaerobic Digester, *Bioresour Technol* 100(23), 5783-5789
- Göl, N.P. (2012). Evaluation Of Biogas Production As a Source Of Renewable Energy Through Co-Digestion Of Agricultural Residues And Poultry Manure. MSc Thesis, Bogazici University Institute of Environmental Sciences
- Gül, N. (2006). Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kalamaras S.D., Kotsopoulos T.A. (2014). Anaerobic co-digestion of cattle manure and alternative crops for the substitution of maize in South Europe *Bioresource Technology* 172 (2014) 68–75
- Kavacık B (2007). Peynir Altı Suyu Ve Gübre Karışımının Kofermantasyonu İle Biyogaz Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Lesteur M., V. Bellon-Maurel, Gonzalez C., Latrille E., Roger J.M., Junqua G., STEYER J.P., (2010). Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review, *Process Biochemistry* 45 (2010) 431–440

- Nasl B. M. (2015). Büyükbaş Hayvan Dışkısından Biyogaz Üreten Bir Reaktöre Peynir altı Suyu Eklenmesinin Reaktörün Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Order C. Brown (2013) .Available Nutrients and Value for Manure From Various Livestock Types. AGDEX 538 (replaces OMAF Factsheet of the same name, Order No. 08-041) (NO. 13-043)
- Owen W. F.,* STUCKEV D. C., HEALV J. B., Jr., YOUNG L. Y. And MCCAGRV P. L. (Received İn Reri.~Ed Form 19 December 1978) Bioassay For Monitoring Biochemical Methane Potential And Anaerobic Toxicity,Department Of Civil Engineering. Stanford University, Stanford, Ca 94305, U.S.A.
- Öner B.E (2017) Lignoselülozik İçerikli Biyokütle İle Beslenen Anaerobik Çürütücülerde Clostridium Thermocellum' un Biyogaz Üretimine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Pola, G. (2011). Impact Of Rice Husk As Litter Material On Biogas Generation From Chicken Manure. MSc Thesis, Bogazici University Institute of Environmental Sciences
- Sadaka S, Engler C. (2000) Effects of mixing on anaerobic composting of beef manure. In: Proceeding of ASAE Annual International Meeting, Technical papers: Engineering Solutions for a New Century, pp. 4993-5001.
- Sapmaz T (2017). Yüksek Azot İçerikli Organik Atıkların Havasız Arıtımı: Biyogaz Potansiyeli İle Mikrobiyal Türlerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Selimoğlu,G.(2008). Büyükbaş Dışkısından Biyogaz Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Şenol H., Elibol E., Açikel Ü. Şenol M.(2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6(2), 81-92, 2017
- Tıraş B (2017). Sera Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyeline Hidrodinamik Kavite Destekli Naoh Ön Arıtma Ve Enzimatik Hidroliz Proseslerinin Etkilerinin Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tuluk C (2007). Çeşitli Substratların Anaerobik Şartlar Altında Metan Ve Hidrojene Dönüşüm Potansiyellerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tutal, B. (2017). Effects Of Operational Parameters On Methane Production and Microbial Community Dynamics in Anaerobic Digesters Fed with Cow Manure And Barley. MSc Thesis, Bogazici University Institute of Environmental Sciences
- Türkmenler H.Varınca K. Can R (2014) Biyogaz Çalıştayı Sonuç Raporu. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
- Vitoulis (2018) Methane production in a biogas plant under different ammonia levels, Unpublished
- Yazgılı, A.(2007). The Effect Of Straw and Blood On Biogas Production With Cow Manure. MSc Thesis, Gaziantep University Graduate School Of Natural & Applied Sciences

ÖZGEÇMİŞ

Züleyha UYKAN, 24.06.1993 yılında İstanbul ili Gaziosmanpaşa ilçesinde dünyaya geldi. Sağmalcılar Anadolu Lisesi'nden 2011 yılında mezun oldu. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünde 2011 yılında lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2015 yılında tamamladı. 2016 yılında aynı üniversitede Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.