

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Günay ŞENOCAKLI**

**ANAEROBİK PARÇALANMA VE BİYOGAZ ÜRETİMİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA-2019**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANAEROBİK PARÇALANMA VE BİYOGAZ ÜRETİMİ**

**Günay ŞENOCAKLI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 25/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Demet KALAT  
DANIŞMAN

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Dulkadiroğlu  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Bülent SARI  
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.  
**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5864 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### ANAEROBİK PARÇALANMA VE BİYOGAZ ÜRETİMİ

Günay ŞENOCAKLI

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Dr. Öğr. Demet KALAT  
: YIL: 2019 Sayfa: 53  
Jüri: : Dr. Öğr. Demet KALAT  
: Doç. Dr. Bülent SARI  
: Dr. Öğr. Üyesi Hakan Dulkadiroğlu

Bu çalışmada, sığır dışkısının mezofilik şartlar altında hidroliz ve metan reaktörleri kullanılarak biyogaz üretim verimliliği araştırılmıştır. Çalışmanın ilk basamağında Çukurova Üniversitesi Çiftliği'nden temin edilen sığır dışkısında Toplam Kjeldahl Azotu, Amonyak, Katı Madde, Organik Madde, pH belirleme ve Alkalinite deneyleri ile karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Geri dönüşümün olmadığı reaktörlerde katı ve hidrolik alıkonma süreleri (KAS/HAS) eşittir. 8 litre hacme sahip olan hidroliz reaktörünün pH değeri 5.80'dir ve oda sıcaklığında işletilmiştir. 2.5 L hacme sahip olan metan reaktörü ise 38 °C sıcaklık ve pH 7.5'te işletilmiştir. Metan reaktörü %5, %10 ve %15 organik katı madde yüklemeleri ile çalıştırılmıştır.

Hidroliz reaktörünün işletmeye alınmasının 8. gününde toplam katı madde miktarında bir değişim gözlenmezken uçucu katı madde için %11 giderim ve uçucu yağ asit konsantrasyonunda %45 artış gözlenmiştir. Toplam Katı Madde (TKM) giderimi açısından herhangi anlamlı bir değişim gözlenmezken, 20. günün sonunda toplamda %16 Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM) giderimi tespit edilmiştir. 20. günde uçucu katı madde gideriminin yalnızca %16'ya yükselmesi 8 günlük katı alıkonma süresinin hidroliz reaktörü için yeterli olduğunu göstermektedir. Metan reaktöründeki her organik yükleme süresi 8 gündür. 7 gün boyunca biyogaz üretimleri ile birlikte toplam katı, uçucu katı, toplam ve bikarbonat alkalinitesi ve uçucu yağ asitleri günlük olarak takip edilmiştir. Hidroliz reaktöründen metan reaktörüne %5, %10 ve %15 organik yükleme gerçekleştirilerek dışkının gaz üretim potansiyeli araştırılmıştır. Metan reaktöründe biriken gazın bileşimi Gas chromatography (GC) cihazı ile belirlenmiştir. Metan reaktöründe %5, %10, %15 organik yükleme sonucunda biyogaz metan yüzdesi ve UKM giderim yüzdeleri sırası ile %38, %61, %80 ve %11, %14,67, %16 olarak gözlenmiştir. Kümülatif biyogaz miktarları %5, %10, %15 organik yükleme için sırası ile 5321 ml/gün, 16655 ml/gün ve 29128 ml/gün olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, sığır dışkısının biyogaz üretimi için verimli bir kaynak olduğunu göstermekte olup biyogazın gerek enerji eldesi gerekse ısı yoluyla kullanımı ile muazzam bir enerji tasarrufu sağlanabileceği konusunda literatüre ışık tutmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz; sığır dışkısı; enerji; metan.

## ABSTRACT

## MSc THESIS

### ANAEROBIC DIGESTION and BIOGAS PRODUCTION

Günay ŞENOCAKLI

CUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor : Dr. Öğr. Demet KALAT  
Year: 2019 Page: 53  
Jury : Dr. Öğr. Demet KALAT  
: Doç. Dr. Bülent SARI  
: Dr. Öğr. Üyesi Hakan Dulkadiroğlu

In this study, biogas production efficiency was investigated by using hydrolysis and methane reactors under mesophilic conditions. At the beginning of the study, cattle excrement was provided from Çukurova University Farm. Characterization study was carried out with this cattle excrement with TKN, Ammonia, Solids, Organic Matter, pH and Alkalinity tests. Hydrolysis and methane reactors were used in the experimental study. In the non-recycled reactors, the solid and hydraulic retention times (KAS / HAS) are equal. The hydrolysis reactor with a volume of 8 liters was operated at pH 5.80 and room temperature. The methane reactor with a volume of 2.5 L was operated at a temperature of 38 °C and a pH of 7.5. The methane reactor was operated with 5%, 10% and 15% organic solids loading.

On the 8th day of the commissioning of the hydrolysis reactor, no change was observed in the amount of total solids while 11% removal of volatile solids and 45% increase in volatile fatty acid concentrations were observed. While no significant change was observed in terms of Total Solids (TS) removal, 16% Total Volatile Solids (TVS) removal was determined at the end of the 20th day. The volatile solid removal at day 20 increased to only 16%, indicating that the 8 day solid retention time was sufficient for the hydrolysis reactor. Each organic loading time in the methane reactor is 8 days. Total solid, volatile solid, total and bicarbonate alkalinity and volatile fatty acids were monitored daily with biogas production for 7 days. The gas production potential of the feces was investigated by carrying 5%, 10% and 15% organic loading from hydrolysis reactor to methane reactor. The composition of the gas deposited in the methane reactor was determined by Gas chromatography (GC). Biogas methane percentage and VS removal percentages were observed as 38%, 61% and 80% and 11%, 14,67% and 16% respectively. Cumulative biogas amounts for 5% 10%, 15% organic loading were determined as 5321 ml / day, 16655 ml / day and 29128 ml / day, respectively.

As a result, this study shows that cattle feces are an efficient source for biogas production and shed light on the literature that the use of biogas through energy production and heat can provide enormous energy savings.

**Keywords:** Biogas; cattle manure; energy; methane

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışmada anaerobik parçalanma yöntemi ile sığır dışkısının mezofilik şartlarda hidroliz ve metan reaktörleri kullanılarak Toplam Katı Madde (TKM), Uçucu Katı Madde (UKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Toplam Uçucu Yağ Asidi (TUYA), Amonyak, Alkalinite ve gaz üretim potansiyeli belirlenmiştir. Kullanılan hidroliz reaktörü pH 5.8'e ayarlanarak anaerobik hidrolizin takibi için TKM ve TUKM'nin yanı sıra TUYA analizleri de çalışma boyunca ölçülmüştür. TKM, ilk 8 günlük, 8.-16., 16.-20. günler arasında sırası ile  $227,23 \pm 20,45$  g/L,  $219,71 \pm 19,37$  g/L,  $222,48 \pm 13,62$  g/L olarak belirlenmiştir. TKM giderimi açısından herhangi anlamlı bir değişim gözlenmezken, TUKM giderimleri %11, %2,15 ve %2,14 olarak gözlenmiştir. TUKM değerinin 20. günün sonunda 9,99 g/L'den 8,40 g/L'ye düştüğü belirlenmiş olup, toplamda %16 TUKM giderimi tespit edilmiştir. Hidroliz reaktöründen metan reaktörüne belirli zaman aralıklarında %5, %10 ve %15 katı yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Her bir yükleme için metan reaktöründen günlük numuneler alınarak KM, TUKM, %UKM giderimi, TA, BA, TUYA, TKN, amonyak, biyogaz ve metan ölçümleri yapılmıştır.

Hidroliz reaktöründe katı madde içeriği %25'tir. Hidroliz reaktöründen 3. gününün sonunda alınan dışkı %5 katı içeriğine sahip olacak şekilde, 11. gün sonunda %10 katı içeriğine sahip olacak şekilde ve son olarak 19. günde %15 katı içeriğine sahip olacak şekilde metan reaktörüne aktarılmıştır. UKM giderimi %5 organik katı yükleme için %11 iken, %15 organik katı yükleme için UKM gideriminin %16 olduğu gözlemlenmiştir. Metan reaktörüne hidroliz reaktöründen yapılan %5 organik katı yükleme ile metan reaktörü 8 gün işletilmiştir. UKM giderimi 8. günün sonunda %11,09 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra biyogaz metan yüzdesi %38 olarak tespit edilmiştir. Metan reaktörü, %5 organik katı yüklemenin ardından reaktör içerisinde sadece dip çamur kalacak şekilde üst faz boşalarak, hidroliz reaktöründen yapılan % 10 organik katı yükleme ile metan

reaktörü 8 gün işletilmiştir. UKM giderimi 8 günlük sürenin sonunda %14,67 olarak elde edilmiş, bunun yanı sıra biyogaz metan yüzdesinin % 61 olduğu tespit edilmiştir. Metan reaktörü, %10 organik katı yüklemenin ardından reaktör içerisinde sadece dip çamur kalacak şekilde üst faz boşaltılarak, hidroliz reaktöründen yapılan % 15 organik katı yükleme ile metan reaktörü 8 gün işletilmiştir. Metan reaktörüne %15 organik katı yükleme ile 8. günün sonunda ortalama %80 metan üretimi elde edilerek, bunun yanında %17,85 UKM giderimi sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada, sığır dışkısının biyogaz üretimi açısından verimli olduğu gözlemlenerek, sığır dışkısının biyogaz üretiminde kullanılabileceği gösterilmiş, bunun yanı sıra biyogazın enerji tasarrufu açısından önemli bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen, tez çalışmam süresince her türlü çalışma ortamı sağlanmasında bana öncülük ederek tecrübe ve bilgileriyle bana ışık tutan danışman hocam, Dr. Demet KALAT'a gösterdiği sabır ve desteğinden dolayı sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans deney aşamaları süresince zengin bakış açısıyla beni aydınlatan, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Turan YILMAZ hocama sonsuz teşekkürler.

Fikirleriyle eğitimim süresince bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet YÜCEER'e sonsuz teşekkürler.

Deneyisel çalışmalarım süresince bana gösterdikleri ilgi ve yardımlardan dolayı Kıvanç Yeşiltaş ile Yiğit Seçkin hocama, laboratuvar arkadaşların Batuhan ve Burak'a teşekkürler.

Hayatımın her aşamasında beni gönüllendirerek desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER .....	VI
ÇİZELGELERİN DİZİNİ .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Büyükbaş hayvancılık.....	2
1.1.1. Büyükbaş hayvan atıkları.....	3
1.1.2. Dışkı Üretimini Etkileyen Faktörler .....	4
1.1.3. Dışkı kompozisyonu .....	5
1.1.4. Dışkının değerlendirilmesi ve ürettiği gazlar.....	6
1.2. Biyogaz .....	8
1.2.1. Biyogaz Üretim Aşaması .....	8
1.2.2. Biyogaz üretimini etkileyen faktörler .....	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	17
3. MATERYAL VE METOT .....	21
3.1. Materyal .....	21
3.2. Deney Düzenegi ve Reaktörler .....	21
3.3. Metod .....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	25
4.1. BULGULAR.....	25
4.1.1. Hidroliz Reaktörü.....	25
4.1.2. Metan Reaktörü %5 Organik Kati Yükleme.....	26
4.1.3. Metan Reaktörü %10 Organik Kati Yükleme.....	27
4.1.4. Metan Reaktörü %15 Organik Kati Yükleme.....	28

4.2.TARTIŞMA .....	29
4.2.1.Hidroliz Reaktörü.....	29
4.2.2.%5 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü.....	33
4.2.3.%10 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü.....	34
4.2.4.%15 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü.....	36
4.2.5.Metan Reaktörlerinde UKM-UYA İlişkisi.....	39
4.2.6.Metan Reaktörlerinde Toplam Alkalinite ve UYA.....	39
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR .....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ÇİZELGELERİN DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Dışkı Özellikleri.....	21
Çizelge 3.2. Çalışmada Kullanılan Reaktör İşletme Özellikleri.....	23
Çizelge 4.1. Hidroliz Reaktörü için elde edilen bulgular .....	26
Çizelge 4.2. Metan reaktörü %5 katı yükleme için elde edilen bulgular.....	26
Çizelge 4.3. Metan reaktörü %10 katı yükleme için elde edilen bulgular.....	28
Çizelge 4.4. Metan reaktörü %15 katı yükleme için elde edilen bulgular.....	29





## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1.	Anaerobik Parçalanmada Katı Organik Maddenin Metabolizma Yolu.....	10
Şekil 1.2.	Proses hızının sıcaklığa bağlı değişimi (Öztürk, 2005).....	12
Şekil 3.1.	Reaktör düzeneği.....	23
Şekil 4.1.	Hidroliz reaktörlerinde UKM giderimi .....	30
Şekil 4.2.	Hidroliz reaktörlerinde TUKM-TUYA ilişkisi.....	31
Şekil 4.3.	%10 TKM Hidroliz Reaktöründe UKM ile UYA ilişkisi.....	32
Şekil 4.4.	%15 TKM Hidroliz Reaktöründe UKM ile UYA ilişkisi.....	33
Şekil 4.5.	%5 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi.....	34
Şekil 4.6.	%10 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi.....	35
Şekil 4.7.	%15 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi.....	37
Şekil 4.8.	Metan Reaktörlerinde Kümülatif Biyogaz .....	38
Şekil 4.9.	Metan Reaktöründe UKM, UYA ilişkisi.....	39
Şekil 4.10.	Metan Reaktörlerinde Alkalinite .....	40
Şekil 4.11.	Metan Reaktörlerinde Alkalinite-UYA İlişkisi .....	41



## 1. GİRİŞ

Her geçen gün artan dünya nüfusuna paralel olarak, enerji gereksinimleri de artış göstermektedir. Enerji açısından dışa bağımlı ülkelerde, çevre bakımından temiz, güvenilir, sürekli ve yenilebilir enerji kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır (İlkelic, 2011). 2013-2040 arasındaki yıllarda yaklaşık %3,5 artacağı planlanan dünya ekonomisi, dünya nüfusunun hızla çoğalması, sanayileşme ve tüketim neticesinde enerji gereksinimi gün geçtikçe yükselmektedir (Kanat, 2017). Nüfus artışı aynı zamanda gıda ihtiyacını da aynı oranda artırmaktadır. İnsan beslenmesinde hayvansal ürünlerin tüketilmesinin ne kadar büyük rol oynadığı ortadadır. İnsanların protein ihtiyacının karşılanmasında özellikle kırmızı et ve beyaz et önemli rol oynamaktadır. Kırmızı et gereksiniminin büyük kısmı sığır etinden karşılanmaktadır. Fakat Türkiye’de sığır üretimindeki azalma neticesinde et fiyatlarında yükselmeler meydana gelmiştir. Bunun paralelinde kişi başı yıllık kırmızı et tüketimi ABD’de 93,9 kg, AB’de 71 kg iken Türkiye’de bu değer 12 kg’a gerilemiştir (Karkacier, 2000). Türkiye’de kırsal üretim %76,3 bitkisel, %23,7 hayvansal üretim olarak mevcuttur (Peşmen ve Yardımcı, 2008). Nüfusun gereksinimi olan besin maddelerinin hem yeteri kadar ve hızla karşılanması, hem de gelecek nesillerin sağlıklı biçimde yetişmesi açısından hayvancılık sektörü önem arz etmektedir. Dünya genelinde sığır eti üretiminin %20,6’lık bölümünü ABD ve %14’ünü AB meydana getirmektedir. Türkiye’nin dünya çapındaki bu oranlar arasındaki payı ise %1,6-1,8 aralığındadır (Karakuş, 2011).

Hızla artan nüfusla birlikte hayvancılık sektöründe de var olan çiftlik sayısı artış göstermektedir. Özellikle çiftliklerin kurulduğu bölgelerde oluşan atıklar büyük sorun taşımakta ve o bölgede yaşayan halkın yaşantısını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple çiftliklerden oluşan atıkların bertarafı büyük önem arz etmektedir. Ortaya çıkan bu gübrelerin tarımsal arazilerde kullanımı sonucu gübre içerisinde var olan nitrat, azot ve fosfor yeraltı sularına ve yüzey akışına karışmaktadır (Atılğan, 2015). Özellikle yüzeysel sularda azot ve fosfor

miktarlarının artması önemli çevre kirliliklerinden biri olan ötfekasyonun esas sebebidir (Bennett, 2011). Bunlardan dolayı Avrupa Birliği ülkelerinde hayvan atıklarının ziraat alanında gübre olarak kullanımına sınırlamalar getirilmiş ve bununla ilgili kanunlar çıkarılarak önlem alma yoluna gidilmiştir (Başarır, 2008). Bununla beraber biyoteknoloji alanındaki gelişmeler hayvansal atıklar gibi birçok atık biyokütlenin enerji veya kullanılabilir ürünlerin elde edilmesine ve aynı zamanda çevre kirliliği kontrolü anlamında önemli imkânlar sağlamaktadır. Gelişmiş ülkelerde biyokütlenin toplam enerji kaynağı %13'ün üzerindedir (Braun ve ark, 2009). Atık biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde en önemli proses anaerobik biyoteknolojidir. Bahsedilen proses sayesinde yüksek orandaki atıklar, yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaza dönüştürölmektedir (Karim ve ark., 2005).

Anaerobik biyoteknolojiyle biyogaz elde edilmesinde reaktör tipleri, atığın özellikleri, ortam şartları gibi birçok faktör proses verimliliğini etkilemektedir. Bu amaçla bu çalışmada gerçek uygulamalarda en yaygın kullanılan reaktör tipi olan kesikli bir anaerobik reaktörle hayvan atıklarının biyogaz verimi ve kalıntı atıkların özelliklerin optimize edilebilmesi için gerekli şartların araştırılması amaçlanmıştır.

### 1.1. Büyükbaş hayvancılık

Türkiye coğrafi yapısı ve doğal kaynakları bakımından hayvancılık sektörü için oldukça elverişli bir konuma sahiptir. Ancak izlenen yanlış politikalar sonucu hayvancılık sektörü yeterince gelişme gösterememiş, sektörde gerilemeler meydana gelmiştir. Bunun sonucu olarak hayvan sayısı azalmış ve kırmızı et fiyatları kaçınılamayacak bir şekilde artış göstermiştir. Bu durum hayvancılık sektörü için kriz etkisi yaratmıştır. Hayvancılık sektöründe yaşanan ciddi sorunlar neticesinde bir yandan kırmızı et arzında problemler yaşanırken öte yandan halkın et ve et mamülleri temin edebilmesi açısından yetersizlikler yaşanmaya başlanmıştır (Karakuş, 2011). Türkiye'de 2000 yılındaki Genel Tarım Sayımında 3 967 000 adet tarım işletmesi mevcut olduğu belirlenmiştir. Bunlardan %3,6'lık kısmı sadece

hayvancılık yaparken, %96,4'lük kısmı ise hem bitkisel üretim hem de hayvancılığı bir arada yapmaktadır (TUIK, 2007). Hayvancılık işletmelerinin %46'lık kısmında 1-4, %21,85'lik kısmında 5-9, %57,76'lık kısmında 10-19, %1,5'lik kısmında 20-49, %0,08'lik kısmında 50-99 civarında büyükbaş hayvan mevcuttur. Bu veriler ekonomik üretim kapasitesinin oldukça gerisindedir. Türkiye'de 2003 yılında, 1990 yılına kıyasla, kesilen sığır ve dana miktarında %42,65'lik, koyun sayısında %62,33'lük, keçi oranında %58,62'lik ve manda oranında ise %88,51'lik bir düşüş görülmektedir (Vural, 2007). Türkiye'de hayvancılık sektöründe verimliliğin düşük olmasının bir diğer sebebi ise hayvanların yetiştirilme koşullarının elverişsiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bunlara örnek olarak hayvanların yaşadığı ahırların havasız ve karanlık olması verilebilir. Bunun neticesinde hayvanlar sağlıklı bir şekilde yetişmekte, bazı durumlardaysa kayıplar meydana gelebilmektedir. Üreticilerin düşük eğitim seviyesine sahip olması, meralardan yeterince fayda sağlayamamaları, mevcut işletme kapasitesinin gereğinden daha küçük olması, bilgi ve teknolojiyi kullanamamaları gibi sebepler verim düşüklüğü yaşanmasında önemli etkenlerden bazılarıdır.

### 1.1.1. Büyükbaş hayvan atıkları

Son yıllarda gerek endüstriyel gelişmeler gerekse tarımsal gelişmeler çevre kirliliğinin artmasını beraberinde getirmiştir. Türkiye'deki çevre kirliliğinin başında su ve toprak kirliliği gelmektedir. Hem sanayi tesisleri hem konut bölgeleri hem de bilinçsiz bir şekilde yapılan tarım-hayvancılık sektörü bu kirliliğin önde gelen sebeplerindendir. Özellikle hayvancılık sektörünün yarattığı kirlilik denildiği zaman akla ilk gelen ahırlarda ortaya çıkan gübrelerdir. Oluşan gübrelerin yanlış bir şekilde depolanması da oluşan bu olumsuz etkilerin başında gelmektedir. Ahırlarda oluşan gübreler uygun şartlar altında tutulmayıp gelişigüzel şekilde dış ortama bırakılırsa istenmeyen sonuçların doğması kaçınılmazdır. Böylece gübre fayda sağlanabilecek bir konumdayken zarar verecek konuma geçmiş olur (Waskom, 1999). Dış ortama kontrolsüz bir şekilde atılan gübre ve diğer benzeri

atıklar zaman geçtikçe hem koku yaymaya hem de zararlı gaz salınımına başlayacaktır. Kimyasal kirliliğin yanı sıra gerek görüntü kirliliği gerekse kötü kokular meydana gelecektir. Gübreler kontrollü biçimde ve uygun miktarda kullanıldığı takdirde tarım açısından büyük önem arz eder. Ancak gübrenin aşırı kullanımı çevre kirliliği bakımından büyük riskleri de beraberinde getirir. Akuatik ekosistemde bitki ve hayvanlara zararlı olan kirleticiler eğer içme suyunda limit değerinin üzerindeyse insan sağlığı için ciddi sağlık sorunlarının habercisidir (Baird ve ark. 1994, Hodgkin ve Hamilton 1993, Huang ve Uri 1994). Barınaklarda oluşan gübreler ve gübreden kaynaklı gazlar birçok farklı formda ve zarar düzeyinde olabilmektedir. Bunların insan, hayvan, çevre açısından zarar boyutları iyi bilinmeli, en uygun yöntemler seçilerek zarar yaratan etkenler minimuma indirilmelidir (Atılğan, 2006). Aksi takdirde barınaklar, diğer kirletici kaynaklarından farksız olurlar (Alagöz ve ark. 1996).

### 1.1.2. Dışkı Üretimini Etkileyen Faktörler

Hayvanların tükettiği yemler dışkı miktarının ve içeriğinin direkt olarak değişmesine sebep olmaktadır. Kaba yemlerde bulunan kuru ot yerine silaj kullanımı dışkı üretiminde düşüşe sebep olur. Kaba yemler için örnek verecek olursak silaj-kuru ot oranı 30:70'den 40:60'a alındığı zaman toplam dışkı miktarında yaklaşık 2 kilogramlık bir düşüş gözlemlenmiştir. Hayvanların günlük yediği yem miktarında lifli hammadde yerine nişasta bazlı yemler tercih edildikçe dışkı üretimi düşüş gösterecektir (Weiss ve St-Pierre, 2010). Özetle yemler sindirim sisteminde daha kolay sindirildikçe dışkı üretiminde azalma yaşanacaktır. Hayvanların günlük yedikleri yem miktarında karbonhidratlar yerine depo karbonhidratlar (nişasta) olduğu sürece dışkı miktarında azalma yaşanması kaçınılmazdır. Bunun sebebi nişastanın midede daha kolay sindirilebilir olmasıdır. Hazmı zor olan hammaddeler dışkı üretimini yükseltmektedir. Hayvan besiciliğinde kabuk, posa gibi yan sanayi materyalleri kullanılan yeme göre daha zor hazmedildiği için bu ürünler dışkı üretimini arttırmaktadır. Çoğunlukla

hayvancılık işletmelerinde ahırdaki mevcut dışkının %25'ini henüz büyüme aşamasında olan veya doğum yapmamış düveler oluşturmaktadır (Yurtseven, 2013). Dışkının normalden fazla olması istenilen bir durum değildir. Çünkü dışkı sindirim sisteminde işe yaramayacak olan besi maddelerinden oluşur ve dışkının normalden fazla olması yanlış beslenmeden kaynaklanmış olacağı için yem israfı anlamına gelir. Günlük yaklaşık 30 kilogram süt veren bir sığırın ortalama 70 kilogram dışkı (idrara dahil) ürettiği bilinmektedir (Weiss ve St-Pierre, 2010). Bu ortalama birçok faktörün etkisiyle değişkenlik gösterebilmektedir. Sığırın ürettiği süt ve dışkı miktarına bir örnek verecek olursak günlük 23 kilogram süt verimi alınan bir Holstein sığır 59 kilogram dışkı üretmektedir. Yani kg süt başına 2,6 kg dışkı üretildiğini söyleyebiliriz.

### 1.1.3. Dışkı kompozisyonu

Dışkı hazmedilmemiş, vücuttan atılan bir kısım doku materyallerinden oluşmaktadır. Özellikle geçmiş 30 yıl içerisindeki zaman zarfında sığır dışkısının çevresel zarar boyutları konusunda inceleme yapılmış ve en fazla dışkı içerisindeki azot ve fosfor üzerinde araştırma yapılmıştır. Standart bir Holstein sığına ait dışkının kurumamış hali %15-52 kuru madde, %0,59 N, %0,077 P içerdiği bilinmektedir (Weiss ve St-Pierre, 2010) (Çiçek, 2014). Hayvanların yediği yemin besin içeriği farklılık gösterdiği sürece buna paralel olarak dışkı içeriği de değişir. Bir örnek verecek olursak hayvanın protein gereksinimi düşüş gösterdikçe dışkı içerisindeki azot miktarı da düşüşe geçmektedir. Benzer olarak hayvanların günlük yediği yem miktarında da mineral miktarı yükseldikçe bu durum dışkı içeriğine de etki eder. Ağıllarda hayvanların beslenme şekliyle alakalı büyük bir değişiklik yapılacaksa hayvanların dışkı içerikleri ve miktarlarının izlenmesi gerekmektedir. Hayvancılık sektöründe dışkı oluşumu gerek yönetim gerekse bakımının yapılması açısından problem teşkil eder. Barınakların belirli periyotlarda temizliğinin sağlanması ve dışkının ortamdaki uzaklaştırılması işletmeler için hem maliyet hem işgücü ihtiyacını ortaya çıkarır. Ortamda düzenli dışkı uzaklaştırılmasının veya

gereken hijyenin sağlanmadığı durumlarda hem hayvanların hareket alanı kısıtlanmakta hem de temizlik sorunundan kaynaklı hastalık problemleri yaşanmaktadır.

Türkiye’de her yıl yaklaşık 60 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) tarım kaynaklı ve 11 MTEP hayvansal dışkı kaynaklı bir üretim olduğu halde, bahsi geçen atıkların yalnızca %60’ı enerji üretimi için uygundur. Bu atıklarla sağlanacak olan enerji Türkiye’nin bir yıldaki enerji ihtiyacının yaklaşık %25’ine karşılık geldiği bilinmektedir (Doğan, 2000). Türkiye’de 11 MTEP hayvansal dışkı üretimine karşın 1.5 MTEP biyogaz üretimi sağlanabileceği düşünülmektedir. Enerji konusunda dışa bağımlı olmak yerine var olan kaynaklarla ülkenin enerji gereksinimini sağlamak hem büyük miktarda maddi kazanç sağlayacak hem de teknoloji açısından ülkeyi kalkındıracaaktır. Biyogazın ısı değeri 1900–25000 kJ/Nm<sup>3</sup> civarında olduğu bilinmektedir. İnek dışkısından bir yılda 33 m<sup>3</sup>, tavuk dışkısından 78 m<sup>3</sup>, koyun dışkısından ise 58 m<sup>3</sup> biyogaz eldesi sağlanmaktadır (Korkmaz, 2012). Biyogaz bileşiminde var olan metan hem yanma hem de ısı değeri bakımından diğer yanıcı gazlarla ortak özelliklere sahipken, bütan ve propan gazlarına kıyasla değişik özellikler gösterebilmektedir. Bütan ve propanı düşük basınç ve sıcaklıklarda oda sıcaklığı şartlarında sıvılaştırmak mümkün iken, bozunması çok zor olan ve sabit bir yapıya sahip biyogazı sıvılaştırma işlemi için çok daha yüksek basınç ve sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu durum maddi açıdan sınırlayıcı bir faktördür.

#### 1.1.4. Dışkının değerlendirilmesi ve ürettiği gazlar

Teknolojinin geliştiği ve kullanımının son derece yaygınlaştığı günümüzde dışkı artık bir atık olmaktan çıkıp biyogaz üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle geçmişte dışkı direkt olarak tarımsal topraklarda taze bir şekilde, fermente olmadan kullanılmaktaydı. Fermente olmamış bu dışkı içerisinde fazla miktarda azot ve patojenik bakteriler barındırdığı için bu durum hayvansal veya bitkisel yönde birçok çevre soruna yol açmaktaydı. Sığır dışkısında bulunan

yabancı ot tohumları ile yüksek miktarlardaki nitrat, hem toprak hem de suya karışarak toprağın tuzluluğunu arttırmakta ve kirlilik yaratmaktaydı (Yurtseven, 2013). Fakat dışkının fermente olması için yığın şeklinde bir veya iki ay gibi bir süre bekletilmesi esnasında ciddi bir gaz oluşumu meydana gelmektedir. Üzeri açık şekilde tutulan dışkı yığınının yarattığı gaz, dışkının gübre olarak kullanılması sırasında açığa çıkan gazdan çok daha fazla olduğu bildirilmiştir. (Clemens ve ark., 2006). Dünya çapındaki sera gazlarının %13'ü zirai kaynaklıyken %45'lik kısmı ise hayvansal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (IPCC, 2007). Hayvansal kaynaklı oluşan sera gazlarının ortalama %25'i dışkıda gerçekleşen gaz salınımına dayandığı düşünülmektedir (Freibauer, 2003). Dışkıdan kaynaklanan gazlar mevsimsel farklılıklar oluşturmaktadır. Yığınlar halinde tutulan dışkıların özellikle bahar ve yaz mevsimlerinde metan ve amonyak başta olmak üzere daha yüksek düzeyde gaz oluşumu gerçekleştirdiği tespit edilmiştir (Mathot ve ark., 2012). Metan ile amonyak gibi dışkıdan yayılan gazlar için en önemli faktör hayvanın tükettiği besinlerdir. Havasız ortamda veya büyük yığın şeklinde tutulan dışkıları ciddi bir metan kaynağıdır. Standart depolama şartlarında 1 kg taze sığır dışkısının 24 saatte 0.0001-0.0025g metan salınımı yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu veri ile her bir sığır için yılda 0,68 kg metan açığa çıkmaktadır (Mathot ve ark., 2012). Hayvan vücudunda bulunan azot ve fosforun önemli kısmı dışkı yoluyla dışarıya atılmaktadır ve bahsi geçen elementler gaz olarak dışkıdan havaya salınım yapmaktadır. Dışkının pH ve NH<sub>4</sub> miktarındaki yükselişleri amonyak gazı salınımının başta gelen parametreleridir (Kuhn, 1998). Bitkiler azotlu gübreleme uygulamasından maksimum düzeyde faydalanamadıkları için bir miktar nitrat, hem yüzey sularına hem de yeraltı sularına aktarılmaktadır. Hayvan dışkısı gübre olarak kullanılmakta ve topraktan elde edilen mahsüllerde yüksek verimlilik oluşturmaları nedeniyle tarım sektöründe de büyük avantaj sağlamaktadır. Gübre halinde kullanılan dışkıda var olan azottan faydalanabilmek adına baklagil ekimi yapılması azot kaynaklı gazların yayılmasını azaltmak adına uygun bir çözümdür.

## 1.2. Biyogaz

Biyogaz, biyolojik olarak bozulabilir organik hammaddelerin anaerobik ortamda fermantasyonu ile, yani belediye ve endüstriyel atıklar, hayvansal ve tarımsal atıklar kullanılarak üretilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bahsedilen organik maddeler metan üreten bakterilerin yaşamlarını sürdürebilmeleri için gereksinim duyduğu besin maddeleridir. Anaerobik arıtma, bu süreçte görev alan asit bakterileri, metan bakterileri ve diğer mikroorganizma gruplarının bulunduğu kompleks bir biyokimyasal prosestir. Biyogaz üretimini gerçekleştirebilmek için gerekli organik maddelerin kaynakları hayvan çiftlikleri ve tarımsal alanlarda oluşan atıklardır (İlkiliç, 2011). Biyogaz, yer altı suları ve toprak kirliliği gibi organik atıklarla ilişkili olumsuzlukları, dioksinler gibi hava kirleticilerinin emisyonunu ve güçlü bir sera gazı olan metanı azaltmaya katkıda bulunur (Kumar ve Sharma, 2014; Lewis ve ark, 2017). Biyogaz hammadde türüne bağlı olmakla birlikte genelde %60-70 metan, %30-35 karbon dioksit, %1-2 hidrojen sülfür ve %0,3-3 azottan oluşur (Rulkens W., 2008). %60 metan içeriği için, biyogazın kalorifik değeri yaklaşık 21-24 MJ / m<sup>3</sup> veya 6 kWh / m<sup>3</sup>'tür (Ghimire, 2013; Khan, 2014). Küresel olarak, biyokütle toplam enerji tüketiminin %75-90'ına katkıda bulunur (Sharma, 2015).

### 1.2.1. Biyogaz Üretim Aşaması

Anaerobik parçalanma, çeşitli bakteriyel mikroorganizmaların oluşturduğu üç aşamalı bir prosestir (Khalid, 2011). Her bir mikrop grubu, parçalanma sürecinin farklı aşamalarına katkıda bulunur ve sistemde karmaşık organik bileşiklerin nihai ürünü olan biyogaza dönüşmesine yardımcı olur. Anaerobik parçalanma yoluyla üretilen biyogazın bileşimi, sistemde kullanılan substrat tiplerine, reaktörün çalışma koşullarına ve mevcut mikrobiyal topluluğa bağlı olarak değişebilir (Shah ve ark., 2014).

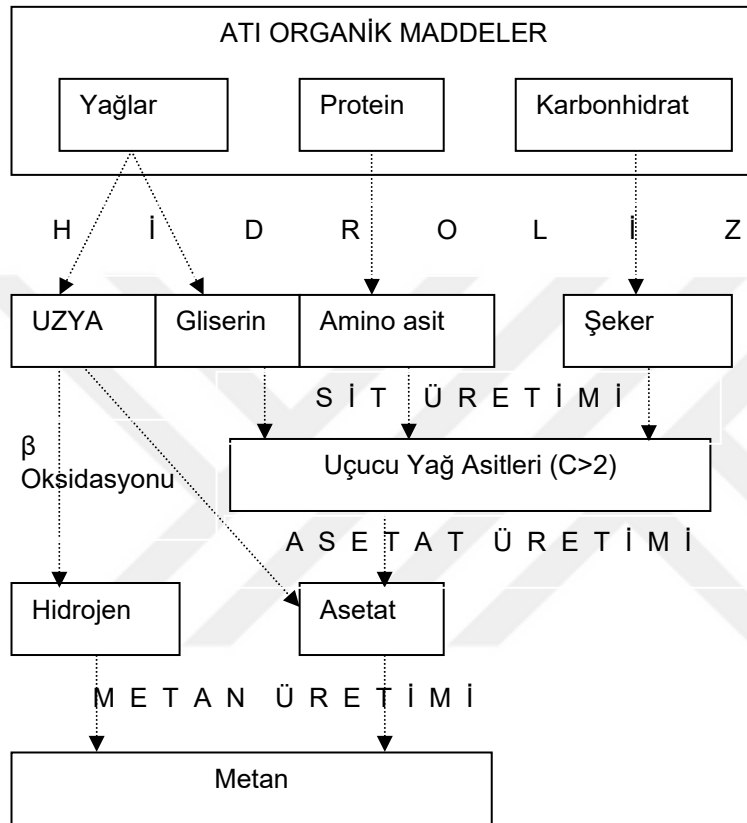
Biyogaz üretim aşaması genel olarak üç basamak olarak sınıflandırılabilir. Hidroliz, anaerobik sindirimdeki ilk aşamadır. Bu aşamada anaerobik

mikroorganizmalar ekstraselüler enzimler kullanılarak polisakkaritler ve proteinler gibi kompleks organik bileşikler parçalamaktadır (Shah ve ark., 2014). Bu aşamanın verimliliği parçalanamayan hammaddeye bağlıdır. Selüloz gibi polisakkaritler ve doğadaki lignoselülozik materyallerin parçalanmaları çok daha zordur. Enzimatik ve kimyasal ataklara karşı dirençlerinden dolayı polisakkaritlerin ve lignoselülozik malzemelerin hidrolizi, özellikle de sindirim sisteminde yüksek bir katı madde içeriği mevcut olduğu zaman, anaerobik parçalanma prosesinde hız sınırlayıcı özellik gösterebilmektedir (Khalid, 2011). Selülazlar, proteazlar, lipazlar ve diğer enzimler kullanılarak polisakkaritler, proteinler ve yağlar, şekerler, amino asitler, yağ asitleri ve diğer basit monomerlere ayrılır. Bu monomerler, asidojenis aşamasında bir sonraki mikrop grubu tarafından kullanılır (Manyi-Loh ve ark., 2013) (Shah ve ark., 2014).

Asetojenesis sırasında, hidrolize edici mikroplar veya halihazırda besleme stoğunda bulunanlar, asetat, karbon dioksit, hidrojen gazı, karbonik asit, laktat, etanol, propiyonat ve çeşitli uçucu yağ asitleri dahil olmak üzere çeşitli bileşiklere dönüştürülür (Qu, ve ark., 2009) (Shah ve ark., 2014). Hidroliz fazı sırasında kompleks polimerleri parçalayan bakterilerin bazıları asetojenesis fazında da aktiftir. Bu fermentatif bakteriler, etanol gibi ürünleri oluşturmak için anaerobik parçalanma sürecinin ilk yarısını gerçekleştirebilir. Asetojenesis aşamasından elde edilen bileşiklerden olan asetat, karbon dioksit ve hidrojen gazı metan oluşturmak için doğrudan metanojenler tarafından kullanılabilir (Manyi-Loh ve ark., 2013). Diğer ürünlerden olan laktat, etanol ve daha yüksek zincirli yağ asitlerinin, metanojenler tarafından kullanılabilir forma dönüştürülmesi için asetojenesis mikroorganizmalar tarafından daha fazla işlenmesi gerekir (Shah ve ark., 2014).

Metan, anaerobik parçalanmanın metanojenesis aşamasında üretilir (Manyi-Loh ve ark., 2013) . Metanojenesis fazı anaerobik parçalanma sürecinin son basamağıdır. Anaerobik çürütücülerde metanojenesis, reaktördeki nem, sıcaklık ve pH koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Karakashev ve ark., 2005;

Qu ve ark., 2009). Metanojenler, metan üretmek için asetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), hidrojen gazı ve karbonik asit ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) kullanabilir (Qu, ve ark., 2009) (Şekil 1).



Şekil 1.1. Anaerobik Parçalanmada Katı Organik Maddenin Metabolizma Yolu

Metan üretim fazının gerçekleşmesinin daha zor olmasının sebebi, metan bakterilerinin üreme hızlarının yavaş olmasıdır. Anaerobik fermantasyonda birçok farklı bakteri grupları çalışmaktadır. Asit bakterileri metan oluşumunda görev alan bakteriler için oksijensiz koşulları ve besin teminini gerçekleştirir. Metan bakterileri ise asit bakterilerinin ürünlerini dönüştürerek toksik etkiyi giderir (İlkilic, 2011). Metan bakterileri 0,01-0,08 mg/lit çözünmüş oksijen varlığında büyümelerini durdurur (Puñal, 2003; Kishore, 1987). Asit bakterileri, metan bakterilerine kıyasla sıcaklık değişimlerine direnç göstermektedir. Faaliyet

gösterebildikleri pH aralığı asit bakterilerinininkinden daha geniştir. Metan bakterileri besin olarak yalnızca basit organik asitleri kullanırken asit bakterileri organiklerin büyük bir kısmını besin maddesi olarak kullanabilirler (Leggett, 2002). Fermantasyon performansının maksimum düzeyde kalmasını sağlamak için asit ve metan bakterileri arasındaki dengeyi iyi kurmak gerekir.

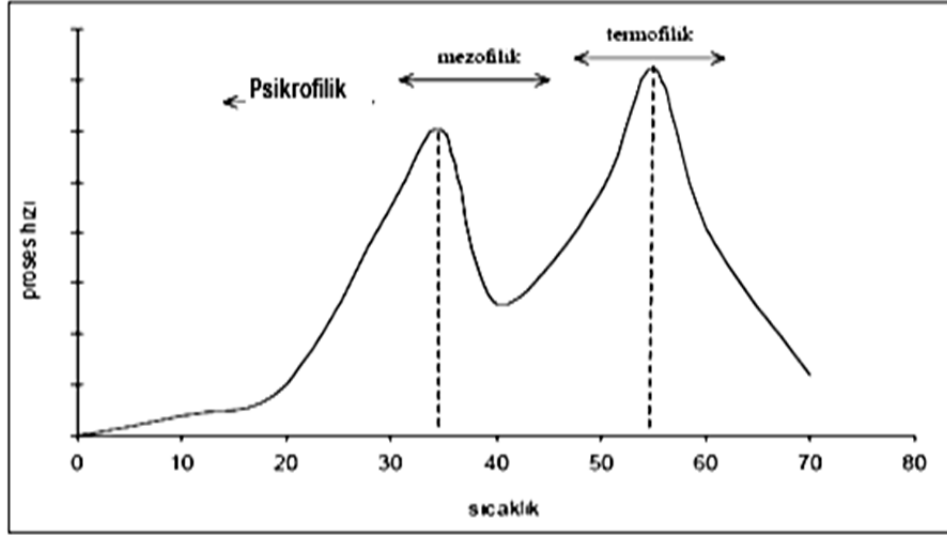
Asedojenik fazda görev alan asit bakterileri ve metanojenik fazda görev alan metan bakterileri farklı pH ve farklı sıcaklık aralıklarına sahip olan ortamlarda daha elverişli üretim gerçekleştirdikleri için, bu iki safhayı iki ayrı reaktörde gerçekleştirmek gaz üretim verimini arttıracaktır. Her bakteri bir önceki safhada görev alan bakterilerin oluşturduğu nihai ürünü besin olarak kullanmakta ve bir sonraki safhada görev alacak olan bakteri grupları için besin üretmektedir. Bu döngü göz önünde alındığı zaman metanın tek bir bakteri aracılığıyla üretilmediği ve metan eldesi için zincirleme reaksiyonlar gerektiği açıktır. Metan üretimi için ilk safha olan hidroliz ve asit üretimi safhalarını gerçekleştirmek üzere kurulan asit reaktörlerinde gerekli olan pH 5.0-6.5 iken metan bakterileri pH 6.5-7.6 aralığında faaliyet gösterir. Bunun yanında mezofilik aralıkta asit reaktörleri için uygun sıcaklık 30 °C iken, metan reaktörleri için uygun sıcaklık 35–37 °C'dir (Werner, 1989).

Elde edilen biyogaz kojenerasyon adı verilen sistem aracılığıyla yakılarak elektrik enerjisi şeklinde kullanılabilir. Fakat elektrik enerjisi olarak kullanılacağı takdirde biyogaz bileşiminde bulunan H<sub>2</sub>S ve su buharının uzaklaştırılması önem arz etmektedir. Diğer yandan reaktörlerden arta kalan gübrenin sıvı kısmı tarımsal amaçlı kullanılabilirken, yoğun olan kısmı seperatör aracılığıyla sudan arındırılıp kompost şeklinde paketlenerek biyogübre de denen çişek toprağı şeklinde satışa çıkarılabilmektedir.

### 1.2.2. Biyogaz üretimini etkileyen faktörler

Biyogaz tesisinden en yüksek performansı ve verimi elde edebilmek için ortamın oksijensiz olması gerekmektedir. Biyogaz üretimini etkileyen faktörlere

baktığımız zaman sıcaklığın biyolojik sistem üzerinde önemli bir rol oynadığını söyleyebiliriz.



Şekil 1.2. Proses hızının sıcaklığa bağlı değişimi (Öztürk, 2005)

Bakterilerin faaliyet gösterebilmeleri ve üreyebilmeleri için 30-40 °C aralığındaki mezofilik bölge ve 50-60 °C aralığındaki termofilik bölge oldukça önemlidir. Sıcaklığı 60 °C'nin üzerine çıkarmak enerji gereksinimi yaratacağı için ekonomik olduğu söylenemez. Biyogaz tesisleri çoğunlukla mezofilik sıcaklıkta çalıştırılır. Üretim sürecini, biyogaz üretiminde kullanılacak olan hammaddenin potansiyel verimi, anaerobik tesisin dizaynı, görev alan bakterilerin cinsi, konsantrasyonu, pH, karbon azot oranı (C/N oranı), yükleme hızı, hidrolik bekletme süresi, karıştırma gibi birçok faktör etkilemektedir (Nagamani 1994). Biyogaz üretim aşamasında optimum pH 6.6-7.6 aralığıdır. pH'nın 6.2'nin altına düşmesi metan bakterileri için toksik ortam yaratır. Dengede çalışan bir biyogaz tesisi için pH 7-8.5 aralığında olmalıdır. Fermentasyon sisteminin pH'sı, ortamda üretimi gerçekleştiren yağ asitleri, bikarbonat alkalinitesi ve karbondioksit'e bağlı olarak farklılık gösterir (İlkiliç, 2011).

Bu çalışmada hammadde kaynağı olarak sığır gübresi kullanılacağı için biyogaz üretimi sırasında görev alacak olan mikroorganizmaların demir, çinko, azot, kükürt, potasyum gibi element ihtiyaçları direkt olarak karşılanacaktır. Mikroorganizmaların enerji üretebilmeleri için karbon ve azota gereksinimleri vardır. Metan bakterilerinin faaliyetleri karbon/azot oranı ile farklılık gösterdiği için bu oran biyogaz üretim sürecini büyük miktarda etkilemektedir. Biyogaz üretimi için gereken optimum C:N oranı 25-30:1'dir (Dutta ve ark., 1994). Öte yandan önemli olan bir diğer faktör hidrolik bekleme süresidir. Belirli miktar organik maddenin ortaya çıkaracağı gazın %80'lik kısmı için geçen süre hidrolik bekleme süresi olarak adlandırılır. Hidrolik bekleme süresi de hammadde olan organik maddenin cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak farklılık gösterir. Büyükbaş hayvan gübrelere tam olarak işlenebilmesi için yaklaşık 14 gün gerekmektedir (Verma, 2002). Kullanılan biyogaz üretim tesisine bağlı olarak bu süre zarfı farklılık gösterebilmektedir. Bir diğer önemli etken katı madde miktarıdır. Sığır gübresinin ortalama %15-52 katı madde içerdiği bilinmektedir (Çiçek, 2014). Karıştırma işlemi ile bakteri dağılımının homejenizasyonu sağlanarak sistem içerisinde ölü bölge oluşumunun önüne geçilebilir. Sisteme yeni dahil edilen maddenin bakteri içeren madde ile karışması, çökelmenin engellenmesi, yüzeyde oluşan gazın çıkışını önleyen tabakanın ortadan kaldırılması gibi sebeplerden dolayı karıştırma işlemi bu süreç için önemli rol oynamaktadır.

#### 1.2.2.1. pH ve Alkalinite İhtiyacı

Anaerobik parçalanma için istenilen pH değerinin yaklaşık olarak 6.6-7.6 arasında bulunması gerekir. Bu aralığın dışında kalan pH değerleri özellikle metan bakterilerini ve prosesi kötü etkiler. (Rittmann ve McCarty, 2001).

Anaerobik sistemlerde pH'nın kontrolü karbonik asit sistemi ile ilgilidir. Alkalinite parametresi ise reaktör ekşimesinin (pH'nın düşmesi ve reaktörün asitleşmesi) erken habercisi olarak bu sistemin içinde takip edilmelidir.



Uçucu yağ asitlerini de içeren toplam alkalinite ve bikarbonat alkalinitelerinin ayrımı anaerobik proses için kritiktir. Bikarbonat alkalinitesi, toplam alkalinite ile uçucu yağ asiti eşdeğeri alkalinite arasındaki farka eşittir (denklem 1.6). Bikarbonat dışındaki toplam alkalinite fraksiyonu fazla miktarda uçucu yağ asitleri için tampon görevi yapamayacağından anaerobik arıtımda bikarbonat alkalinitesi öncelikli öneme sahip bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

$$\text{Bikarbonat Alk.} = \text{Toplam Alk.} - (0,83)(0,85)(\text{UYA}) \quad (1.6)$$

Burada (0,85) = pH 4'de uçucu yağ asitlerinin % 85'si titre edilir.

(0,83) = 50 Eşd.A.CaCO<sub>3</sub>/ HAc 60 Eşd.A.

Eşd. A = Eşdeğer Ağırlık

UYA = Asetik asit olarak molekül ağırlığı (60g/mol)



Asetat Tuzu = Alkalinite

H<sup>+</sup> dışında herhangi bir katyon Ac<sup>-</sup> yi alkalinite formunda tutar.

Anaerobik proses için, bikarbonat alkalinitesi kadar, serbest yağ asitleri için tamponlama görevi yapacak olan depo bikarbonat alkalinitesi de izleme parametrelerinden biridir (Speece, 1996).

Bunula birlikte Andreson ve Yang (1992), anaerobik reaktörlerin çıkış sularında, aynı anda hem bikarbonat hem de toplam uçucu yağ asitlerinin (TUYA)

belirlenmesi için modifiye alkalinite titrasyon metodunu önermişlerdir. Başlangıçta pH'sı ölçülen numunenin standart sülfirik asit çözeltisi ile önce pH 5.1'e sonra da pH 3.5'e kadar titrasyonu ile bikarbonat ve TUYA konsantrasyonlarını ölçtüklerini bildirmişlerdir. Gaz kromatografi cihazı ile yapılan karşılıklı ölçümlerde her iki metodun iyi bir lineer ilişki ( $R^2=1$ ) içinde olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada, reaktörlerden alınan günlük numulere TUYA miktarları Anderson ve Yang'ın önerdikleri metod ile yapılmıştır.





## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Callaghan ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada sığır dışkısına farklı miktarlarda tavuk dışkısı karıştırmışlar ve meyve ve sebze atıklarıyla birlikte, tam karışimli anaerobik reaktörlerde metan oluşum performansını araştırmışlardır. Karıştırılan bu atıkların su içerikleri sebze ve meyve atığında %90 seviyesine, tavuk dışkısında %85 seviyesine ve sığır dışkısında %92,4'e çıkmıştır. Gerçekleştirilen bu araştırmada 18 litrelik reaktörler kullanılarak 35 °C sıcaklık şartlarında uygulanmıştır. Sığır dışkısına başka bir atık eklenmeden dört aylık zaman zarfında yalın halde araştırılmıştır. Hidrolik bekleme süresi bütün karışımlar için 28 gün şeklinde tutulmuş ve atık yükleme hızları 3,19-5,01 kg UKM/m<sup>3</sup>gün aralığında kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışımdaki meyve-sebze miktarının kütleli olarak oranı %20 civarındayken 0,23 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg UKM civarındaki biyogaz oluşumu, bu oranın %50'ye çıkarılması ile birlikte biyogaz üretiminin 0,45 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg UKM'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Oranın artırılmasının UKM giderimine etkisi olmadığına ve sığır dışkısı ile tavuk dışkısının karıştırıldığı reaktörlerde, tavuk dışkısının miktarının artırılmasının hem biyogaz üretimi hem de katı madde giderim performansını olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Bu durumun sebebi olarak amonyak inhibisyonuna işaret edilmiştir.

Anjan ve ark. (2001) sığır dışkısının çürütülmüş çamurla aşılmasının biyogaz üretimi açısından etkisini araştırmışlardır. 40 kg'lık sığır dışkısı ve %10'u çürümüş çamur olan 40 kg'lık sığır dışkısı karşılaştırılmıştır. Çürütülmüş çamur kaynağı olarak on beş haftalık ve 20-23 °C sıcaklık şartlarındaki biyogaz üretiminden çıkan atıklar seçilmiştir. Yalnızca sığır dışkısı ile 821 lt biyogaz üretimi gerçekleştirilirken, çamurla aşılama uygulanan sığır dışkısının 1457 lt biyogaz ürettiği bildirilmiştir. Bunun yanında iki reaktördeki organik katı madde giderim oranlarına da bakılmıştır. Aşılama uygulanan reaktörde bu oran %36,1 seviyesindeyken, öteki reaktördeki oran %23,93 olarak belirlenmiştir. 7 günlük süre zarfında aşılama uygulanan reaktördeki gaz üretimi 60 lt ve metan üretimi oranı

%52 şeklindeyken, diğer reaktörde biyogaz üretiminin yok sayılacak düzeylerde fakat metan üretim oranının %38 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 21 günün sonunda hem aşı uygulanan reaktörde hem de diğer reaktördeki üretilen gazların metan yüzdeleri %55-60 civarındadır. Maksimum gaz üretimi (180 lt) aşı uygulanan reaktör için üçüncü ve dördüncü haftalarda gerçekleşirken, diğer reaktörde ise maksimum gaz üretimi (100 lt) on bir ve on ikinci haftalarda gerçekleşmiştir.

Mahanta ve diğ. (2004) biyogaz üretim miktarlarında, anaerobik reaktörlerle sıcaklık etkisi ve toplam katı madde ile bağlantısı üzerinde çalışmalar yapmıştır. Anaerobik reaktörler sabit pH'ta ve 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklıklarda çalıştırılmıştır. %85-95 seviyelerinde nem içerikleriyle değişik kombinasyonlar çalışılmış, sıcaklık 35 °C ve TKM miktarının %8 civarında iken, biyogaz üretiminin maksimumuna ulaştığını bildirmişlerdir.

Bodik ve ark. (2011) yemek atıklarından biyogaz üretimi ile ilgili araştırma yapmıştır. Laboratuvar ortamındaki anaerobik reaktörde sıcaklık 37-38 °C olduğu koşullarda araştırma gerçekleştirilmiştir. Toplam askıda katı madde başlangıç değeri 13.7 g/l, uçucu askıda katı madde başlangıç değeri %54 ve pH 7.18 şeklinde kaydedilmiştir. Reaktöre yükleme hızı yükseldikçe biyogaz üretim performansının da yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır. Maksimum biyogaz üretimi (55.4 l/gün) 147. günde ve 3 kg UAKM/m<sup>3</sup>.gün yükleme hızı yapıldığı şartlarda gerçekleşmiştir. Elde edilen biyogazın metan oranı %52,5 şekline kaydedilmiştir.

Sözer ve Yıldız (2006) sığır dışkısını peynir altı suyuyla farklı miktarlarda karıştırarak biyogaz üretim performansı üzerinde araştırma gerçekleştirmiştir. Deneyler laboratuvar ortamındaki sürekli akışlı biyogaz reaktörlerinde, iki haftalık bekletme süresiyle ve 37 °C sıcaklık şartlarında yapılmıştır. Sığır dışkısının peynir altı suyuyla aynı organik katı madde miktarına sahip olabilmesi için sığır dışkısı çeşme suyuyla karıştırılmıştır. Çalışmalar sığır dışkısına %5, %10, %20, %40, %50 ve %75 miktarlarında peynir altı suyu eklenen karışımlarla gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar neticesinde maksimum biyogaz oluşumu %50 peynir altı suyu ve %50 sığır dışkısı karışımından 25.47 lt/gün şeklinde kaydedilmiştir.

Bujoczek ve ark. (2000) yüksek katı madde muhtevası olan tavuk dışkısının anaerobik şartlarda çürütülmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. %21,7 TKM muhtevası olan tavuk dışkısı, 160 mililitrelik şişelerde, 35 °C sıcaklık şartlarında, 17 hafta süresince değişik seyreltmeler ve aşı miktarlarında çalıştırılmıştır. İki farklı aşı ile gerçekleştirilen deneyler %5-21,7 TKM muhtevası olan reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerde kullanılan aşılar, anaerobik arıtma çamuru ve anaerobik koşullarda 6 ay tutulan tavuk dışkısıdır. Yapılan deneyler neticesinde arıtma çamurunun daha iyi özellikte bir aşı olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bunun yanında %10,3 katı madde miktarının, tavuk dışkısının çürütülmesi için optimum değer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bahsedilen katı madde miktarının %40 dışkı, %60 anaerobik çürütme çamuru ile gerçekleşmesi neticesinde, deneyler arasında maksimum ve sürekli değer olan 473 ml CH<sub>4</sub>/gr UKM'ye ulaşılmıştır. Dışkıya aşı katılmadığı durumda %5 TKM değerinde 548 ml CH<sub>4</sub>/gr UKM elde edilmiştir. Serbest amonyağın 250 mg/l değerinin üstüne yükselmesinin metan oluşumunu durma noktasına getireceği belirlenmiştir.

Moset ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, 16 litrelik bir çalışma hacmi ile çalışan ve iki ayrı çalışma sıcaklığı (35 °C ve 50 °C) olan iki yarı-kesikli sürekli karıştırılmalı tank reaktörleri (CSTR) kullanılmıştır. 16 günlük deney süresince sığır gübresinden 151 ila 185 L CH<sub>4</sub> / kg UKM üretilmiştir. Mezofilik aralıktaki (35 °C) üretim, termofilik aralıktaki çalışan parçalayıcıdan (50 °C) daha az biyogaz ürettiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, reaktörler taze sığır gübresi substratı ile günde bir kez beslenmiştir. Anaerobik parçalama sürecinden % 50-75 metan verimi elde edildiği varsayılırsa bu sistemlerin toplam biyogaz üretiminin, mezofilik reaktör için 201-302 L biyogaz / kg UKM ve termofilik reaktör için 247-370 L biyogaz / kg UKM arasında olduğu tespit edilmiştir.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Sığır dışkısına ait karakterizasyon belirleme çalışmaları ‘Çukurova Üniversitesi’ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında ve Çevre Mühendisliği Kimya Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Hammadde olarak Çukurova Üniversitesi Çiftliği’nden temin edilen sığır dışkısında TKN, Amonyak, Katı Madde, Organik Madde, pH belirleme ve Alkalinite deneyleri ile karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Numune olarak literatür değerlerine yakın olmasından dolayı 1. dışkı örneği seçilerek reaktör çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan karakterizasyon çalışmasının sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Dışkı Özellikleri

Parametre	1.örnek	2. örnek	3. örnek	4. örnek	5. örnek
TKM (g/L)	247,20	397,69	385,26	352,83	203,86
Uçucu Organik Madde (g/L)	6,93	12,94	10,57	9,40	5,21
Alkatinite (mg/L)	2690	3267	3107	1830	4030
TKN (%)	1,36	0,78	0,66	0,52	0,25
NH <sub>4</sub> -N (%)	0,27	0,25	0,29	0,25	0,23
pH	9,256	8,026	8,480	6,678	7,345

#### 3.2. Deney Düzenegi ve Reaktörler

Çalışmada hidroliz reaktörü ve metan reaktörü olmak üzere iki adet reaktör kullanılmıştır. Hidroliz reaktörü 33 cm iç çapa, 35 cm yüksekliğe ve 11,9 lt hacme sahip olup oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Hidroliz reaktörüne 3 kg sığır dışkısı ve 3 lt çeşme suyu konularak pH’sı 5.80 olarak kaydedilmiş ve reaktör oda sıcaklığında işletilmiştir. Geri dönüşümün olmadığı reaktörde katı ve hidrolik alıkonma süreleri (KAS/HAS) eşittir. Hidroliz reaktöründen 3. gününün sonunda alınan dışkı %5 katı içeriğine sahip olacak şekilde, 11. gün sonunda %10 katı

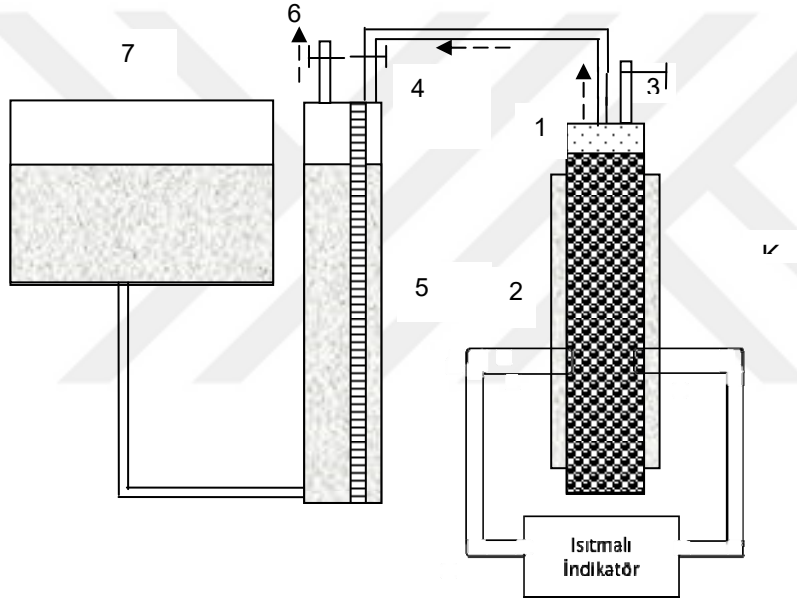
içeriğine sahip olacak şekilde ve son olarak 19. günde %15 katı içeriğine sahip olacak şekilde metan reaktörüne aktarılmıştır. Gerçekleştirilen her bir yükleme ile metan reaktörü 8'er gün çalıştırılmıştır. Üç farklı yükleme için de metan reaktörüne 5'er gram sodyum bikarbonat eklenerek (2500 mg CaCO<sub>3</sub>/l ) pH ayarlaması gerçekleştirilmiştir. Ancak %15 katı içeriğine sahip olan reaktörde öngörülmeleyen zorluklardan ötürü 3 gün çalıştırılmıştır.

Metan reaktörü 15 cm çap, 16 cm yükseklik ve 2.5 lt hacme sahip olup çalışma sıcaklığı 38 °C olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın korunabilmesi amacı ile 15 cm yüksekliğinde ve 5 cm genişliğinde su ceketli yerleştirilmiştir. Metan reaktörünün şematik çizimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Metan reaktöründeki her bir organik yükleme süresi 8 gündür. Artan katı organik yükleme oranları için, eski yüklemeye ait dip çamur reaktör içerisinde bırakılarak yeni yükleme için aşı yaratılmıştır. Her bir organik yükleme için dip çamurun organik madde içeriği tespit edilmiştir. Metan reaktörünün ağız kısmı mantarla hava almayacak şekilde kapatılmış, mantarın ortasından delik açılarak küçük iki boru yerleştirilmiştir. Numune alınacağı zaman gaz kolonuna giden vana kapatılarak numunenin buraya karışması engellenmiştir. Numune alınması esnasında gaz kaçaklarının önlenmesi için su kilidi kullanılmıştır. Reaktör çalkalanarak karışım sağlanmış, numune alma vanasından şırınga yardımı ile günlük 15 ml numune alınmıştır.

Her yükleme için günlük numuneler alınarak organik madde miktarındaki değişimlerin ne yönde olduğu gözlemlenmiştir. Metan reaktöründeki organik katı madde miktarı arttırıldıkça gaz ölçümlerindeki değişimler, katı madde, uçucu madde, alkalinite, VFA, TKN değişimleri ve amonyak değişimleri izlenmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada Kullanılan Reaktör İşletme Özellikleri

	pH	Bekletme süresi (gün)	Sıcaklık
<b>Hidroliz Reaktörü</b>	5,8	19	Oda sıcaklığı
<b>Metan Reaktörü %5</b>	7,5	8	38 °C
<b>Metan Reaktörü %10</b>	7,35	8	38 °C
<b>Metan Reaktörü %15</b>	7,1	3	38 °C



1. Anaerobik Reaktör
2. Su Ceketli
3. Numune Alma Portu
4. Gaz Toplama Vanası
5. Ölçeklendirilmiş Gaz Toplama Kolonu
6. Gaz Numune Alma Vanası
7. Asitli Su Tankı

A

Şekil 3.1. Reaktör düzeneği

### 3.3. Metod

Deneysel çalışmalar süresince Toplam Katı Madde (TKM) ve Uçucu Katı Madde (UKM) sırası ile standart metodlar kitabı takip edilerek 2540-B ve 2540-E metodları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) deneyi için (SM 4500-Norg B) metodu izlenmiş olup  $\text{CuSO}_4$  katalizörü kullanılarak  $\text{H}_2\text{SO}_4$  parçalanması sağlanmış, 0,02N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kullanılarak da titrasyon işlemi gerçekleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Alkalinite deneylerinde (SM 2320-B) methodu uygulanmış olup titrasyon işlemi 0,02N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amonyum ölçümleri borat tamponuyla pH 9,1'de,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  içerisine distilasyonun sonrasında 0,02N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kullanılarak titrasyon işlemi uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel analizlerin tamamı standart metotlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Standard Methods, 1998).

Bu çalışmada, reaktörlerden alınan günlük numelerde TUYA miktarları Anderson ve Yang (1992)'ın önerdikleri metod ile yapılmıştır. UYA ölçümleri için numune iki aşamada standart sülfirik asit ile titrasyon işlemine tabi tutulmuştur. pH ilk olarak 5.1'e getirilmiş, ardından 3.5'e kadar titre edilmiştir. Bikarbonat ve toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonları aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Buradaki A1 ve A2, birinci ve ikinci bitiş noktalarında tüketilen standart asidin molar eşdeğerleridir.

$$A1 = \frac{[\text{HCO}_3^-]([\text{H}]_2 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_2 + K_1} + \frac{[\text{VA}]([\text{H}]_2 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_2 + K_2}$$

$$A2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]([\text{H}]_3 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_3 + K_1} + \frac{[\text{VA}]([\text{H}]_3 - [\text{H}]_1)}{[\text{H}]_3 + K_2}$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Bulgular

###### 4.1.1. Hidroliz Reaktörü

Hidroliz reaktörü, Çukurova Üniversitesi Çiftliği'nden temin edilen 3 kg dışkı ve 3 lt çeşme suyu karıştırılarak işletilmiştir. Hidroliz reaktöründe katı madde içeriği %25'tir. Sığır dışkısı, hidroliz reaktöründen 3. gününün sonunda alınarak %5 katı içeriğine sahip olacak şekilde, 11. gün sonunda %10 katı içeriğine sahip olacak şekilde ve son olarak 19. günde %15 katı içeriğine sahip olacak şekilde metan reaktörüne aktarılmıştır. Hidroliz reaktöründe bekletilme süresi ve metan reaktörüne yapılan yükleme süreleri dahil olmak üzere, günlük alınan numunelerle hidroliz reaktörüne ait, Toplam Katı madde (TKM), Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM), Yüzde Uçucu Katı Madde giderimi (% UKM), Toplam Alkalinite (TA), Bikarbonat Alkalinitesi (BA), Toplam Uçucu Yağ Asiti (TUYA), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) ve Amonyak değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. UKM giderimi %5 organik katı yükleme için %11 iken, %15 organik katı yükleme için UKM gideriminin %16 olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1. Hidroliz Reaktörü için elde edilen bulgular

Gün	TKM (g/L)	TUKM (g/L)	% UKM Giderimi (Top.)	T.B. (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	T.A. (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	TUYA (mgCaCO <sub>3</sub> /l)
1	227,23±20,45	9,99	%11	2380	230	2150
2		9,85		2260	150	2110
3		9,73		2410	150	2260
4		9,67		2320	160	2160
5		9,52		2700	160	2540
6		9,39		2950	160	2790
7		9,21		3200	140	3060
8		8,93				
9	219,71±19,37	8,84	2,15 (%13)	2700	150	2550
10		8,81		2600	160	2440
11		8,81		2900	150	2750
12		8,78		3250	200	3050
13		8,75		3120	160	2960
14		8,72		3040	150	2890
15		8,66		3070	130	2940
16		8,65		2900	120	2780
17	222,48±13,62	8,61	2,14 (%16)	2740	170	2570
18		8,59		2620	150	2470
19		8,49		2680	160	2520
20		8,40		2810	170	2640

#### 4.1.2. Metan Reaktörü %5 Organik Katı Yükleme

Metan reaktörüne hidroliz reaktöründen yapılan %5 organik katı yükleme ile metan reaktörü 8 gün işletilmiştir. 8 gün boyunca günlük olarak alınan numunelerle TKM, TUKM, % UKM giderimi, TA, BA, TUYA, biyogaz ve metan ölçümleri aşağıdaki Çizelge 4.2'de verilmiştir. UKM giderimi 8. günün sonunda %11,09 olarak elde edilmiştir. Bunun yanın sıra biyogaz metan yüzdesi %38 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Metan reaktörü %5 katı yükleme için elde edilen bulgular

Gün	TKM (g/l)	TUKM (g/l)	T. A. (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	B.A.(mg CaCO <sub>3</sub> /l)	TUYA (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Biyogaz (ml/gün)	Metan (%)
1	89,8	9,67	2030	2550	520	475,61	%38
2	87,2	9,53	1990	2600	610	1123,70	
3	88,1	9,32	1870	2950	1080	1144,82	
4	85,3	9,19	1790	2610	820	808,34	
5	86,1	8,99	1760	2540	780	635,75	
6	88,4	8,86	1710	2410	700	473,33	
7	86,3	8,63	1680	2300	620	349,44	
8	87,8	8,56	1650	2210	560	309,73	

#### 4.1.3. Metan Reaktörü %10 Organik Katı Yükleme

Metan reaktörü, %5 organik katı yüklemenin ardından reaktör içerisinde sadece dip çamur kalacak şekilde üst faz boşaltılmış, hidroliz reaktöründen yapılan % 10 organik katı yükleme ile metan reaktörü 8 gün işletilmiştir. % 10 organik katı yükleme için 8 gün boyunca günlük olarak alınan numunelerle TKM, TUKM, %UKM giderimi, TA, BA, TUYA, TKN, amonyak, biyogaz ve metan ölçümleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. UKM giderimi 8 günlük sürenin sonunda %14,67 olarak elde edilmiş, bunun yanı sıra biyogaz metan yüzdesinin % 61 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Metan reaktörü %10 katı yükleme için elde edilen bulgular

Gün	TKM (g/l)	TUKM (g/l)	T. Alk (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	B.A. (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	TUYA (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Biyogaz (ml/gün)	Metan
1	133,6	9,99	3170	4610	1440	1788,94	%61
2	110,2	9,74	3170	4750	1580	2373,41	
3	129,5	9,41	2990	4980	1990	3121,46	
4	118,3	9,22	2940	4810	1870	2851,24	
5	135,1	9,00	2870	4620	1750	2419,95	
6	126,2	8,78	2850	4480	1630	2361,52	
7	118,1	8,52	2820	4270	1450	1738,87	

#### 4.1.4. Metan Reaktörü %15 Organik Katı Yükleme

Metan reaktörü, %10 organik katı yüklemenin ardından reaktör içerisinde sadece dip çamur kalacak şekilde üst faz boşaltılmış, hidroliz reaktöründen yapılan % 15 organik katı yükleme ile metan reaktörü 8 gün işletilmiştir. % 15 organik katı yükleme için 8 gün boyunca günlük olarak alınan numunelerle TKM, TUKM, %UKM giderimi, TA, BA, TUYA, TKN, amonyak, biyogaz ve metan ölçümleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Metan reaktörüne %15 organik katı yükleme ile 3. günün sonunda ortalama %80 metan üretimi elde edilmiş, bunun yanında %17,85 UKM giderimi sağlanmıştır.

Çizelge 4.4. Metan reaktörü %15 katı yükleme için elde edilen bulgular

Gün	TKM (g/l)	TUKM (g/l)	T. A. (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	B.A. (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	TUYA (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Biyogaz (ml/gün)	Metan
1	316	10,55	4420	5870	1450	18122,56	%80
2	330,3	10,42	4300	5790	1490	2652,56	
3	358	10,28	4270	5830	1560	5351,23	
4	342,6	10,10	4180	5690	1510	3051,33	

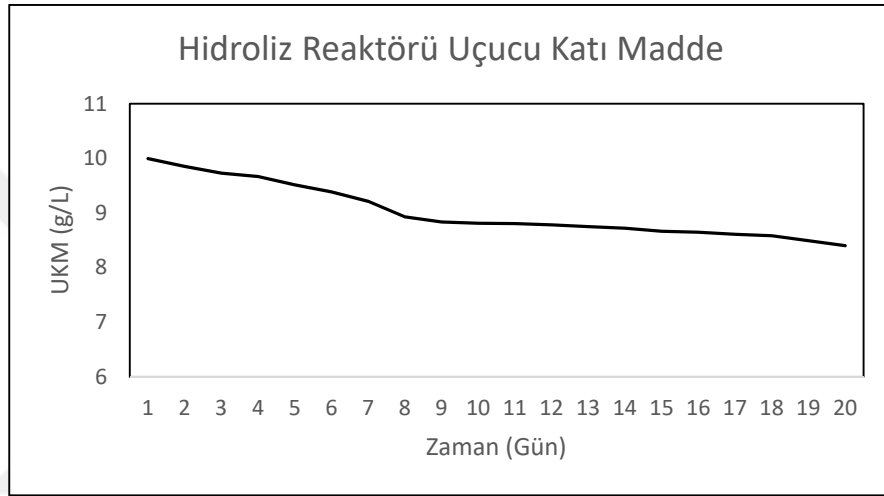
## 4.2. Tartışma

### 4.2.1.Hidroliz Reaktörü

Katı maddelerin besi olarak anaerobik dönüşümünde iki ayrı safha yer alır; bunlar asit üretim safhası ve asit tüketim safhasıdır. Anaerobik hidroliz, çözünmeyen ancak hidrolizlenebilir kompleks organik katıların (selüloz, hemiselüloz vb.) amino asit, şeker ve uzun zincirli yağ asitleri gibi monomerlere dönüşmesi olarak ifade edilirken, fermantasyon ise amino asit ve şekerlerin uçucu yağ asitlerine dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Myint ve ark., 2007). Bu çalışmada kullanılan hidroliz reaktörü pH 5.8'e ayarlanarak anaerobik hidrolizin yukarıda açıklanan iki basamağının takibi için TKM ve TUKM'nin yanı sıra TUYA analizleri de çalışma boyunca ölçülmüştür.

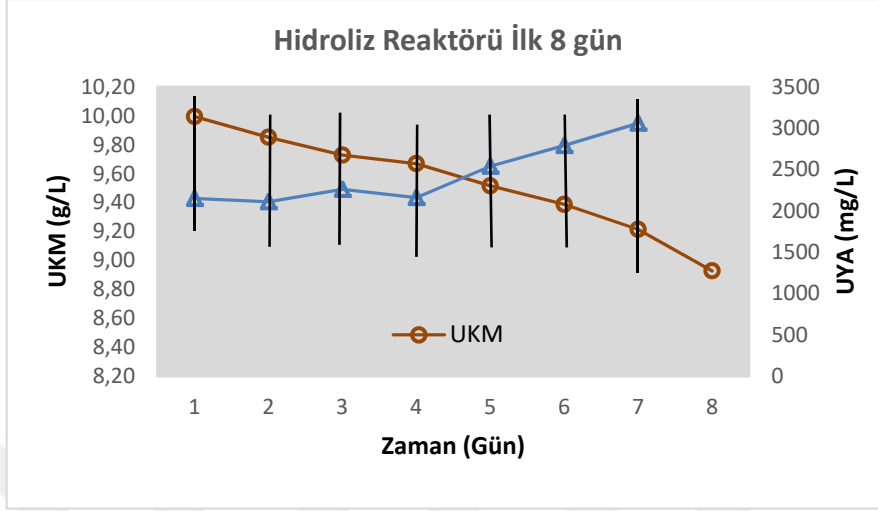
TKM, ilk 8 günlük, 8.-16., 16.-20. günler arasında sırası ile 227,23±20,45 g/l, 219,71±19,37 g/l, 222,48±13,62 g/l olarak belirlenmiştir. TKM giderimi açısından herhangi anlamlı bir değişim gözlenmezken, TUKM giderimleri %11, %13,4 ve %16 olarak gözlenmiştir. TUKM değeri 20. günün sonunda 9,99 g/l'den 8,40 g/l'ye düştüğü belirlenmiş olup (Çizelge 4.1), toplamda %16 TUKM giderimi tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Ancak ilk 8 günün sonunda elde edilen giderim %11 ile 20. günün sonunda elde edilen %16 giderim oranları karşılaştırıldığında hidroliz reaktörü için 8 günlük bekleme süresinin yeterli olduğu görülmektedir. Yılmaz ve

Demirer (2000), sığır atıklarının anaerobik bozunmasının iki fazlı (asidojenik ve metanojenik) sistemde araştırdıkları çalışmalarında; yüksek katı içeriği olan sığır dışkısının asidifikasyon fazında hidrolizin iyi olmasının UKM giderimini arttırdığını bildirmişlerdir. Ancak araştırmacılar, çalışmalarında sürekli besleme boşaltma nedeni ile TUKM giderimini takip edemediklerini belirtmişlerdir.



Şekil 4.1. Hidroliz reaktörlerinde UKM giderimi

Katı maddelerin anaerobik dönüşümde TUYA/Alkalinite oranı, parçalayıcı performansı takip edilirken en önemli parametredir (Wang ve ark., 2007). Reaktör içerisinde artan TUYA konsantrasyonuna karşın, alkalinite ihtiyacı yeterli değilse, bu oran yükselecek ve reaktör içerisinde pH değeri metanojen bakteriler için kritik seviyelere düşecektir. Böylelikle TUYA'nın metana dönüşümü engellenmiş olacaktır (Speece, 1996). Bu çalışmada olduğu gibi iki fazlı fermantasyon prosesinde ise metan üretim fazı boyunca TUYA içeriğini düzenlerken metan üretim hızını ve TUYA giderim hızını arttırmaktadır (Chen ve ark., 2015). Çalışma boyunca hidroliz reaktöründe azalan TUKM'ye karşın TUYA'nın artışı bu açıdan önem arz etmektedir.

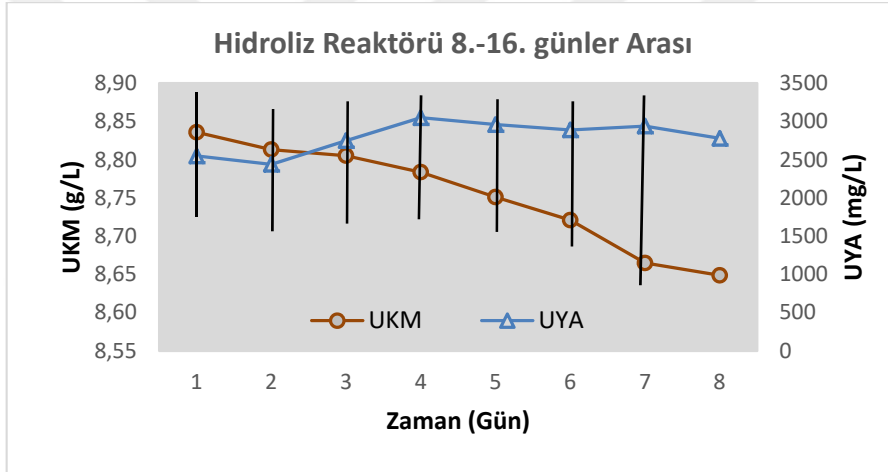


Şekil 4.2. Hidroliz reaktörlerinde TUKM-TUYA ilişkisi

Hidroliz reaktöründe TUKM-TUYA ilişkisi ilk sekiz gün için Şekil 4.2’de verilmiştir. TUKM giderimi %11 iken, TUYA konsantrasyonu 2110 mgCaCO<sub>3</sub>/l’den 3060 mgCaCO<sub>3</sub>/l’ye yükselmiştir. Hidroliz reaktöründe ilk 8 günde TUYA artışı %45’tir. Yılmaz ve Demirel (2000), katı ve hidrolik alıkonma sürelerinin eşit olduğu 9 çift asidojenik anaerobik reaktör ile yaptıkları çalışmalarında, sırası ile 5, 10 ve 15 g UKM/l gün organik yükleme hızı ile 4 günlük katı alıkonma süresinde, 500 mg/l UYA konsantrasyonu değerinden sırası ile 806, 1444 ve 2236 mg/l UYA miktarlarını bildirmişlerdir.

Bu çalışmada 227,23 g UKM/l olan yüksek organik yükleme ile yapılan hidroliz reaktöründe 7. günde 3060 mg/l UYA konsantrasyonu ve %45 TUYA artışı tespit edilmiştir. 10 g UKM/l organik yük değerlerinde araştırmacıların tespit ettikleri 1444 mg/l UYA değerinin bu çalışmada aynı organik yük değeri için 2320 mg/l olmasının nedeni ise, reaktörlerin pH değerleri arasındaki fark olarak düşünülmektedir. Araştırmacılar yukarıda verilen reaktör pH değerini 6.38 olarak bildirirken bu çalışmada kullanılan hidroliz reaktörünün pH değeri 5.8’dir. Oysa ki metanejenler için uygun pH değerinin 6,5-8,2 aralığında olduğunu bildirilmektedir (Speece, 1996).

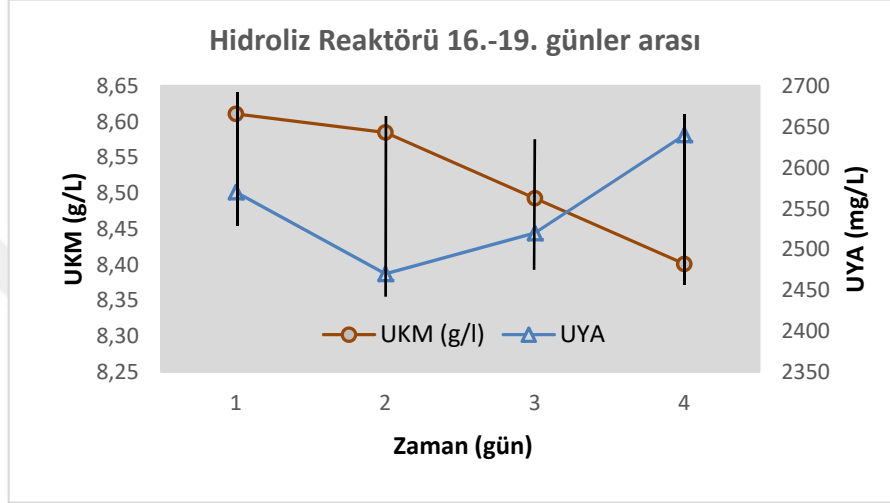
Hidroliz reaktöründen alınan günlük numunelerle yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, TKM değerleri için eksponansiyel bir sonuç elde edilememiştir. Bunun sebebinin kullanılan reaktörün tam karıştırılabilir olmamasından kaynaklı olarak numune alma esnasında homojenizasyonun sağlanamaması olduğu düşünülmektedir. Büyükbaş hayvan dışkılarının iki fazlı anaerobik reaktörlerde bertarafının incelendiği bir araştırmada 20 günlük bekletme süresi sonunda TKM giderim veriminin %4 civarında olduğu, bekletme süresi 40 güne yükseltildiğinde ise TKM gideriminin %38 seviyesine yükseldiği bildirilmiştir (Coşkun, 2011).



Şekil 4.3. %10 TKM Hidroliz Reaktöründe UKM ile UYA ilişkisi

Hidroliz reaktöründe uçucu katı madde konsantrasyonu zamanla azalırken UYA konsantrasyonunun artması yukarıda da tartışıldığı üzere beklenen bir durumdur. Ancak ilk 8 günde UKM'nin UYA'ya dönüşüm hızı daha yüksek iken 9. ve 16. günler arasında azalma göstermiş, son 3 günde daha da azalma kaydedilmiştir. Bu durum hidroliz reaktöründe katı alıkonma süresi bakımından 8 günün yeterli olduğunu göstermektedir.

Yılmaz ve Demirer (2000), çalışmalarında, toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonu tek fazlı çalışan reaktörde, iki fazlı çalışan reaktöre kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir.



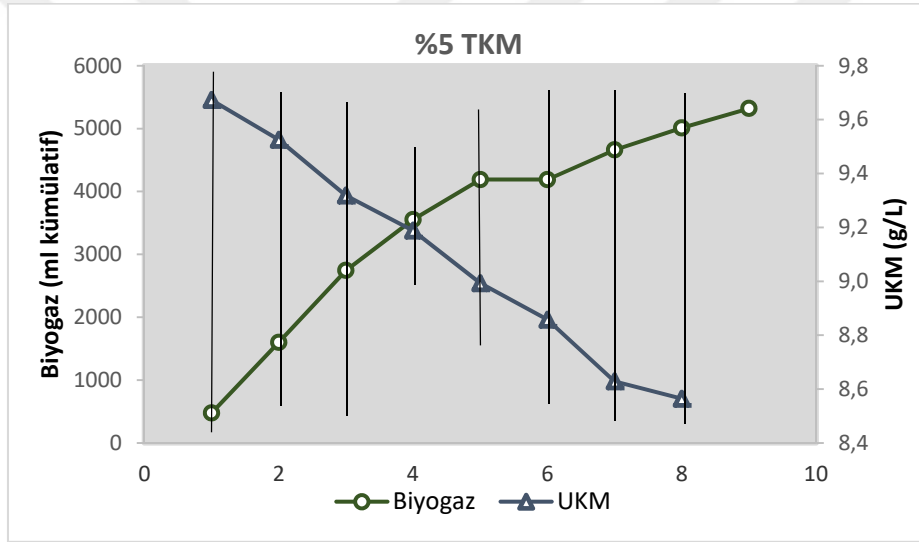
Şekil 4.4. %15 TKM Hidroliz Reaktöründe UKM ile UYA ilişkisi

#### 4.2.2. %5 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü

Çamur formunda organik maddelerin anaerobik parçalanması üzerine yapılan birçok çalışmada, proses boyunca hidrolizin hız sınırlayıcı basamak olduğu bildirilmiştir (Myint ve ark., 2007; Noykova ve ark., 2002). Bunun yanı sıra iki fazlı anaerobik parçalanmanın geleneksel tek fazlı prosese göre birçok avantajı olduğu bilinmektedir. Bu iki faz için gerekli çevre koşulları ve bakteri türlerinin zenginliğinin yanı sıra, proses stabilitesi ve yüksek organik yükleme, kısa hidrolik bekleme süreleri gibi avantajlarından bahsetmek mümkündür (Demirer ve Chen, 2005).

Bu çalışmada %5 organik katı yükleme oranında metan reaktöründe, reaktörün litresi başına günlük 2,13 L/L biyogaz elde edilmiştir. Sığır dışkısının anaerobik arıtımında karıştırmanın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, %5 organik katı yükleme oranında karıştırmanın biyogaz üretimine bir katkısı olmadığı

bildirilirken, 16,2 gün olan hidrolik bekleme süresi ve 3,1 g/l gün katı madde yüklemesi için üretilen biyogaz 0,84-0,94 L/L gün olarak bildirilmiştir (Karim ve ark., 2005). Bu çalışmada ise literatüre göre daha kısa olan hidrolik bekleme süresi (8 gün) ve daha yüksek gün katı madde yüklemesi (9,99 g/l) ile üretilen biyogazın oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hidroliz reaktöründen aktarılan dışkı için, UYA değerlerindeki artış ile birlikte metan reaktöründeki süre ve toplam 16 günde hem reaktör stabilitesi hem de biyogaz üretim miktarları literatür değerlerinin üzerinde seyretmiştir.



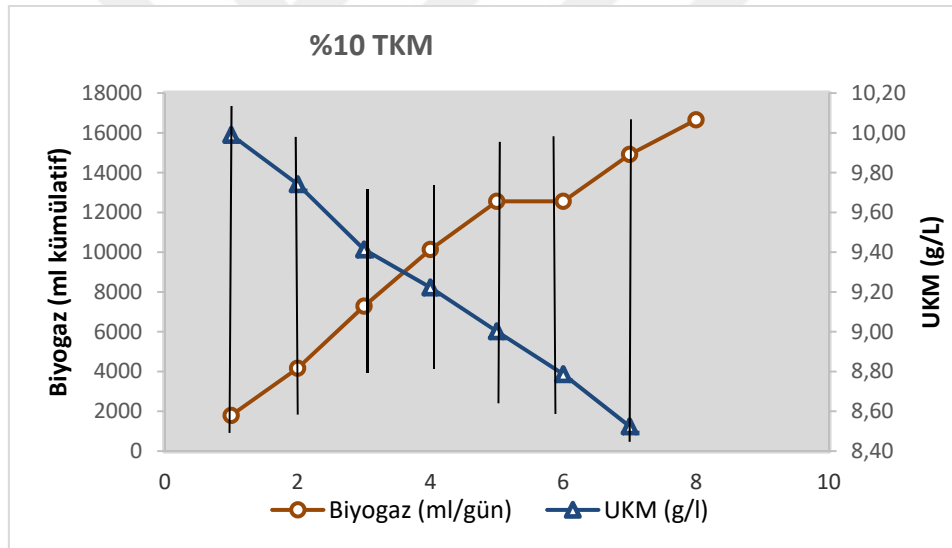
Şekil 4.5. %5 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi

İki fazlı anaerobik proses, metan üretme fazında organik asitlerin içeriğini düzenler ve böylece, metan üretimi ve uçucu yağ asitlerinin giderimi oranları artırır (Chen ve ark., 2015). Organik maddenin biyoparçalanabilirliğinin değerlendirilmesinde uçucu madde miktarı kullanılabilirken, aynı zamanda reaktör içerisinde uçucu yağ asidi tüketimi yüksek olduğu zaman gaz oluşumunun arttığı bilinmektedir (Yılmaz ve ark., 2008). %5 katı içeriği olan metan reaktöründe biyogaz üretimi 3. gün 1144,82 ml/gün olarak en yüksek değere ulaşmıştır. 8. güne

kadar biyogaz üretimi azalarak devam etmiştir. Aynı reaktörde UKM giderimi 8. günün sonunda %11,09 olarak gözlenirken kümülatif biyogaz miktarı 5321 ml/gün değerine ulaşmıştır (Şekil 4.5).

#### 4.2.3.%10 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü

Deneysel çalışmada kullanılan reaktörde 8 günlük hidrolik bekleme süresinde, tam karıştırmalı sistem olmamasından kaynaklı olarak numune alma sırasında homojenizasyon sağlanamadığı için TKM için bir miktar artma veya azalma gözlemlenememiş, ancak 8 günün sonunda UKM miktarı düşüş göstererek, %UKM giderimi %14,67 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6. %10 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi

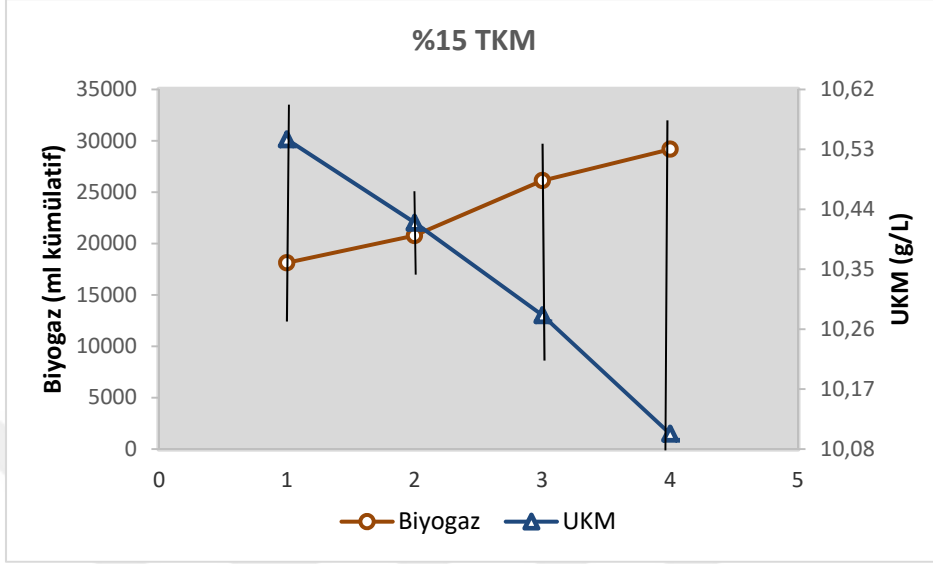
Sığır atıklarının anaerobik parçalanabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, mezofilik sıcaklıktaki reaktör için, 20 günlük hidrolik bekleme süresinde uçucu katı madde giderim veriminin %23-30 aralığında olduğu bildirilmiştir (Coşkun, 2011). Bahsedilen deneysel çalışma 16. haftaya ulaştığında, UKM gideriminin

%41'e yükseldiği bildirilmiştir. Bu çalışmada hidroliz reaktörü ile birlikte toplamda 16 gün sonunda %15 UKM giderimi tespit edilmiştir.

Summers ve ark., (1987), sığır dışkısının anaerobik bertarafı için yaptıkları çalışmada, %5-7,5 KM içeriği olan mezofilik sıcaklık aralığında, 20 gün olan KAS için üretilen biyogaz miktarını 170 ml/g KM beslenen olduğu bildirirken %32 KM giderimi tespit etmişlerdir. Bu çalışma için %10 katı yükleme oranında çalışan metan reaktöründe 7 gün olan kısa KAS süresine rağmen 133,9 ml /g KM biyogaz üretimi elde edilirken %11 KM giderimi ve %14,67 UKM giderimi tespit edilmiştir (Şekil 4.6).

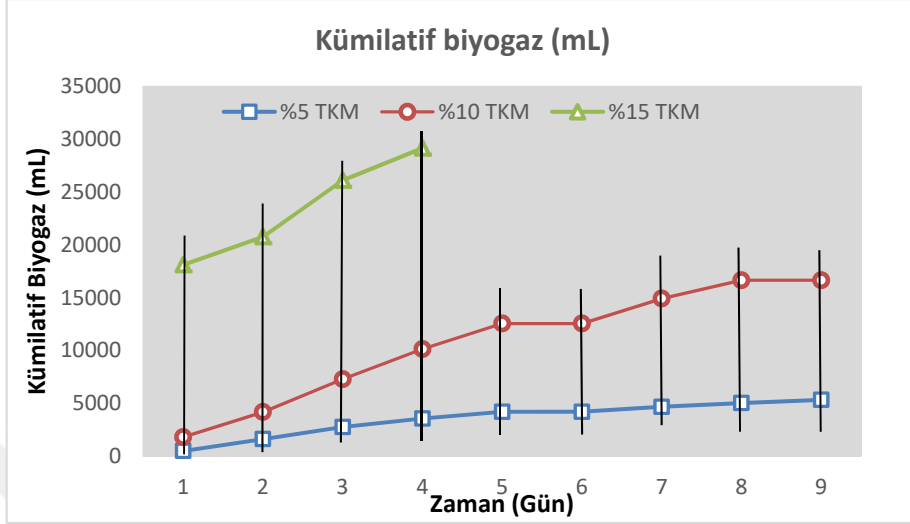
#### **4.2.4. %15 Organik Katı Yükleme Metan Reaktörü**

Bu katı yükleme oranında en dikkat çekici durum biyogazın yüksek (%80) metan yüzdesidir. Yapılan benzer çalışmalarda daha düşük TK ve UKM (%6 ve %4 sırası ile) oranlarında ve daha uzun KAS süreleri ile metan yüzdeleri sırası ile en fazla %54 ve %66 bulunmuştur (Wang ve ark., 2018; Karim ve ark., 2005). Biyogazdaki metan yüzdesinin artışı, anaerobik parçalanmanın sonucu olan metan miktarı ile atık olan dışkının enerji amaçlı kullanımını da değerli bir alternatif haline getirmektedir



Şekil 4.7. %15 Metan Reaktöründe UKM ile Biyogaz ilişkisi

Metan reaktöründe UKM gideriminin yüksek olması, asidifikasyon aşamasında hidroliz veriminin yüksek olduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2008). Bu sebeple yüksek katı içeriği olan sığır dışısının iki fazlı anaerobik prosesinde, metan reaktöründe UKM kontrolü önemlidir. Şekil 4.7’de gösterildiği gibi organik yükleme %15’e ulaştığında biyogaz verimi en yüksek seviyelere ulaşırken (18122,16 ml/gün), 3. günün sonunda bir önceki katı madde yükleme oranına göre artış göstererek %17,85 UKM giderimi elde edilmiştir.



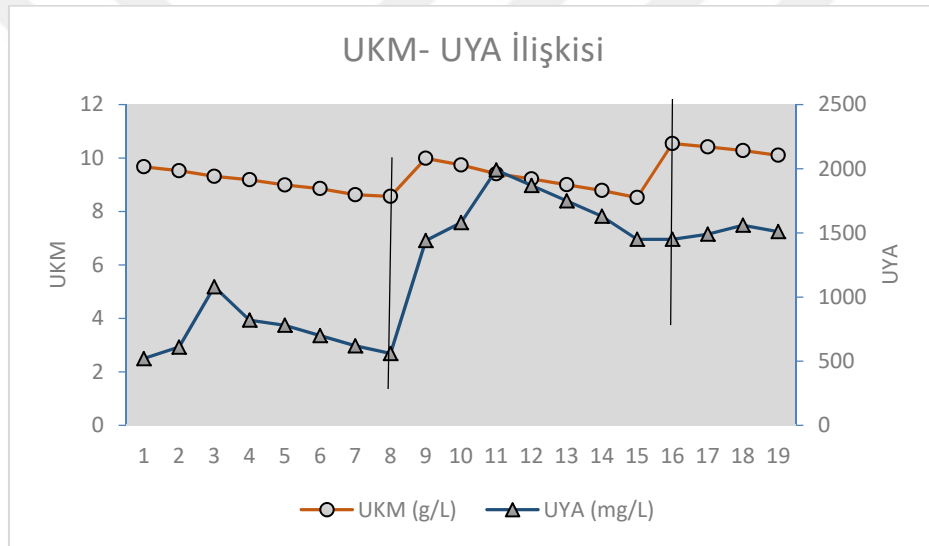
Şekil 4.8. Metan Reaktörlerinde Kümülatif Biyogaz

Bu çalışmada kullanılan biyogazın toplandığı kolonlar yaklaşık 2,3 lt hacme sahiptir. Katı madde yükleme oranlarına bağlı olarak günlük elde edilen biyogaz üretimindeki artış ile birlikte bu durum, gün içerisinde üretilen biyogaz kayıt edildikten birkaç kez sonra kolonun boşalmasına neden olmuştur. Bu nedenle gaz toplama kolonunda hesaplanan günlük biyogaz miktarlarının yanı sıra kümülatif biyogazın, reaktör içeriğindeki organik maddenin artması ile artışını daha net göstermektedir (Şekil 4.8). %5 ve %10 katı yükleme oranlarında ilk günden itibaren üretilen biyogaz miktarları benzer iken, %15 katı yükleme oranında, %5 ve %10 katı yükleme oranlarına göre ilk günden itibaren belirgin ve ani bir artış görülmektedir (18122,16 ml/gün, Şekil 4.8). Bu durum reaktör içerisindeki metan bakterilerinin stabilitesini göstermektedir (Duan ve ark., 2019).

Metan reaktöründe her üç organik yüklemede de azot konsantrasyonları için toksite gözlenmemiştir.

#### 4.2.5. Metan Reaktörlerinde UKM-UYA İlişkisi

Wang ve ark. (2018), reaktör içeriği %6 TK olan geyik dışkısı ve mantar atıklarının anaerobik mezofilik parçalanmasında biyogaz süzütüsü ekleyerek biyogazın artışı incelemiştir. Çalışmalarında ilk fazda 25 güne varan uzun pH 5.5'te asidifikasyon aşamasının ardından %10, %30 ve %50 oranlarında biyogaz süzütüsü ekleyerek kümülatif metan miktarında bir miktar artış olduğunu bildirmişlerdir. Ancak bu ilk %10'luk eklemeye bile UYA değerini 8000 mg/l olarak gözlemlediklerini bildirmişlerdir.



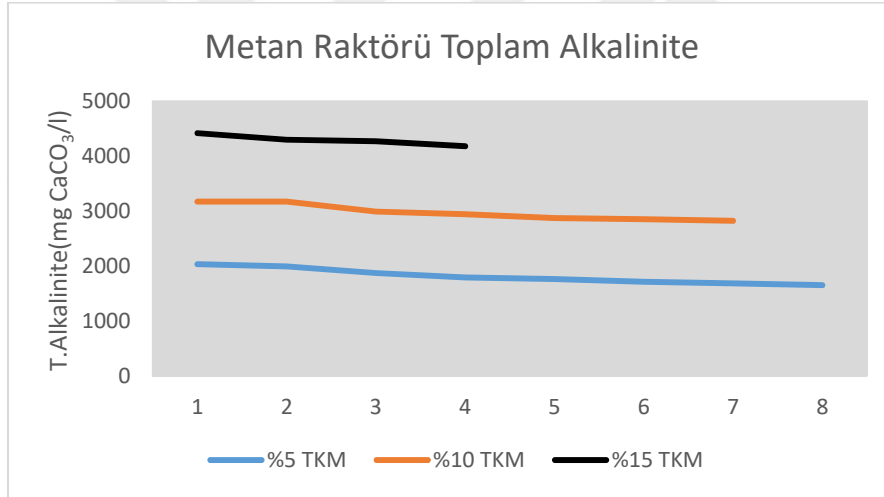
Şekil 4.9. Metan Reaktöründe UKM, UYA ilişkisi

Bu çalışmada ise yüksek TK (%15) içeriğine rağmen, daha kısa olan hidroliz sürelerinde en yüksek UYA değerleri 1990 mg CaCO<sub>3</sub>/l olarak gözlenmiştir. Bu yüksek UYA değeri ise %10 katı yükleme aşamasında anlaktır. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere 5. günde UYA değeri 1500 mg CaCO<sub>3</sub>/l'e kadar düşmüştür. Reaktör içerisinde UYA'nın metan ve karbondioksit dönüşümü ve besinde organik azotun alkalinite üretimi ile UYA değerlerinin düşmesini açıklamaktadır.

Aynı zamanda UKM değerlerinde, her bir TK yükleme oranlarında belirgin bir azalma görülmüştür (Şekil 4.9).

#### 4.2.6. Metan Reaktörlerinde Toplam Alkalinite ve UYA

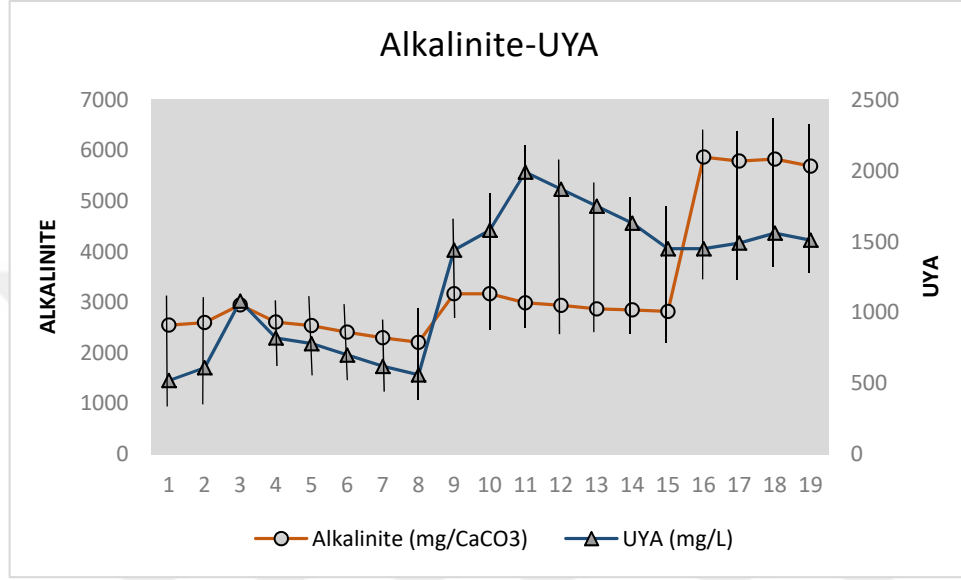
Birçok besinin özelliğinden dolayı anaerobik metabolizma boyunca alkalinite üretildiği bilinmektedir. Sığır dışkısında bulunan organik azot bileşiklerinin anaerobik indirgenmesinde alkalinite üretimi ve artışı gözlenmektedir. Anaerobik proses için, bikarbonat alkalinitesi kadar, serbest yağ asitleri için tamponlama görevi yapacak olan depo bikarbonat alkalinitesi de izleme parametrelerinden biridir (Speece, 1996). Bikarbonat ve toplam alkalinite (UYA içerir) ayrımı önemlidir.



Şekil 4.10. Metan Reaktörlerinde Alkalinite

Anaerobik reaktörlerde alkalinite ve UYA'nın yanı sıra TA/T.Alkalinite oranı reaktörün stabilitesini belirlemektedir (Öztürk, 1999). TA/T.Alkalinite oranının anaerobik bakteriler için 0,1 değerinin altında olması gerektiğini bildirilmiştir. 0,3-0,4 oranları ise reaktör için kritik değerler olarak literatürde

önerilmektedir (Parkin ve Owen, 1986; Fanin, 1987; Borja ve ark., 1998). Bu çalışmada TA/T.Alkalinite oranları kritik değere hiç ulaşmamıştır.



Şekil 4.11. Metan Reaktörlerinde Alkalinite-UYA İlişkisi

Çalışmada artan organik yükleme miktarlarına bağlı olarak alkalinite artışı görülmektedir (Şekil 4.10). Reaktör içeriğinde serbest UYA'nın pH değerini düşürmemesi için alkalinite değerinin de stabil olması önemlidir. Bikarbonat değerleri, reaktör içerisinde pH değerinin düşmesini engellediği gibi aynı zamanda reaktörün, artan organik yüklemeler ile artan UYA konsantrasyonlarına rağmen yeterli tamponlama kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.11).



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Çiftliği'nden temin edilen sığır dışkısının iki fazlı anaerobik sistemde reaktör işletme parametreleri ile birlikte biyogaz üretimleri incelenmiştir. Hidroliz ve metan olmak üzere iki adet reaktör ile çalışılmıştır. Hidroliz reaktörü pH 5.80'de ve oda sıcaklığında işletilmiştir. Geri dönüşümün olmadığı reaktörde katı ve hidrolik alıkonma süreleri (KAS/HAS) eşittir. İşletmeye alınmasının 8. gününde toplam katı maddede miktarında bir değişim gözlenmezken uçucu katı madde için %11 giderim ve uçucu yağ asit konsantrasyonunda ise %45 artış gözlenmiştir. TKM, ilk 8 günlük, 8.-16., 16.-20. günler arasında sırası ile  $227,23 \pm 20,45$  g/l,  $219,71 \pm 19,37$  g/l,  $222,48 \pm 13,62$  g/l belirlenmiştir. TKM giderimi açısından herhangi anlamlı bir değişim gözlenmezken, TUKM giderimleri %11, %13 ve %16 olarak gözlenmiştir. TUKM değerinin 20. günün sonunda 9,99 g/l'den 8,40 g/l'ye düştüğü belirlenmiş olup toplamda %16 TUKM giderimi tespit edilmiştir. Hidroliz reaktöründe ilk sekiz gün için TUKM giderimi %11 iken, TUYA konsantrasyonu 2110 mgCaCO<sub>3</sub>/l'den 3060 mgCaCO<sub>3</sub>/l'ye yükselmiştir. Hidroliz reaktöründe ilk 8 günde TUYA artışı %45'tir. 20. günde uçucu katı madde gideriminin yalnızca %16'ya yükselmesi 8 günlük katı alıkonma süresinin hidroliz reaktörü için yeterli olduğunu göstermektedir. %10 katı yükleme oranında çalışan metan reaktörü için 7 gün olan kısa KAS süresine rağmen 133,9 ml /g KM biyogaz üretimi elde edilirken %11 KM giderimi ve %14,67 UKM giderimi tespit edilmiştir.

Metan reaktörü 38 °C sıcaklık ve pH 7,5'te işletilmiştir. Organik katı madde içeriği %5, %10 ve %15 olmak üzere 7 gün boyunca biyogaz üretimleri ile birlikte toplam katı, uçucu katı, toplam ve bikarbonat alkalinite ve uçucu yağ asitleri günlük olarak takip edilmiştir. UKM giderimi %5 organik katı yükleme için %11 iken, %15 organik katı yükleme için UKM giderimi %17,85 olarak gözlemlenmiştir. %5 katı içeriği olan metan reaktöründe biyogaz üretimi 3. gün 1144,82 ml/gün olarak en yüksek değere ulaşmıştır. 8. güne kadar biyogaz üretimi

azalarak devam etmiştir. Aynı reaktörde UKM giderimi 8. günün sonunda %11,09 giderim gözlenirken kümülatif biyogaz miktarı 5321 ml/gün değerine ulaşmıştır. Organik yükleme %15'e ulaştığında biyogaz verimi en yüksek seviyelere çıkarken (18122,16 ml/gün), 3 günün sonunda bir önceki katı madde yükleme oranına göre artış göstererek %17,85 UKM giderimi elde edilmiştir. %5 ve %10 katı yükleme oranlarında ilk günden itibaren üretilen biyogaz miktarları benzer iken, %15 katı yükleme oranında belirgin ve ani bir artış görülmektedir. Bu durum reaktör içerisindeki metan bakterilerinin stabilitesini göstermektedir (Duan ve ark., 2019). Metan reaktöründe her üç organik yüklemede de azot konsantrasyonları için toksitite gözlenmemiştir. Reaktör içeriğindeki organik katı madde içeriğinin artması ile birlikte biyogaz miktarları artarken, metan yüzdeleri de %38, %61 ve %80'e kadar artmıştır. Metan reaktöründe %15 organik katı madde yükleme değerinde en yüksek metan yüzdesi gözlenirken, reaktör içindeki metan bakterilerinin aklımasyonu sırasında herhangi bir toksitite gözlenmemiştir.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında hidroliz reaktörünün, daha yüksek katı madde içeriğine sahip ve daha kısa katı bekleme sürelerinde işletilmesi önerilmektedir. Metan reaktörleri için benzer olarak daha yüksek katı madde içeriği ve daha uzun bekletme süresi ile biyogazın üretimine ait kinetik bir çalışma önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, Ö., Yanar, M., Tüzemen, N. ve Bayram, B., 2004. Türkiye’de Et Üretimini Artırılması İçin Kültür Irkı Sığırlardan Yararlanma İmkanları. 4. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, Türkiye, 01-03.
- Alagöz, T., Kumova, Y., Atılgan, A. ve Akyüz, A., 1996. Hayvancılık Tesislerinde Ortaya Çıkan Zararlı Atıklar ve Yarattığı Çevre Kirliliği Üzerine Bir Araştırma. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu “Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı”, Mersin Üniv. Müh. Fak., Mersin, 441-448.
- Ali Shah, F., Mahmood, Q., Maroof Shah, M., Pervez, A. ve Ahmad Asad, S., 2014. Microbial ecology of anaerobic digesters: the key players of anaerobiosis. The Scientific World Journal.
- Anderson, G. K. ve Yang, G., 1992. Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration. Water Environment Research, 64(1), 53-59.
- Anjan, K.K., Shiv, P.S., 2001. Effect of mixing digested slurry on the rate of biogas production from dairy manure in batch fermenter”, Energy Sources, 23 (8), 711.
- Atılgan, A., Erkan, M., Saltuk, B. ve Alagöz, T., 2006. Akdeniz Bölgesindeki hayvancılık işletmelerinde gübrenin yarattığı çevre kirliliği. Ekoloji, 15(58), 1-7.
- Atılgan, A., Erkan, M., Saltuk, B. ve Alagöz, T., 2006. Akdeniz Bölgesindeki hayvancılık işletmelerinde gübrenin yarattığı çevre kirliliği. Ekoloji, 15(58), 1-7.
- Baird, J. V., Zublena, J. P. ve Hodges, S. C., 1994. Nitrogen management and water quality. AG (North Carolina Agricultural Extension Service)(USA).

- Başarır, E. P., 2008. Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Çevre Odaklı Kırsal Kalkınma Politikaları. AB Uzmanlık Tezi, Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı Dış İlişkiler Ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı.
- Bennett, E. M., Carpenter, S. R. ve Caraco, N. F., 2001. Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: a global perspective: increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication. *BioScience*, 51(3), 227-234.
- Biogas Plant: A manual, Tata Energy Research Institute, New Delhi,
- Bodik, I., Sedlacek, S., Kubaska, M., Hutnan, M., 2010. Perspectives of biogas production from restaurant waste on Slovak municipal wastewater treatment plants, 37th International Conference of SSCHE, Tatranské Matliare, Slovakia, 1119.
- Borja, R., Banks, C. J., Wang, Z. ve Mancha, A., 1998. Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater using a combination sludge blanket and filter arrangement in a single reactor. *Bioresource technology*, 65(1-2), 125-133.
- Braun, R., Weiland, P. ve Wellinger, A., 2008. Biogas from energy crop digestion. In IEA bioenergy task (Vol. 37, pp. 1-20).
- Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K., Forster, C.F., 2002. Continuous codigestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass & Bioenergy*, 27, 71.
- Chen, C., Zheng, D., Liu, G. J., Deng, L. W., Long, Y. ve Fan, Z. H., 2015. Continuous dry fermentation of swine manure for biogas production. *Waste management*, 38, 436-442.
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P. ve Amon, B., 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, ecosystems & environment*, 112(2-3), 171-177.

- Coşkun, T., Manav, N., Debik, E., Binici, M. S., Tosun, C., Mehmetli, E. ve Baban, A., 2011. Anaerobic Digestion Of Cattle Manure. *Sigma*, 3, 1-9.
- Çiçek, O. A., 2014. Farklı Çiftlik Atıklarının Birlikte Çürütülmesi Ve Gaz Üretim Optimizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demirer, G. N. ve Chen, S., 2005. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. *Process biochemistry*, 40(11), 3542-3549.
- Dişbudak, 2008. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığında İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı AB Uzmanlık Tezi.
- Doğan, M., 2000. Enerji kaynakları, Çevre Sorunları ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları Standart Dergisi, 39/468, 28-3610.
- Duan, N., Zhang, D., Lin, C., Zhang, Y., Zhao, L., Liu, H. ve Liu, Z., 2019. Effect of organic loading rate on anaerobic digestion of pig manure: Methane production, mass flow, reactor scale and heating scenarios. *Journal of environmental management*, 231, 646-652.
- Dutta, D., Kurup, R.G. ve Venkata, R.P., 1994. Construction of
- Fannin, K. F., 1987. Start-up, operation, stability, and control. *Start-up, operation, stability, and control.*, 171-196.
- Federation, W. E. American Public Health Association., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- Freibauer, A., 2003. Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture. *European Journal of Agronomy*, 19(2), 135-160.
- Ghimire, P.C., 2013. SNV supported domestic biogas programmes in Asia and Africa. *Renewable Energy*, 49, 90-94.
- Gregory, J., Stocker, T., Lemke, P. ve Bindoff, N., 2007. *Climate change 2007: the physical science basis.*

- Hodgkin, E. P. ve Hamilton, B. H., 1993. Fertilizers and eutrophication in southwestern Australia: setting the scene. *Fertilizer Research*, 36(2), 95-103.
- Huang, W. Y. ve Uri, N. D., 1994. The effect of farming practices on reducing excess nitrogen fertilizer use. *Water, Air, and Soil Pollution*, 77(1-2), 79-95.
- IPCC. 2001. Third Assessment Report – Climate Change 2001. Climate Change 2001.
- İlkılıç, C. ve Deviren, H., 2011. Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel Ve Kimyasal Parametreler. In 6th International Advanced Technologies Symposium, syf 16-18.
- İlkılıç, C. ve Deviren, H., 2011. Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler. 6th, 16-18.
- Kanat, A.İ., 2017. Atıksu Arıtma Tesislerinde Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Uygulanabilirlik Analizi. İller Bankası Anonim Şirketi. 77.
- Karakashev, D., Damien J.B. ve Irini A., 2005. Influence of Environmental Conditions on Methanogenic Compositions in Anaerobic Biogas Reactors. *Applied and environmental microbiology* 71:331-338.
- Karakuş, K., 2011. Türkiye'nin canlı hayvan ve kırmızı et ithaline genel bir bakış. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Türkiye*, 1(1), 75-79.
- Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, K. T. ve Al-Dahhan, M. H., 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. *Water research*, 39(15), 3597-3606.
- Karkacıer, O., 2000. Türkiye süt ve süt ürünleri ithal talep analizi. *Turk J Agric For* 24, 421-427.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T. ve Dawson, L., 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste management*, 31(8), 1737-1744.

- Khan, E. U., Mainali, B., Martin, A. ve Silveira, S., 2014. Techno-economic analysis of small scale biogas based polygeneration systems: Bangladesh case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 68-78.
- Kishore, V. V. N., Raman, P. ve Rao, V. R., 1987. Fixed dome biogas plants. A design, construction and operation manual. Fixed dome biogas plants. A design, construction and operation manual.
- Korkmaz, Y., Aykanat, S. ve Çil, A., 2012. Organik Atıklardan Biyogaz Ve Enerji Üretimi.
- Kuhn, E., 1998. Kofermentation. Arbeitspapier 249. Kuratorium für technik und bauwesen in der landwirtschaft (ktbl) darmstadt.
- Kumar, A. ve Sharma, M. P., 2014. GHG emission and carbon sequestration potential from MSW of Indian metro cities. *Urban Climate*, 8, 30-41.
- Leggett, J., Graves, R. E. ve Lanyon, L. E., 2006. Anaerobic digestion: biogas production and odor reduction from manure. Pennsylvania State University College of Agricultural Science Cooperative Extension, [http://www. age. psu. edu/extension/factsheets/g G, 77](http://www.age.psu.edu/extension/factsheets/gG,77).
- Lewis, J. J., Hollingsworth, J. W., Chartier, R. T., Cooper, E. M., Foster, W. M., Gomes, G. L.,... Rodes, C. E., 2016. Biogas stoves reduce firewood use, household air pollution, and hospital visits in Odisha, India. *Environmental Science & Technology*, 51(1), 560-569.
- Mahanta, P., Dewan, A., Saha, U. K. ve Kalita, P., 2004. Influence of Temperature and total solid concentration on the gas production rate of biogas digester. *Journal of Energy in Southern Africa*, 15(4), 112-117.
- Manyi-Loh, C., Mamphweli, S., Meyer, E., Okoh, A., Makaka, G. ve Simon, M., 2013. Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy. *International journal of environmental research and public health*, 10(9), 4390-4417.

- Mathot, M., Decruyenaere, V., Stilmant, D. ve Lambert, R., 2012. Effect of cattle diet and manure storage conditions on carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from tie-stall barns and stored solid manure. *Agriculture, ecosystems & environment*, 148, 134-144.
- Mathot, M., Decruyenaere, V., Stilmant, D. ve Lambert, R., 2012. Effect of cattle diet and manure storage conditions on carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from tie-stall barns and stored solid manure. *Agriculture, ecosystems & environment*, 148, 134-144.
- Moset, V., Poulsen, M., Wahid, R., Højberg, O. ve Møller, H. B., 2015. Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology. *Microbial biotechnology*, 8(5), 787-800.
- Myint, M., Nirmalakhandan, N. ve Speece, R. E., 2007. Anaerobic fermentation of cattle manure: Modeling of hydrolysis and acidogenesis. *Water Research*, 41(2), 323-332.
- Nagamani, B. ve Ramasamy, K., 1999. Biogas production technology: an Indian perspective. *Current Science*, 44-55.
- Noykova, N., MuÈller, T. G., Gyllenberg, M. ve Timmer, J., 2002. Quantitative analyses of anaerobic wastewater treatment processes: identifiability and parameter estimation. *Biotechnology and bioengineering*, 78(1), 89-103.
- Noykova, N., MuÈller, T. G., Gyllenberg, M. ve Timmer, J., 2002. Quantitative analyses of anaerobic wastewater treatment processes: identifiability and parameter estimation. *Biotechnology and bioengineering*, 78(1), 89-103.
- Öztürk, M., 2005. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 5, 8-18.
- Öztürk, M., 2005. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 5, 8-18.

- Parkin, G. F. ve Owen, W. F., 1986. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. *Journal of Environmental Engineering*, 112(5), 867-920.
- Peşmen, G. ve Yardımcı, M., 2008. Avrupa Birliği'ne adaylık sürecinde Türkiye hayvancılığının genel durumu. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, Türkiye, 79(3), 51-56.
- Puñal, A., Palazzotto, L., Bouvier, J. C., Conte, T., Steyer, J. P., & Delgenes, J. P., 2002. Automatic control of VFA in anaerobic digestion using a fuzzy logic based approach. In *IWA VII Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion* (pp. 22-25).
- Rittmann, B. E. ve McCarty, P. L., 2001. *Environmental biotechnology: Principles and applications*, McGraw-Hill Int. Editions, London.
- Rulkens, W., 2007. Sewage sludge as a biomass resource for the production of energy: overview and assessment of the various options. *Energy & Fuels*, 22(1), 9-15.
- Sharma, A., Pareek, V. ve Zhang, D., 2015. Biomass pyrolysis—A review of modelling, process parameters and catalytic studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1081-1096.
- Sözer, S., Yıldız, O., 2006. Sığır gübresi ve peynir altı suyu karışımlarından biyogaz üretimi üzerine bir araştırma, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 179.
- Speece, R. E., 1996. Bicarbonate alkalinity. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*, 183-220.
- Standard methods for the examination of water and wastewater (1998). 20th edition. Apha-awwa-wef, washington d.c
- Summers, R., Hobson, P. N., Harries, C. R. ve Richardson, A. J., 1987. Stirred-tank, mesophilic, anaerobic digestion of fattening-cattle wastes and of whole and separated dairy-cattle wastes. *Biological wastes*, 20(1), 43-62.

- Taşkaya B., 2004. Tarım ve çevre, bakış dergisi, 5. Sayı, tarımsal ekonomi araştırma enstitüsü, Ankara.
- Tuik, 2007. Tarımsal göstergeler. Türkiye ulusal istatistik kurumu ([www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)).
- Verma, S., 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth & Environmental Engineering, 56s.
- Vural, H. ve Fidan, H., 2007. Türkiye'de Hayvansal Üretim Ve Hayvancılık İşletmelerinin Özellikleri. Tarım Ekonomisi Dergisi, 13(1 ve 2), 49-59.
- Wang, H., Xu, J., Sheng, L. ve Liu, X., 2018. Effect of addition of biogas slurry for anaerobic fermentation of deer manure on biogas production. Energy, 165, 411-418.
- Wang, L. K., Shammass, N. K. ve Hung, Y. T., 2007. Biosolids treatment processes. Humana Pr Inc.
- Waskom, R. M., 1999. Best Management Practices for Manure Utilization. 568A. Colorado State University Cooperative Extension, Fort Collins, CO, 80523(9), 99.
- Weiss, W. P. ve St-Pierre, N., 2010. Feeding strategies to decrease manure output of dairy cows. In Advances in dairy technology: proceedings of the... Western Canadian Dairy Seminar.
- Werner, U., Stöhr, U. ve Hees, N., 1989. Biogas plants in animal husbandry. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE.
- Yılmaz, T., Yüceer, A., Başbüyük, M., 2008. A Comparison of the Performance of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Filters Treating Papermill Wastewater. Bioresource Technology, 99: 156–163.
- Yılmaz, V. ve Demirer, G. N., 2000. Sığır Atıklarının Anaerobik Bozundurma Performansının Faz Ayrımı İle Geliştirilmesi.
- Yurtseven, S., 2013. Hayvan Beslemenin Nihai Ürünü Dışkı ve Gaz Üretim Potansiyeli. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 16(1), 62-69.

## ÖZGEÇMİŞ

Ağustos 1993 yılında Kıbrıs'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kıbrıs'ta tamamladı. 2016 yılında Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden (İngilizce) "Cyprus International University - Environmental Engineering" mezun oldu. 2016 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

