T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAYVAN ÇİFTLİKLERİNDEN KAYNAKLANAN ATIKLARIN ANAEROBİK ARITIMI

Serkan ANACAK

Prof.Dr. Ufuk ALKAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA – 2012

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Serkan ANACAK tarafından hazırlanan "Hayvan Çiftliklerinden Kaynaklanan Atıkların Anaerobik Arıtımı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ufuk Alkan

Başkan: Prof. Dr. Ufuk ALKAN
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. F. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.
Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
../../….(Tarih)

)

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

../../….

Serkan ANACAK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVAN ÇİFTLİKLERİNDEN KAYNAKLANAN ATIKLARIN ANAEROBİK ARITIMI

Serkan ANACAK

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Bu çalışmada Tarfaş Tarımsal Faaliyetler AŞ'den alınan büyükbaş hayvan dışkısı ve Sütaş Süt Ürünleri AŞ'den alınan atıksu arıtma çamurlarının birlikte anaerobik olarak arıtılabilmesi için gerekli optimum hidrolik bekleme süresi ile mezofilik ve termofilik koşullardaki arıtma verimleri araştırılmıştır. Arıtma çamuru ile hayvan dışkısı 1/5 oranında karıştırılarak denemeler yapılmıştır.

Çürütücünün devreye alınabilmesi için gerekli olan aşı çamuru Sütaş A.Ş 'ye ait atıksu arıtma tesisinin anaerobik kısmından elde edilmiştir. Hayvan dışkısı ve arıtma çamurunun çürütülmesinde optimum hidrolik bekleme süresi 26 gün olarak bulunmuştur. Mezofilik ve termofilik koşullarda aynı şartlar altında gerçekleştirilen denemelerde termofilik reaktörde gaz veriminin % 4, organik katı madde gideriminin de %2,26 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Termofilik reaktörde pH'ın düşme eğiliminde olduğu buna rağmen denemeler boyunca metanojenik aktiviteyi engelleyecek seviyelere düşmediği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Anaerobik çürütme, atıksu arıtma çamuru, biyogaz, hayvan dışkısı, hidrolik bekleme süresi, mezofilik, termofilik.

2012, vii + 75 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ANAEROBİC TREATMENT OF ANİMAL MANURE

Serkan ANACAK

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

In this study, hydraulic retention time optimisation, mezofilic and termofilic conditions for anaerobic treatment of cattle manure with wastewater treatment sludge were investigated. Cattle manure was taken from Tarfaş and wastewater treatment sludge was taken from Sütaş. Cattle manure and wastewater treatment sludge were mixed at a ratio of 1/5.

Reactors were inoculated with the anaerobic activated sludge taken from anaerobic part of Sütaş wastewater treatment plant. Optimum hydraulic retention time of mixed cattle manure and wastewater treatment plant sludge was found as 26 days. Biogas productivity was found 4 %more efficient and removal of organic dry matter was found 2,26 % more efficient for the termofilic conditions compared to that of mesofilic condition. In termofilic reactor pH was tended to decrease however in all experiments pH didn't decrease to a level at which metanogenic activity would be affected adversily.

Key words: Anaerobic digestion, animal manure, wastewater treatment plant sludge, biogas, hydraulic retention time, mesofilic, termofilic.

2012, vii + 75 pages.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... a
ABSTRACT ii
İÇİNDEKİLER iii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
TEŞEKKÜR vii
1.GİRİŞ 1
2.KURAMSAL TEMELLER 3
2.1. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretiminin Tarihçesi 3
2.2. Dünyada Biyokütle Kullanımı 3
2.3. Türkiye'de Biyokütle Kullanımı 5
2.4. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretimi 8
2.5. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretiminin Avantajları 9
2.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Atıklar 13
2.7. Biyogazın Kullanım Alanları 14
2.7.1 Biyogazın aydınlatmada kullanımı 15
2.7.2. Biyogazın motorlarda kullanımı 15
2.7.3. Biyogazın saflaştırılarak doğalgaz hatlarında kullanımı 15
2.8. Anaerobik Çürütme ve Aşamaları 16
2.8.1 Hidroliz fazı 18
2.8.2. Asidojenik ve Asetojenik faz 18
2.8.3. Metanojenik faz 19
2.9. Metan Yanma Tepkimesi: 19
2.10. Anaerobik Çürütmenin Mikrobiyolojisi 20
2.11. Karbonat redüksiyonu ile metan oluşumu 23
2.12 Karbonat redüksiyonu ile asetat oluşması 23
2.13. Anaerobik Arıtma için Optimum Çevre Şartları 24
2.14. Hacimsel Yük ve Hidrolik Bekleme Süresinin Önemi 25
2.15. Anaerobik Reaktörlerde Hidrolik Bekleme Süresinin Belirlenmesi 27
2.16. Anaerobik Reaktörlerde Aşılamanın Önemi 29
2.17. Anaerobik Reaktörlerde Sıcaklığın Etkisi 30
2.18. Anaerobik Reaktörlerde Nütrientlerin Önemi 31
2.19. Anaerobik Reaktörlerde pH ve Alkanitenin Önemi 32
2.20. Anaerobik Reaktörlerde Toksisite Etkisi 32
2.21. Anaerobik Reaktörlerde Karbon/Azot Oranı 33
2.22. Anaerobik Reaktörlerde Katı Madde Oranının Önemi 33
2.23. Anaerobik Reaktörlerde Karıştırma Sıklığının Önemi 34
2.24. Anaerobik Çürütmede Patojen giderimi 35
2.25. Anaerobik Çürütme Tesislerinin Tasarımı 35
2.26. Anaerobik Çürütme Tesislerinin Bileşenleri 36
2.26.1 Fermantör 37
2.26.2 Gaz deposu 37
2.26.3. Gübre (organik madde) Deposu 37
2.27.Boyutuna Göre Anaerobik Arıtma Tesisleri 38

2.27.1. 6-12 m^3 Kapasiteli aile tipi 38
2.27.2. 50-100 m^3 Kapasiteli çiftlik tipi 39
2.27.3. 100-200 m^3 Kapasiteli köy tipi 39
2.27.4. 1.000-10.000 m^3 Kapasiteli endüstriyel tip 40
2.28. Besleme Şekline Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri 41
2.28.1. Kesikli fermantasyon 41
2.28.2.Yarı kesikli fermantasyon 41
2.28.3. Sürekli fermantasyon 42
2.29. Çalışma Sıcaklığına Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri 42
2.29.1. Sakrofilik 42
2.29.2.Mezofilik 42
2.29.3. Termofilik 42
2.30. Kuru Madde Oranına Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri 43
a) Islak Çürütme 43
b) Kuru Çürütme 43
2.31. Arıtma Çamurlarının Anaerobik Çürütülmesi 44
2.32. Hayvan Dışkısının Anaerobik Çürütülmesi 46
3. MATERYAL METOD 49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 55
4.1 Kesikli Besleme Koşullarında Optimum Hidrolik Bekleme Süresinin(HBS) belirlenmesi 55
4.2 Mezofilik Sürekli Besleme Koşullarında Gaz Üretiminin belirlenmesi 58
4.3 Termofilik Sürekli Besleme Koşullarında Gaz Üretiminin Belirlenmesi 63
5.SONUÇ 69
KAYNAKLAR 71
ÖZGEÇMİŞ 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Anaerobik arıtmada biyogaz üretiminin sıcaklıkla değişimi……...30
Şekil 2.2 Anaerobik çürütme tesisinin şematik görünümü……..37
Şekil 2.3 Çin'de sıklıkla kullanılan aile tipi anaerobik çürütücü sistemler…….39
Şekil 2.4. Endüstriyel tip biyogaz tesisi……..41
Şekil 2.5.Garaj tip çürütücü…….44
Şekil 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan gaz deposunun teknik çizimi……51
Şekil 3.2. Deney düzeneğinde kullanılan çürütücünün teknik çizimi……52
Şekil 3.3. Deney düzeneğinde kullanılan çürütücünün görünümü…….53
Şekil 3.4. Deney düzeneğinde kullanılan gaz deposunun görünümü…….54
Şekil 4.1. Kesikli besleme koşullarında uçucu organik asitlerin zamanla değişimi…...56
Şekil 4.2. Kesikli besleme koşullarında gaz üretiminin uçucu organik asit miktarına göre değişimi……...56
Şekil 4.3. Kesikli besleme koşullarında günlük gaz üretimi……...57
Şekil 4.4. Kesikli besleme koşullarında katı maddenin zamanla değişimi…….58
Şekil 4.5. Kesikli besleme koşullarında organik katı maddenin zamanla değişimi……58
Şekil 4.6. Mezofilik Sürekli besleme koşullarında günlük gaz üretimi……..59
Şekil 4.7. Mezofilik Sürekli besleme koşullarında pH'nın zamanla değişimi……60
Şekil 4.8. Mezofilik Sürekli besleme koşullarında uçucu yağ asitlerinin zamanla değişimi……...60
Şekil 4.9 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında organik katı maddenin değişimi….61
Şekil 4.10. Mezofilik Sürekli besleme koşullarında Katı Maddenin değişimi……62
Şekil 4.11 Mezofilik sürekli besleme koşullarında CH_4 ve CO_2 komposizyonu ……...62
Şekil 4.12. Mezofilik sürekli besleme koşullarında H_2S kompozisyonu……...63
Şekil 4.13. Termofilik Sürekli besleme koşullarında günlük gaz üretimi……...64
Şekil 4.14. Mezofilik ve termofilik koşullarda gaz üretiminin karşılaştırılması……....64
Şekil 4.15. Termofilik Sürekli besleme koşullarında katı maddenin değişimi……..65
Şekil 4.16. Termofilik Sürekli besleme koşullarında organik katı maddenin değişimi..66
Şekil 4.17. Termofilik Sürekli besleme koşullarında uçucu yağ asidi ve pH ilişkisi…..66
Şekil 4.18. Termofilik sürekli besleme koşullarında pH değişimi……..……....67
Şekil 4.19. Termofilik sürekli besleme koşullarında CH_4 ve CO_2 komposizyonu ……68
Şekil 4.20. Termofilik sürekli besleme koşullarında H_2S kompozisyonu……...68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Türkiye'de 2010 yılı verilerine göre anaerobik çürütme tesisleri ve kapasiteleri. 7
Çizelge 2.2 Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve gaz kaliteleri 14
Çizelge 2.3 Anaerobik çürütme için gerekli besi maddeleri ve bunlara ait değerler. 31
Çizelge 2.4 Çeşitli kaynaklara göre birincil ve ikincil (aktif)çamurdan elde edilebilecek biyogaz miktarları 46
Çizelge 2.5. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve taşkömürü eşdeğeri tablosu. 47
Çizelge 2.6. Hayvansal Kaynaklardan Elde Edilebilecek Gübre ve Biyogaz Miktarları 48
Çizelge 2.7 Hayvan atıklarının organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu (her kg hayvan ağırlığı için g/gün olarak) 48
Çizelge 3.1 Ham Gübrenin Karakteristiği 49
Çizelge 3.2 Arıtma Çamurunun Karakteristiği 50
Çizelge 3.3 Denemelerde işletme şartları 51

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Ufuk ALKAN'a ayrıca laboratuar çalışmalarımdaki katkılarından dolayı tüm Sütaş Süt Ürünleri A.Ş atıksu arıtma tesisi personeline ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme teşekkür ederim. Özellikle desteğinden dolayı hayatımda çok önemli bir yeri olan Sinem BALYALI'ya teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam için sağlamış olduğu imkânlardan ve çalışmama verdiği destekten dolayı Sütaş Süt Ürünleri A.Ş Ar&Ge ve Teknoloji Başkanı Sayın Murat ARAT'a teşekkür ederim.

1.GİRİŞ

Organik içerikli atıkların arıtılmadan çevreye bırakılmaları, çevre ve toplum sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Kırsal kesimlerde hayvan dışkılarının arazide yığılması, değişik patojenlerin yaşamalarına uygun ortam yaratırken, yine toplum sağlığına etki eden ve patojenleri insanlara taşıyan karasinek gibi zararlı haşerelerin ürümelerine sebep olmaktadır. Hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı bölgelerde hayvansal dışkıların önemli bir bölümü tezek olarak yakılmakta, bu uygulama ise çeşitli çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Hayvan dışkısı, tarımsal üretim için gerekli bir organik gübre materyalidir. Bu nedenle organik gübre üretime yönelik değerlendirilmesi gereklidir. Hayvansal gübrenin en önemli özelliği toprağa bitki besi maddelerini sağlamasının yanında toprağın fiziksel yapısını da düzenlemesidir.

Hayvan dışkılarına benzer olarak arıtma çamurları da uygunsuz şekilde bertaraf edildiğinde çevrede kokuya, toprakta kirliliğe neden olmaktadır. Son yıllarda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde atıksuların arıtılmasında çok büyük yol kat edilmiştir. Çamur bertaraf etme işlemleri arıtma tesisinin toplam yatırım masrafının %20- 30'unu, işletme masrafının ise %50'sini oluşturmaktadır. (Yıldız ve ark. 2009) Bu maliyet kimi zaman arıtma çamurlarının uygun şekilde bertaraf edilememesine gerekçe olarak gösterilmektedir. Çamur bertarafında Aerobik çürütme, Anaerobik Çürütme, Yakma, Kurutma, düzenli depolama gibi pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu bertaraf yöntemlerinin hepsinin ortak amacı organik katı maddeyi olabildiğince düşürmek, çamur miktarını azaltmak ve son olarak da çevreye en az zarar verecek şekilde uzaklaştırmaktır. Anaerobik çürütme diğer yöntemlerden farklı olarak çok az enerji gerektirmesi, yüksek organik yüklerde çalışılabilmesi açısından farklı bir yöntemdir. Uygun büyüklükte bir tesis kurulduğunda anaerobik çürütücü ile kombine edilen biyogaz yakabilen kojenerasyon sistemi hem tesisin tüm elektrik ve ısı ihtiyacını karşılar hem de yüksek sıcaklıklar kullanıldığında yüksek verimli patojen giderimi sağlar. Anaerobik olarak çürütülen gıda endüstrisi arıtma çamurları yüksek organik madde içeriğinden dolayı kaliteli biyogaz üretimi sağlar. Bunun yanında gıda endüstrisi arıtma çamurları toprak için zararlı ağır metalleri içermediğinden çürütülmüş çamur

rahatlıkla organik gübre olarak kullanılabilir. Yönetmeliklerin ve toprak yapısının gerektirdiği şartlar sağlandığında arıtma çamurunun hayvan gübresi benzeri iyi bir toprak iyileştiricisi olduğu söylenebilir. Bu noktadan hareketle hayvan dışkısı ve gıda endüstrisi atıksu arıtma çamurlarının birlikte çürütülmesi iyi bir alternatif olarak görülmüştür.

Hayvan dışkısının çevreye verdiği zararın önlenmesi ve bertarafı maliyetli olan arıtma çamurlarının birlikte kullanılması her iki sektörde de yatırımı olan Sütaş gibi pek çok firma için entegre bir çözümdür. Hayvan dışkısı ve arıtma çamuru birlikte anaerobik olarak çürütülerek her iki atığında tekrar doğaya kazanılması mümkündür. Bu tür yatırımlar yapılırken en önemli soru işaretleri sistem kurulum ve işletme maliyetleridir. Bu çalışmada ilk yatırım ve işletme maliyetlerini büyük ölçüde etkileyen optimum hidrolik bekleme süresinin belirlenmesi çalışmanın ilk aşaması olarak benimsenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise ilk aşamada optimum olarak belirlenen hidrolik bekleme süresinde mezofilik ve termofilik anaerobik çürütme prosesleri gözlemlenmiştir. Bu amaçla kurulan reaktör ile arıtma çamuru ve hayvan gübresi 1/5 oranlarında karıştırılarak denemeler yapılmıştır. Literatürde hayvan gübresi için verilen hidrolik bekleme süresi 20-36 gündür. Yapılan denemelerde deneme süresi 40 gün seçilerek aşılama ve ilk ısınma süresinden kaynaklanabilecek hataların gözlenebilmesi öngörülmüştür. Optimum bekleme süresinin belirlenmesi için yapılan çalışmada günlük gaz üretimleri kaydedilerek toplam teorik gaz üretiminin %70'inin elde edildiği süre optimum hidrolik bekleme süresi olarak belirlenmiştir. Daha sonra reaktör belirlenen optimum hidrolik bekleme koşullarına göre belirlenen miktarlarda günlük olarak beslenerek günlük gaz üretimi, pH, gaz komposizyonu, giriş-çıkış katı madde, giriş çıkış organik katı madde ve uçucu yağ asidi konsantrasyonları izlenmiştir. Reaktöre her gün beslenen hacim kadar reaktör boşaltma vanasından malzeme alınarak sürekli anaerobik besleme koşulları simule edilmiştir. Son denemede reaktör termofilik koşullarda 40 gün işletilerek mezofilik denemede olduğu gibi tüm parametreler analiz edilerek kaydedilmiştir.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretiminin Tarihçesi

Alternatif enerji kaynaklarından Biyogaz, organik maddelerden oksijensiz ortamda metan üretimi Volta tarafından on sekizinci yüzyılda tanımlanmıştır. İlk biyogaz üretimi, kayıtlara 1895 yılında İngiltere'de geçmiştir.1930'larda Hindistan'da halk tarafından basitçe kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında küçük çaplı üreteçler Almanya ve Fransa'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu enerji sistemlerine III. Dünya ülkeleri büyük bir önem vermiş ve ilk üretim 1939 yılında Hindistan tarafından yapılmıştır. Ama ilk kez ciddi olarak ele alınması 1980'lerde başlayan beş yıllık kalkınma planına rastlamaktadır. Halen Hindistan'da bir milyona yakın biyogaz üretim ünitesi bulunmakta, kırsal nüfusun büyük bir bölümü biyogaz kullanmaktadır. Dünyada en çok biyogaz üretecine sahip ülke ise Çin'dir.(TÜBİTAK MAM 2010).

2.2. Dünyada Biyokütle Kullanımı

Çin'de 1 milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi için 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10,000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin'de enerji ve ekoloji departmanı direktörü olan Jiuchen'e göre 2012 yılında 15 milyondan fazla evde hayvansal atıklardan biyogaz üretilip kullanılacaktır.(Ministry of Agriculture, P.R. China 2005).

Güneş enerjisinin depolanmasına olanak sağlayan ve çevreye zarar vermeyen biyokütle enerjisi, son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra, gelişmiş ülkelerde de büyük oranlarda kullanılmaya başlandığı gözlenmiştir. Bunun başlıca nedeni, fosil yakıt kullanımı yüzünden dünyanın giderek artan boyutta çevre kirliliği problemi yaşamasıdır. Biokütlenin daha çok ve verimli yetiştirilmesi için hızlı büyüyen özel bitkiler ve genetik mühendisliği yardımıyla yeni tohumlar geliştirilmektedir. Burada dünya nüfusunun %80'inin 350 kuzey ve 350 güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa, bu bölgede metrekareye düşen güneş enerjisinin yılda 3000-4000 saati

bulduğu ve bunun da enerji olarak 2000kWh/m^2 ettiği ortaya çıkmıştır. Bütün bu verilerden yola çıkarak, güneş enerjisinden foto-biyolojik çevrim sonucu elde edilebilecek biyokütle enerjisinin büyüklüğü ve çevre etkisi çok az olan bu yakıtın sağlayacağı yararların önemini açıkça göstermektedir.

Son yıllarda hızla sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeninin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye'de değil, dünyada da enerji tüketimini arttırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Biokütleden elde edilebilecek yıllık enerjinin 1.120.000 MW' ı samandan, 500.000 MW'ı hayvan dışkılarından 1.360.000 MW'ı orman atıklarından 2.400.000 MW'ı çöplerden ve 17.700.000 MW'ı şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere yaklaşık toplam 23.100.000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biokütlenin ekonomik, yenilenebilir, bölgesel ve çevre dostu oluşu gibi özelliklerde göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek hızla artmaktadır. Birçok gelişmekte olan ülke biyoenerjiyi, geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Özellikle biyokütle enerjisi karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.(Musluoğlu 2011).

Orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde yapılan hesaplara göre 1 hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton yaş veya 25-30 ton kuru biyokütle elde edilmektedir. Böyle bir bölge için yıllık ortalama yağış tutarı 250 mm dolayındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan yarı-tropik bölgelerde ise verim hektar başına 42 ton biyokütle düzeyine çıkabileceği kesindir. Biokütleden elde edilen enerjinin birim maliyeti diğer yakıtlarla yarışabilecek durumdadır. (Biyogazder 2010).

Brezilya biokütlenin geniş çapta, özellikle taşıtlarda kullanılması yönünden dünya da ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989 dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya nişastalı ürünlerden elde edilen saf biyo-etanolu, yine bir çok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. 1976 ile 1987 yılları arasında petrol ithalatı yerine yerli üretim etanol kullanılmasından dolayı tasarruf edilen miktar 12,48 milyar dolar düzeyindedir. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için

yatırım ise sadece 6.97 milyar dolar olup, üretim maliyeti 1979 dan beri hala her yıl yaklaşık %4 dolayında düşmektedir. Yetiştirilen biokütleden şeker elde ettikten sonra geri kalan posa kısmından yakıt olarak daha ekonomik kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır. (Biyogazder 2010).

Mauritius'daki şeker kamışı endüstrisi ürettiği biokütlenin atıklarını modern fırınlarda yakarak elektrik üretmekte ve enerji gereksiniminin %60'ını karşılamaktadır. Zimbabwe, 1983-1990 yılları arasında, şeker kamışından 40 milyon litre etanol üretmiştir. (Biyogazder 2010).

İsveç, enerjisinin %16 sı gibi büyük bir kısmını biokütleden elde etmektedir. Avusturya da 11,000 den fazla biyokütle ile çalışan enerji üretim sisteminin toplam gücü 1200 MW ulaşmıştır. Bu ülke de enerjisinin %13 ünü biokütleden sağlamaktadır. Amerika da biyoenerji kaynaklı elektrik üretimi 9000 MW yi geçmiş durumda olup, bu ülke de toplam enerjinin %4 ünü biokütleden sağlamaktadır. Bu değer nükleer enerjiden elde edilen miktara yakındır. (Biyogazder 2010).

Burada üzerinde önemle durulması gereken diğer bir konuda, fosil yakıtlar için yapılan ekonomik analizlerde, çevre etkilerinden ileri gidilebilecek maliyet artışlarının henüz yer almış olmamasıdır. Bu konuda yapılan kapsamlı bir araştırmada fosil yakıtlardan, örneğin kömürden elde edilecek her bir milyar joul için 9$ lık ek bir maliyet hesaplanmıştır. Burada linyitin ortalama alt ısıl değeri 12500kJ/kg linyit kabul edilmesi durumunda 1 milyar joule yaklaşık 80 kg linyit kömürü yakılmaya karşılık gelmektedir. Bu maliyetler fosil yakıtlara eklendiğinde, biokütlelerin daha da üstün konuma geleceği açıktır. (Biyogazder 2010).

2.3. Türkiye'de Biyokütle Kullanımı

Türkiye'de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. Türkiye 'de biyokütle enerjisinin birincil enerjiler içinde kullanımı 1989 'da %15,2, 1994 'de ise %12,4 oranında gerçekleşmiştir. 2000 'li yıllarda ise bu değerin % 8,5 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.(Acaroğlu 2001). Son yıllarda biyokütle enerjisinin birincil enerjiler içinde kullanımındaki düşüşün önüne geçilerek arttırılması

ve modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır.

Enerji üretimine yönelik olarak, modern biyokütle çevrim teknolojilerinin de kullanıldığı, çalışmalar küçük ölçekli olarak 1993 yıllarından sonra başlamıştır. Bunlara örnek olarak *mischantus* ve tatlı sorgum bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Etanolu, Brezilya örneğinde olduğu gibi Türkiye'de de taşıtlarda benzine seçenek olarak rahatlıkla kullanmak olanaklıdır. Ayrıca, hava kirliliğinden büyük ölçüde etkilenen birçok şehirde, biyokütle ve bunlardan türetilen yakıtların kullanılması ile kükürt dioksit ve benzeri zararlı gazların büyük ölçüde azalacağı da açıktır.

Türkiye'de 1960'lı yıllarda başlayan, 1980'li yıllarda petrol krizinin etkisiyle yeniden gündeme gelen anaerobik çürütme ve biyogaz üretimi, konunun ülke açısından öneminin kavranamaması, araştırmalardan elde edilen verilere güvensizlik, yönetimlerin olumsuz bakış açısı ve çalışmaları koordine edecek bir yapılanmamın oluşturulamaması nedeniyle hız kazanamadı. 1980'li yılların sonunda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, bu konudaki araştırma ve uygulama çalışmalarını durdurdu (Biyogazder 2010).

Yapılan hesaplamalara göre, Türkiye'deki tüm hayvan varlığından elde edilecek gübre biyogaz üretiminde kullanılmış olsa, yılda 3-3,5 milyar metreküp biyogaz üretilebilecek. Bu enerji ise yaklaşık olarak 2-2,5 milyon ton taşkömürü veya 20-25 milyar Kw/h elektrik enerjisine eşdeğer üretim anlamına gelmektedir. Biyogaz, özellikle küçük yerleşim birimleri ve çiftliklerin elektrik ihtiyacını karşılamakta önemli bir değer olarak görülüyor. Bu yöntemle küçük yerleşim birimlerine elektrik ileten iletim hatları ve trafolardan kaynaklanan maliyetler de önemli ölçüde ortadan kaldırılabilecektir. Türkiye'de 2009 yılı itibariyle sadece bazı belediyeler çöp depolama sahalarından enerji sağlamakta, birkaç şirket ise anaerobik arıtma yoluyla biyogaz elde etmektedir. (Erzincanlı 2009).

Çizelge 2.1'de 2010 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından IEA Task 37 Biyoenerji projesi için hazırlanan raporda Türkiye'deki mevcut biokütle kullanımı verilmiştir. Çizelge 2.1'de mevcut biokütle kullanımımızdan yıllık elde edilen

biyogaz miktarı 178 milyon m^3/yıl olarak verilmiştir. Toplam biyogaz üretiminin büyük kısmının çöp depolama sahaların anaerobik çürütücü olarak kullanılmasıyla elde edildiği görülmektedir. Diğer anaerobik çürütme tesisleri anaerobik atıksu arıtma tesisleri ve anaerobik atıksu arıtma tesisleri ile kombine edilen organik atık tesisleridir.

Çizelge 2.1 Türkiye'de 2010 yılı verilerine göre anaerobik çürütme tesisleri ve kapasiteleri (IEA Task 37 Türkiye raporu 2010).

Şirket İsmi/Yeri	**Tesis Tipi**	**Gaz üretimi (milyon m^3/yıl)**
Ekolojik Enerji	Çöp Gazı	2,2
Gaziantep Evsel Atık Arıtma Tesisi		3
Adana Evsel Atık Arıtma Tesisi		1,9
Kemerburgaz Çöp Depolama Sahası-Odayeri		51,6
Kemerburgaz Çöp Depolama Sahası-Kömürcüoda		35
Cadirtepe Çöp Depolama Sahası		14
Mamak Çöp Depolama Sahası	Evsel Atık + Çöp Gazı	55
Ereğli Şeker Fabrikası	Atıksu Arıtma Tesisi	1
Yozgat ve Afyon Şeker Fabrikaları		1,4
Kırşehir Şeker Fabrikası		1,4
Eskişehir Şeker Fabrikası		1,3
Burdur Şeker Fabrikası		1,3
Bolpat Patates Ürerimi		1,2
Efes Bira Üretimi		0,8
Teksüt		0,2
Mauri Maya Üretimi		0,65
Pakmaya Maya Üretimi		1,1
Fritolay (Pepsi CO.)		1,7
Cargill Türkiye	Atıksu Arıtma + Organik Atık	0,7
Sütaş Süt Ürünleri Üretimi Aksaray		1,5
Sütaş Süt Ürünleri Üretimi Karacabey		1,5
Toplam Üretim		**178,45**

Türkiye'de yatırımcının anaerobik çürütmeye olan ilgisi yenilenebilir enerjiye verilen devlet teşvikleriyle son yıllarda ciddi biçimde artmıştır. Buna rağmen kurulu tesis sayısının azlığı, yerli üretim kapasitesinin sınırlı olması yatırımları yavaşlatan unsurlar olarak ön plana çıkmaktadır. Türkiye'de mevcut durumda organik atıkların anaerobik olarak çürütülmesi ile elde edilecek enerji hem Türkiye'deki organik atık problemini kısmen çözecek hem de enerji üretimine katkı sağlayacaktır.

2.4. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretimi

Anaerobik arıtma, kısaca, organik ve inorganik maddelerin, oksijenin yokluğunda mikroorganizmaların yardımıyla parçalanarak CO_2, CH_4, H_2S ve NH_3 gibi nihai ürünlere dönüşmesi olarak açıklanabilir. Anaerobik arıtma ilk olarak sadece çamurların çürütülmesi amacıyla kullanılmaya başlanmış, ancak atıksularda aerobik arıtmaya kıyasla avantajlarının keşfedilmesinden sonra bu alanda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle enerji maliyetlerinin önemli bir problem olduğu günümüzde, aerobik arıtmaya nazaran daha az enerji gerektirmesi ve hatta proses sonucu ortaya çıkan metanın enerjiye dönüştürülebilmesi anaerobik arıtmanın daha da yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur (Debik ve ark. 2008)

Anaerobik çürütmede reaktör verimini kontrol etmenin en kolay yöntemlerinden biri oluşan biyogaz miktarını ve bu biyogaz içerisindeki metan muhtevasını takip etmektir. Bilindiği üzere anaerobik çürütmenin aerobik çürütmeye olan temel üstünlüklerinden biri proses sonucu ortaya çıkan metandır. Prosesin çalışması ne kadar iyi olursa o oranda biyogaz üretilmiş olur. Üretilen biyogazın miktarı sistemde giderilen organik katı madde miktarı ile paraleldir. Sonuç olarak biyogaz miktarının düşmesi sistemin organik kirlilik giderme veriminin düştüğünün gösterir. Bunun temel sebeplerinden biri aşırı organik yüklemedir. Bunun dışındaki sebepler metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkileyen unsurlardır. Anaerobik çürütmede biyogazın yüksek miktarlarda olması istendiği gibi, biyogaz içerisindeki metan muhtevasının da fazla olması istenir. Eğer biyogaz içerisindeki metan yüzdesi düşerse bunun temel sebeplerinden biri metan bakterilerinin çalışmasına etki eden bir unsurdur. Normal şartlarda (0 ºC ve 1 atm), glikoz ($C_6H_{12}O_6$) için giderilen beher gr KOİ başına üretilmesi gereken metan miktarı 0,35 L'dir (Metcalf ve Eddy 2003).

2.5. Anaerobik Çürütme ve Biyogaz Üretiminin Avantajları

Ülkemizde hayvansal ve bitkisel atıklar, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Ancak atıkların yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın olarak görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilemediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Anaerobik arıtma teknolojisi ise organik kökenli atıklardan hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir (Öztürk 1999).

Biyogazın enerji değeri ise esas olarak içerdiği metan gazından ileri gelmektedir. Biyogazın enerji değeri 19613 kJ/m^3 civarındadır. Bu şekilde bir yandan önemli, miktarda enerji temin edildiği gibi, aynı zamanda çiftlik gübresinin de fermantasyonu sağlanmakta ve iyi bir organik gübre haline gelmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu, biyogaz üretiminde kullanılan çiftlik gübrelerinin, açık havada güneş ve yağmurun altında olgunlaşan çiftlik gübresine göre % 20-25 daha fazla verimi artırdığı tespit edilmiştir (Öztürk 1999).

Biyogaz üretim tesislerinin geliştirilmesiyle kırsal kesimlerde yaygın olarak kullanılmasının sağlanması sonucu, aydınlatma, yemek pişirme gibi işlemlerde biyogaz kullanılabilecektir. Ayrıca, sanayi işlerinde de biyogazdan istifade edilebileceği bildirilmektedir. Tesisten çıkan atıklar ise, mükemmel bir gübre olarak toprağa verilebilecektir.

Biyogazın tezek yerine kullanılmasıyla Ülkemizin kırsal kesiminde alternatif bir enerji kaynağı oluşacaktır. Yurdumuzda üretilen ve tezek yapımında kullanılarak toprak verimliliği açısından önemli bir kayıp oluşturan hayvansal gübreler, biyogaz üretimi sayesinde çok yönlü olarak değerlendirilmiş olacaktır. Böylece çevre kirliliği açısından da çok yönlü ve karlı tedbirler alınmış olacaktır.

Son yıllarda hayvancılığa ve süt üretimine verilen teşviklerle ülkemizde pek çok yatırımcı hayvan çiftliği kurmaktadır. Ülkemizde büyük baş hayvan üretiminde

kullanılan modern tesislerin kapasiteleri 50 ila 10.000 baş arasında değişmektedir. Özellikle sanayi kuruluşlarının yaptığı yatırımlar 1000 baş ve üzeri şeklindedir. Hayvan başına ortalama 60 kg katı-sıvı gübre oluştuğu varsayıldığında 1000 başlık bir çiftlikte günde ortalama 60 ton hayvan dışkısı oluşmaktadır. Bu dışkıların işlenmeden doğaya verilmesi birçok çevresel problemi beraberinde getirmektedir. Ham dışkı toprakta direk olarak kullanılamaz durumdadır ve işlenmesi gerekmektedir. Kompostlaştırma iyi bir işleme yöntemi olmasına rağmen hem enerji ihtiyacı hem de yeterli teknoloji kullanılmadığında büyük alana ihtiyaç duyduğundan hayvan çiftlikleri için zor bir işleme tarzıdır. Üstü açık alanlarda yapılan kompostlama işlemi ise sadece yaz aylarında verimli çalıştırılabilmektedir. Anaerobik çürütme tam bu noktada avantajlı yönlerini göstermektedir. Uygun boyutlarda yapılan bir anaerobik arıtma tesisi bir çiftliğin tüm ham hayvan dışkısını işleyebilirken endüstriyel çiftliklerin sıcak su ve ısı ihtiyacını da rahatlıkla sağlayabilmektedir. Anaerobik çürütme işlemi yaz kış değişmeyen gaz verimi ile kompostlaştırma işlemine baskındır. Anaerobik çürütülmüş gübre kokusuz ve ham gübreye göre daha rahat pompalanabilir durumdadır. Çürütücüden çıkan gübre basit bir separatör ile ayrılırsa katı ve sıvı olmak üzere 2 fazda gübre elde edilebilir (Anonim 2012).

Anaerobik çürütme tesisinden çıkan atık fermente gübre niteliğindedir. Anaerobik fermantasyon sonucunda taze gübrede bulunan yabani ot tohumları ve patojenlerin büyük bir kısmı giderilerek toprakta kullanılabilir hale gelmektedir.(Alibaş 2011). Tarım ve Köyişleri Bakanlığının 27601 sayılı "Tarımda kullanılan Organik, Organaminarel Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik" kapsamında organik gübre kriterlerine uygun olacaktır. Avrupa birliği ülkelerinde yaygın olarak sıvı-katı karışık haldeki fermente gübre tarım alanlarında kullanılmaktadır. Günümüzde organik tarım günden güne yaygınlaşmaktadır. Anaerobik çürütücüden çıkan çürümüş malzeme aerobik kompostlaştırma ve, veya kurutma uygulanarak peletlenme ve paketleme işleminden sonra 100€-200€/ton gibi rakamlara alıcı bulabilmektedir (International Conference on Anaerobic Digestion 2010).

Tarımsal kaynaklı anaerobik çürütme tesisleri, suni gübreye bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunur. Çiftçiler anaerobik çürütücüden elde edilen fermente gübre ile hayvan yemi üretiminde kullanılan mısır ve tritikale üretiminde verim artışı sağlayıp sürdürülebilir tarıma geçiş yapabilirler. Çürümüş gübre içerdiği organik madde ile toprağın organik yapısında iyileşme sağlarken kimyasal gübre ihtiyacını ciddi oranda azaltır. Bu noktada arazilerde yapılan verim çalışmaları ile kimyasal gübre-fermente gübre kullanımı oranının bulunması önem taşımaktadır.

Biyogaz ile elektrik ve ısı üretiminde ekonomik kazanç elde edilmesi sağlanır. Üretilen biyogaz yaklaşık 5,5 kW/m^3 enerjiye sahiptir. Bu enerji kojenerasyon motoru kullanılarak elektrik ve ısı enerjisine çevrilir. Kojenerasyon motorları %37-41 elektrik verimine ve %40-45 termal verime sahiptir. Toplam verim %80-90 arasındadır. Üretilen elektik 31.12.2010 tarihinde revize edilen "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun " ile devlet tarafından teşvik edilmektedir. Biokütleden üretilen elektrik enerjisi için ilgili kanunda alım fiyatı olarak 0,133$/kW/saat belirlenmiştir. Devlet diğer Avrupa birliği ülkelerinde olduğu gibi 2015 yılına kadar kurulacak tesisler için 10 sene alım garantisi vermektedir (Anonim 2011).

Küresel ısınmanın en önemli etkeni olan sera gazları azaltılır. Metan en kötü sera gazlarından biridir. Açığa atılan hayvansal atıklardan yayılan metan gazı aynı hacimdeki CO_2'den 20 kat daha fazla sera gazı etkisi yapar. Oysa biyogaz tesislerinde elde edilen metan yakılarak CO_2'ye dönüştürülür. Türkiye Kyoto Protokolüne katılmasının uygun bulunduğuna dair kanun tasarısını, 05 Şubat 2009 tarihinde TBMM Genel Kurulu`nda kabul ederek yasalaştırmıştır. Protokole taraf olunmasına ilişkin Bakanlar Kurulu kararının ise 13 Mayıs 2009 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanarak 28 Mayıs 2009 tarihinde BM Genel Sekreterliği`ne gönderilmiştir. Protokol gereği 90 günlük resmî sürenin dolmasından sonra 26 Ağustos 2009 tarihi itibarıyla Türkiye Kyoto Protokolü'ne resmen taraf olmuştur (Tandoğan 2010).

Kyoto protokolünün 2009 yılının son aylarında imzaladığından şu an için zorunlu karbon piyasalarında yer almamaktadır. Buna rağmen karbon azatlımı

sertifikalandırılarak gönüllü karbon piyasalarında satılabilmektedir. Arıtma çamurları ve Hayvan dışkıları düzenli depolama sahalarında ve ahırlarda metan emisyonuna neden olduğundan bu projelerden kazanılan karbon emisyon azatlımı hidroelektrik ve rüzgar projelerine göre 2-3 kat daha fazladır (Türkmenoğlu 2010).

Anaerobik çürütme çok ucuz ve çevreci atık çevrimi sağlar. Evlerde çıkan diğer katı evsel atıklar ve tarımsal atıklar da hayvansal atıklar ve arıtma çamurları ile birlikte biyogaz üretiminde kullanılabilir. Hayvan gübresi ve biyolojik arıtma üniteleri yoğunlaştırma çıkışı arıtma çamuru karışımı yaklaşık %7-10 katı madde oranına sahiptir. Organik katı madde oranı ise %60-80 değerlerine ulaşır. Tam karışımlı anaerobik çamur reaktörleri %7-12 katı madde besleme durumlarında maksimum yükleme kapasitelerine ulaşır. Buradan hareketle reaktöre daha çok organik atık yüklenebilir. Bu fazladan kapasite tesis çevresindeki diğer organik katı atıklarında değerlendirilmesini sağlar. Böylece üretilen biyogaz miktarı arttırılarak tesis fizibilitesinde pozitif gelişme sağlanabilir.

Anaerobik çürütme daha sağlıklı, hijyenik yaşam alanları sağlar. Anaerobik çürütme hayvan dışkısında ve arıtma çamurunda bulunan patojenlerin verimli bir şekilde giderimini sağlar. Termofilik reaktörlerde patojen verimi mezofilik reaktörlere göre çok daha fazladır (Öztürk ve ark. 2007).

Tarımsal atıkların anaerobik olarak çürütülmesi özellikle ülkemizde hayvancılığın gelişmesine teşvik edici unsur olacaktır. Teşvik mekanizmaları ile her geçen yıl çiftlik ve hayvan sayısı artmakta hayvancılıkta daha modern teknolojiler kullanılmaktadır. Hayvansal atıkların biyogaz tesislerinde değerlendirilmesi ile hem çiftlikler dışkı sorununu ortadan kaldırır hem de yenilenebilir enerji kanunundan ve gönüllü karbon piyasalarından faydalanarak önemli işletme karları elde edebilir (Öztürk ve ark. 2007).

Anaerobik çürütme ile ülkemizin dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltır. Fosil kaynakların hızla tükendiği günümüzde Japonya'da 2011 yılında deprem sonrası yaşanan Nükleer kaza ile birlikte Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaktadır. Almanya ve Danimarka başta olmak üzere tüm gelişmiş ülkeler

yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük Ar-Ge yatırımları yapmaktadır. Enerji güvenliği açısından Almanya 2030 yılına kadar toplam enerji üretimine yenilenebilir enerji payını %50 lerin üzerine çıkarmayı hedeflemektedir. Türkiye 2011 yılında hazırladığı İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planında 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam elektrik enerjisi üretimdeki payını %30'a çıkarmayı hedeflemektedir. Hidroelektrik ve Rüzgâr kurulum kapasitelerinin sınırlı olduğu düşünüldüğünde bu hedefe ulaşmakta biyokütle enerjisi büyük önem arz etmektedir (Kunt ve ark. 2011).

2.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Atıklar

Organik atık kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir,

a) Hayvansal Atıklar:

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların gübreleri, insan dışkısı, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar

b) Bitkisel Atıklar:

İnce kıyılmış sap, saman, mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

c) Organik İçerikli Şehirsel ve Endüstriyel Atıklar:

Deri ve tekstil endüstrisi atıkları, Kâğıt endüstrisi atıkları, Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi),Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstrisi atıkları, Bahçe atıkları, Yemek atıkları, Şeker endüstrisi atıkları, Evsel katı atıklar, Atık su arıtma tesisi çamurları.

Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan oranları gaz %'si cinsinden Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve gaz kaliteleri (Nacar Koçer ve ark 2006).

Kaynak	Biyogaz Verimi (L/kg Uçucu Katı Madde)	Metan Oranı (Hacmin %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

2.7. Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilmesi de mümkün olmaktadır. Biyogaz bileşimi itibariyle doğalgaz benzeri bir yakıttır.

Biyogaz, temiz ve mavi bir alevle yanar. Biyogaz, kullanılmadığı zaman çürük yumurta kokusundadır ancak yanarken bu koku kaybolur. Bu kokuyu içeriğinde bulundan hidrojen sülfür gazı (H_2S) verir. Bu özellik, biyogazı ileten borularda kaçak olup olmadığını anlamada kolaylık sağlar. Gaz içeriğindeki hidrojen sülfürün dezavantajı ise elektrik veya ısı üretimi için kullanıldığında yüksek konsantrasyonlarda mekanik aksama zarar vermesidir. Bu maçlarda sıcak su üreten kazanlarda hidrojen sülfür 1000 ppm değerinin altında istenirken elektrik üreten motorlarda bu oran 200- 500 ppm arasında değişmektedir. (The International Biogas and Bioenergy Centre of Competence, 2010).

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan (CH_4) gazından ileri gelmektedir. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir.

Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenler de biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilmektedir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür (H_2S) gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir (www.eie.gov.tr 2011).

2.7.1 Biyogazın aydınlatmada kullanımı

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de elektrik enerjisine çevrilerek de aydınlatmada kullanılabilmektedir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini arttırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır (www.eie.gov.tr 2011).

2.7.2. Biyogazın motorlarda kullanımı

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabildiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilmektedir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir (www.eie.gov.tr 2011).

2.7.3. Biyogazın saflaştırılarak doğalgaz hatlarında kullanımı

Biyogazın üretildiği yerde kullanıma ihtiyaç duyulmaması durumunda saflaştırılarak ve basınçlandırılarak doğalgaz şebekesine verilebilir. Bu amaçla özel dolgu yataklı kolonlardan geçirilen biyogazın bünyesindeki CO_2 ve H_2S'i tamamen alınır. Son kalan iz gazlar ise bir aktif karbon ünitesi ile temizlenerek saflaştırılır. Elde edilen gaz bir kompresör yardımı ile doğalgaz şebekesi basıncına getirilerek ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılması sağlanır. (The International Biogas and Bioenergy Centre of Competence 2010).

2.8. Anaerobik Çürütme ve Aşamaları

Anaerobik arıtma prosesi oldukça karmaşık bir prosestir. Birçok unsur anaerobik çürütme mekanizmasına etki eder. Bunlardan belli başlıcalar; pH, alkalinite, sıcaklık, amonyak inhibisyonu, sülfür, toksik maddeler, katı madde türü (kolay ayrışabilir, orta derecede ayrışabilir ve zor ayrışabilir organik katı maddelerin dağılımı) nütrientler, uçucu asitler, gaz üretimi, metan muhtevası vb. olarak sayılabilir (Debik ve ark 2008).

Temel olarak anaerobik çürütme üç safhada gerçekleşir.
a) Yüksek yoğunluklu organik maddelerin hidroliz olarak küçük yoğunluğa sahip organik maddelere dönüşümü,
b) Düşük yoğunluklu organik maddelerin asit bakterilerince asetata dönüştürülmesi,
c) Asetat, CO_2 ve H_2' den metan bakterileri tarafından metan üretimi.

Atıkların içinde bulunan büyük moleküllü organik bileşikler (yağ, protein, karbonhidrat, selüloz, hemislüloz v.d.) metan bakterilerinin membranlarından geçemeyecekleri için önce diğer bakteri kültürlerinin ortak etkisi altında ve anaerobik koşullarda; bu yüksek moleküllü maddeler alçak moleküllü yağ asidi, alkoller gibi maddelere parçalanmaktadırlar. Bu maddeler de metan bakterileri tarafından substrat olarak alınmakta ve kullanılmaktadır. Metan bakterileri de bu asit oluşturucu bakteriler sayesinde yaşamlarını sürdürebilmektedirler. Asitleşme fazını da metanlaştırma fazı izler. Metan bakterileri asit bakterileri için toksik etki yapan kendi metabolizma atıklarını zararsız hale getirir. Büyük moleküllü bileşiklerden her iki ana fazın bakterileri doğrudan doğruya yararlanamadıkları için, arka arakaya sıralanmış glikoz moleküllerini monomer haline gelinceye kadar parçalamaları gerekmektedir. Bu işi gerçekleştirebilmeleri için de hücre dışı metabolik faaliyet göstererek, hücre dışına, 1. Oksidoredüktazlar, 2. Transferazlar, 3. Hidrolazlar, 4. Lüazlar, 5. İzomerazlar, 6. Ligazlar gibi enzimler salgılamaktadırlar. Bu enzimler de anılan maddelerin parçalanmasını sağlamaktadırlar.

Bu anılan enzimlerin önemli katkıları ile uzun halkalı yağ asitleri, gliserol, aminoasitleri, kısa halkalı peptidler, mono sakkaridler, disakkaridler daha sonra asit oluşturucu özel bakteriler tarafından asetik asit' e kadar parçalanırlar. Fakültatif yaşayan bu bakteriler yaşamları için gerekli olan enerjiyi üretirken oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Ortamda kalan son oksijeni de kullanarak metan bakterileri için mutlak gerekli olan oksijensiz ortamı hazırlamış olurlar. Çözünmüş oksijen ortamda kalmayınca da, moleküler bağımlı oksijeni kullanmaya başlarlar. Bu arada da hidroliz sırasında oluşmuş molekülleri, daha basit moleküllere dönüştürürler. Molekül ağırlıklarını azaltırlar. Nihai ayrışma ürünü de asit ve benzeri ürünlerden oluştuğu için de ortamın pH'sı 7' nin altına oldukça düşmektedir.

Metanajen fazda, metan bakterileri asit ve benzeri nihai ürünleri CO_2 ve CH_4'e kadar parçalarlar. Fermantasyon sırasında asit oluşturucularla metan oluşturucular karşılıklı yardımlaşma halinde yaşamaktadırlar (Metcalf ve Eddy 2003).

Asit oluşturucuların salgıladıkları enzimler, protein ve aminoasitlerinin amonyum tuzları haline dönüşmesini sağlar. Metan oluşturucular da azot gereksinimlerini bu tuzlardan temin ederler. Diğer taraftan da metan oluşturucu bakteriler de asit oluşturucuların metabolizma ürünlerini gazlaştırarak ortamın toksikleşmesini durdururlar (Metcalf ve Eddy 2003).

Metan bakterileri de asidik değil, hafif alkali ortamı tercih ettiklerinden dolayı da; asitleşme ile metan oluşumu safhaları iç içe olmalı ki fakültatif anaerob bakteriler tarafından üretilen asitler ve metabolizma, parçalanma ürünleri sürekli olarak kullanılabilir (Metcalf ve Eddy 2003).

Doğada biokütleyi anaerobik koşullarda metan gazına dönüştüren mikroorganizmalar bataklıklarda, göl diplerinde, bağırsakta, özelliklede geviş getiren hayvanların bağırsağında, çok çeşitli olarak bulunur. Bu bakteriler heterotrof bitkilerdir ve besinlerini hücre membranlarından ozmatik basınç yardımı ile alırlar, kullanırlar ve sindirim atıkları olarak atarlar (Metcalf ve Eddy 2003).

Kırsal alanda çok çeşitli kaynakta oluşan organik atıklar, biyogaz üretimi için tek tek veya entegre bir yaklaşım içinde ele alınıp değerlendirilebilir. Böylece yerel enerji ihtiyacı karşılanabildiği gibi; ayrıca fazlası da şebekeye verilebilir.

2.8.1 Hidroliz fazı

Hidroliz safhası kimi zaman asidojen safhasıyla tek bir safha olarak düşünülüp hidroliz ve asidojen safhası adı altında toplanır. Bu safha asıl olarak hücrelerin dış enzimleri tarafından gerçekleştirilir. Hücre dışı enzimler büyük moleküllü organik maddelerin daha küçük moleküllü organik maddelere dönüşümünü sağlarlar. Hidroliz safhası hücre dışı enzimlerin gerçekleştirdiği bir proses olduğundan enzimlerin çalışma şartlarını etkileyen faktörler bu safhanın hızını da etkiler. Hidroliz safhasının hızını etkileyen faktörler ortam pH'ı, sıcaklığı ve en önemlisi hidrolik bekletme süresidir. Hidrolik bekletme süresi yeterli olmadığında organik maddeler tam olarak hidroliz olamaz. Dolayısıyla bir sonraki safhada asit bakterilerinin uçucu asitlere dönüştürmek üzere ihtiyaç duyduğu basit yapılı organik maddelerin miktarı yetersiz olmuş olur. Bu da zincirleme olarak daha az organik madde giderimine ve daha az metan üretimine sebebiyet verir. Genel olarak hidroliz safhası anaerobik arıtma için sınırlayıcı faktör değildir, ancak çok yavaş hidroliz olan organik maddelerin arıtıldığı anaerobik arıtma proseslerinde sınırlayıcı safha olabilir. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2008).

2.8.2. Asidojenik ve Asetojenik faz

Asit üretim safhası, organik asit üretim safhası ve asetik asit üretim safhası olarak iki gruba ayrılabilir. Bu safhada, hidroliz safhasında daha basit yapılı hale gelen organik maddeler, işletme şartları kararlı ise bir grup bakteri tarafından asetik asit gibi zayıf asitlere, diğer bir grup bakteri tarafından ise H_2' e dönüştürülürler. Eğer metan bakterilerinin asetik asidi parçalamaları problemli ise organik maddeler propiyanat, bütirat gibi ara ürünlere dönüşürler. Bu ara ürünlerin asetik asit, CO_2 ve metana dönüşebilmesi için pH değerinin 4'ün altına inmemesi gerekir. Asit bakterilerinin çoğalma sürelerinin çok kısa olması ve ortam şartlarına çok çabuk adapte olmaları nedeniyle asit üretim safhası, anaerobik arıtma için hız sınırlayıcı bir safha değildir.(Debik ve ark 2008).

İkinci aşamada organik asitler asidojenik bakteriler tarafından asetik asit, (CH_3COOH), hidrojen (H_2) ve karbon dioksite (CO_2) dönüştürülür. Kimyasal açıdan bu işlemin gerçekleşmesi mümkün değildir. Ancak, oluşan hidrojenin ortamdan uzaklaştırılması ile bu tepkime gerçekleşebilir duruma gelmektedir. Bu işlem, metabolizmalarında hidrojen kullanan metan bakterilerince yapılır. Yani metan bakterileri kendi ihtiyaç duydukları hidrojeni alırlarken, asidojenik bakterileri olumsuz etkileyen bir maddeyi de ortamdan uzaklaştırmış olurlar. Ortamın aşırı karıştırılması bu dengeyi bozarak işlemi olumsuz etkileyecektir. Bunun yanı sıra tesisin yüksekliğinin artması (>6m) dipteki su basıncını ve dolayısı ile hidrojen kısmi basıncını artıracak ve yine olumsuz bir etkiye neden olacaktır.

2.8.3. Metanojenik faz

Metanojenik bakteriler zorunlu anaerob bakteriler olduğundan ortamdaki çok düşük miktardaki oksijen bile toksik etki yapar. Birkaç farklı metan bakteri grubu vardır ve her grup sınırlı sayıda belirli organik maddeleri fermente edebilirliklerine göre karakterize edilir. Böylece kompleks maddelerin metan fermantasyonunun bütününde farklı gruptaki metan bakterileri gereklidir. Formik asit ve metanol kullanan metan bakterileri çok hızlı çoğalır ve 2 günlük bekletme süresinde bile büyümelerini sürdürebilirler. Bununla birlikte en önemli metan bakterisi grubu olan asetik ve propiyonik asit ile çalışan bakteriler çok yavaş çoğalırlar ve bundan dolayı 4 gün ve daha uzun bekletme sürelerine gereksinim duyarlar. Bu bakteriler atığın stabilizasyonundaki en büyük görevi görmektedirler. Bu bakterilerin büyüme hızının yavaş oluşu ve asit giderme hızlarının düşük oluşu anaerobik arıtmanın dizaynında bu kademenin odak noktası olmasına neden olmuştur.(Alkan, 2003)

2.9. Metan Yanma Tepkimesi:

$$3CH_4 + 6O_2 = 3CO_2 + 6\,H_2O \quad DE = -2475\ kJ/mol$$

2.10. Anaerobik Çürütmenin Mikrobiyolojisi

Genel olarak aerobik sistemlerde arıtılabilecek her türlü atığın anaerobik sistemlerle de arıtılabileceği söylenebilir. Buna ek olarak, bazı atıkların örneğin selüloz içeren atıkların anaerobik sistemlerde daha kolay arıtılabileceği belirtilmiştir.(Alkan, 2003.)

Anaerobik çürütme farklı mikroorganizma gruplarının rol aldığı oldukça kompleks bir biyokimyasal süreçtir. Metanojenik mikroorganizmaların çoğu küresel yapılarından (*Methannococcus*, *Methanotrix* ve *Methanosarcina*), ya da çubuksu yapılarından (*Methanobacterium*, *Methanobacillus*) ayırt edilebilirler. *Methanosarcina* ve *Methanotrix* (diğer adıyla *Methanosaeta*) metan ve karbondioksit üretmek için asetatı parçalayabilen organizmalardır. Diğer organizmalar metan üretmek için elektron alıcısı olarak hidrojen ve karbondioksiti okside ederler. Asetat kullanan bakterilere termofilik reaktörlerde de rastlanır. *Methanosarcina* bakterisinin bazı türleri 65°C' de inhibe olurken *Methanotrix* bu sıcaklıkta inhibe olmaz. Hidrojeni kullanan metanojenler ise 60°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda da bolca bulunur.

Metanojenler ve asitojenler arasında karşılıklı fayda esasına göre bir ilişki vardır. Bu ilişki yoluyla organik maddeler, asetat, karbondioksit, hidrojen, metan gibi nihai ürünlere dönüştürülürler. Asitojenler ve diğer anaerob bakteriler tarafından üretilen hidrojenin metanojenler tarafından kullanılmasına türler arasında hidrojen transferi adı verilir. Eğer proseste problem olur da metanojenler üretilen hidrojeni yeteri kadar hızlı bir şekilde tüketemezse, reaktörde uçucu asit birikimi ve pH düşmesi nedeniyle asetat ve bütrat fermantasyonu yavaşlar.(Samsunlu, 2006)

En az beş bakteri gurubu anaerobik çürütme işlemlerinde görev alır ve her biri toplam metan gazı üretimine bir şekilde bağlıdır. Bu bakteri gruplarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1) Fermantasyon bakterileri,
2) Hidrojen üreten asetojenik bakteriler,
3) Hidrojen tüketen asetojenik bakteriler,
4) CO_2 indirgeyen metanojenler,
5) Asetoklastik bakteriler,

Biyo-organik atıkların kimyasal bileşenleri içinden polisakkarid, disakkarid, monosakkarid gibi karbonhidratların parçalanması önce gerçekleşir:

Polisakkaridler:

$$(C_6H_{10}O_5)i \text{ -----> } i \times [\ H_2 + kCO_2 + 1(C_4H_9OH) + m(C_2H_6O) + n\ H_2O\ ]$$

$$C_4H_9OH + H_2O \text{ --------> } 3\ CH_4 + CO_2$$

$$C_2H_6CO + H_2O \text{ --------> } 2\ CH_4 + CO_2$$

$$4\ H_2O + CO_2 \text{ --------> } CH_4 + 2H_2O$$

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O \text{ --------> } 3\ CH_4 + 3\ CO_2$$

Disakkaridler ise:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \text{ ---------> } C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

Monosakkaridler ise:

$$C_6H_{12}O_6 \text{ ---------> } CH_2OH(CHOH)_4.CHO$$

$$CH_2OH(CHOH)_4.CHO \text{ -------> } CH_3CH_2CH_2CH_2OH + 2\ CO_2 + H_2O$$

$$C_4H_9.\ OH + H_2O \text{ --------> } 3\ CH_4 + CO_2$$

Organik yağlar da:

Serbest yağ asitlerine parçalanırlar;

$$C_3H_5(C_{17}H_{35}COO)_3 + 3\ H_2O \text{ -----> } C_3H_5(OH)_3 + 3\ C_{17}H_{35}COOH$$

Tristearin Gliserin Stearin asiti

Metan bakterileri hem gliserini hem de Stearin asitini metan ve karbondioksite indirgerler;

$$[CH_3(CH_2)_{16}\ COOH\ ] + 8\ H_2O \text{ ------> } 13\ CH_4 + 5\ CO_2$$

Buterik asit :

$$2(CH_3CH_2CH_2COOH\ ) + 2\ H_2O \text{ -------> } 5\ CH_4 + 3\ CO_2$$

Sirke asiti :

$$CH_3COOH \text{ --------> } CH_4 + +CO_2$$

Gliserin :

$$4\ [C_3H_5(OH)_3\ ] \text{ ---------> } 2\ H2O + 7\ CH_4 + 5\ CO_2$$

Proteinler:

Hidroliz sırasında üre ve amonyağa, karbondioksit ve hidrojen sülfüre kadar parçalanırlar:

Üre: $CO(NH_2)_2 + H2O \text{ ------> } CO_2 + 2NH_3$

Glyan: $4(CH_2NH_2.COOH) + 2\ H_2O \text{ ---> } 3CH_4 + CO_2 + 4\ CO_2 + 4NH_3$

Alanin: $2(CH_3CHNH_2.COOH) + 2H_2O \text{ -----> } 3CH_4 + CO_2 + 2\ CO_2 + 2NH_3$

Açığa çıkan amonyak çamur suyunda çözünür ve bakteriler tarafından yeni hücre sentezlerinde azot kaynağı olarak kullanılır. Bu nedenle de bu sistemde azot kaybı görülmez.

Metan bakterileri mezofilik ve termofilik olarak ayrılmaktadırlar. Mezofiller için optimum sıcaklık 30 - 35^{o}C iken; termofiller için ise 45 - 55^{o}C civarındadır. (Öztürk, 2009)

2.11. Karbonat redüksiyonu ile metan oluşumu

Metan oluşturan bakteriler zorunlu anaerob bakterilerdir. Oksijene karşı çok duyarlı oldukları için ancak oksijensiz koşullarda aşılanabilir veya izole edilebilirler. Anaerobik beslenme zincirinin de son halkasını oluştururlar. Metan bakterileri hidrojeni aktifleştirebilmektedirler. CO_2 hidrojen alıcısı olarak kullanılmakta ve metan üretilmektedir.

$$4H_2 + CO_2 \text{-------} > CH_4 + 2H_2O;\ G_0 = -131\ kJ/mol$$

Bazı metan bakterileri CO'uyu da metan dönüştürmektedir:

$$4\ CO + 4H_2O \text{---------} > 4CO_2 + 4H_2$$

$$CO_2 + 4H_2 \text{ ---------} > CH_4 + 2H_2O$$

$$4\ CO + 2H_2O \text{ --------} > CH_4 + 3CO_2$$

2.12 Karbonat redüksiyonu ile asetat oluşması

Metan oluşan çok yerde asetik asit oluşmaktadır. Asit oluşturucu bakteriler çürütme reaktörlerinde karbondioksiti moleküler hidrojenle aşağıdaki gibi dönüştürmektedirler

$$4H_2 + 2CO_2 \text{ ----------} > CH_3\text{-}COOH + 2H_2O$$

2.13. Anaerobik Arıtma için Optimum Çevre Şartları

Havasız arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre şartlarının genel değerlendirilmesi Çizelge 2.3'de verilmektedir. Sıcaklık faktörü anaerobik reaktörleri hem kinetik, hem de termodinamik açıdan etkiler. Anaerobik proseslerde, sıcaklık atışı ile biokütlenin çoğalma hızının artması ve parçalanma reaksiyonlarının daha çabuk olması nedeniyle süreç verimi sıcaklık ile artış göstermektedir. Termofilik sıcaklıklarda çalışmak biyolojik ayrışabilirliği yüksek olan atıksuların arıtımında problem ortaya çıkarabilmektedir. Sıcaklık artışı ile artan kinetik aktivite ve çoğalma hızı, asitojenlerin metanojenlerden daha hızlı asit üretmesine neden olur ve mikroorganizmalar arasındaki dengeyi bozarak ortamda asit birikmesine yol açabilir (Metcalf ve Eddy 2003).

Metanojenler için optimum pH aralığı 6,5-8,2 kabul edilir. pH>8 için aktivitenin aniden düşmesi ortamdaki serbest amonyak miktarıyla ilgilidir. pH<5,5 halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar. Anaerobik çürütmede işletmeye alma ve aşırı yükleme devreleri dışında genellikle pH kontrolü gerekmez. Anaerobik çürütme esnasında reaktördeki pH, CO_2 ve alkalinite parametreleri birbirlerine bağlı parametrelerdir. Dolayısıyla bunlardan ikisinin bilinmesi diğerinin tahminini mümkün kılar. Metan bakterilerinin optimum metan gazı üretebilmeleri için aşağıdaki çevresel parametreler sağlanmalıdır;

- Bakteriler için yeterli miktarda tutunma yüzeyinin bulunmalıdır.
- Yeni hücrelerin oluşturulması ve inşası için yeterli miktarda azotun bulunmalıdır.
- Reaktördeki pH değerinin 7,0 - 7,6 arasında olmalıdır.
- Metan bakterileri için substrat asetik asit cinsinden organik asit olarak konsantrasyonu 500 - 5500 mg/l dolayında olmalıdır.
- Reaktörün sıcaklığı mutlaka > 30^o C olmalıdır.
- Karanlık ortam sağlanmalıdır.
-Ortamda oksijen kesinlikle bulunmamalıdır.
- Minimum su miktarı % 50 olmalıdır.

- Asitleştirme ve metanlaştırma fazının iç içe olması ve pH'nın asidik sahaya kaymamalıdır.
- Kükürt miktarı > 200 mg/l olmamalıdır.
- Çürüme kademesinde elde edilen, parçalama ve metabolizma ürünlerinin konsantrasyonu metan bakterileri için yeterli düzeyde olmalıdır.
- Besin maddesi bakteri arasındaki temas sıklığı uygun olmalıdır.
- N/C oranın yüksek olmamalıdır.

2.14. Hacimsel Yük ve Hidrolik Bekleme Süresinin Önemi

Substrat içinde ne kadar çok organik madde bulunursa, asit üreten bakteriler de o kadar çabuk gelişirler. Bu da 1. fazda ara ürünlerin yığılmasına ve böylece de çürütme tesisinde asit konsantrasyonunun artmasına; pH değerinin düşmesine neden olur. Üretilen asitlerin fazla oluşu, ortamın metan bakterilerin yaşaması için elverişli olmayan bir hale gelmesine neden olur. (Öztürk 2009). Bu nedenle reaktör tasarımında ve tesis işletilmesinde uygun hacimsel yük koşullarına dikkat edilmelidir.

Atıklar çeşitli reaktörlerde anaerobik koşullarda ayrıştırıp, biyokimyasal dönüşümler sonucunda enerji bakımından zengin maddeler elde edilebilir. Besin maddesi girdisi güvenceye alınırken; organik madde miktarını o kadar iyi vermeli ki, asit oluşturucuların aşırı gelişmesi engellensin (Çürütme hacmine karşı organik yük ayarlaması).

Organik hacimsel yük ile substrat (ayrışan madde) katı maddesi arasında doğrudan doğruya bir ilişki vardır. Çünkü katı maddenin belirli oranı organik maddelerden oluşmaktadır. İnorganik madde oranı fazla olan bir katı madde içeren çamur, asit oluşturan bakterilere az besin maddesi sunarken; katı madde miktarı az, fakat çoğunlukla organik maddeden oluşan bir çamur bakterilere daha fazla besin maddesi sunmaktadır. Bu nedenle de " organik hacimsel yük " daha büyük önem kazanmaktadır.

Biyogaz tesislerinin ekonomik kalmasını sağlamak için çürütme kapasitesini optimal kullanabilmek için; çamurun katı madde miktarı olabildiğince artırılmalıdır. Çürütülecek madde ile onu çürütecek olan mikroorganizma sık sık bir araya gelmelerini

sağlamak gerekir. Buda hidrolik bekleme süresinin uygun seçilmesi ile sağlanabilir. Hidrolik bekleme süresi prosesin yürümesi ve gerçekleşmesi açısından çok önemlidir. Hidrolik bekleme süresinin en doğru seçilmesi halinde, çok daha fazla gaz elde etmek mümkündür. (Anonim 2011).

Hidrolik bekleme süresinin uygun seçilmesi ile: hacim darlığı, besin noksanlığı, toksik metabolizma ürünlerinin etkileri engellenmektedir.

Çürütme olayında katkısı olan asitleştirici, hidrolize eden bakteriler anaerobik ayrışmanın birinci fazında; metan bakterilerine yeterli, sürekli substrat yetiştirmeleri gerekmektedir. Birinci fazdan gelen metan bakterisi substratı ile tüketilen substrat denge içinde olmalıdır, reaksiyon hızları aynı olmalıdır.

Hidrojen iyon konsantrasyonunun olaya etkisi:
Eğer substratda çok miktarda organik madde varsa, bu önce asit oluşturucular tarafından parçalanarak H^+ artmasına neden olacaklardır. Çünkü metan bakterileri ikinci fazda gelişmekte ve bu ürünleri kullanabilmektedir. H^+ iyonlarının fazla artması halinde metan bakterileri gelişememektedir. (Hartmann ve ark. 1999).

Katı madde içeriği ile organik hacimsel yükleme arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki substrat (S) asit konsantrasyonu ile katı madde arasındaki lineer ilişkiye bağlanması mümkündür. (Hartmann ve ark. 1999).

Organik atıkların sistem içinde kalma süresi, toplam tesis hacminin günlük besleme miktarına oranından hesaplanmaktadır. Ancak, bir hacim içine yükleme yapılarak daha önce konulan malzeme ile tam karıştırma sağlanan sistemlerde bu ancak yaklaşık bir değer verir. (Hartmann ve ark. 1999).

Organik atıkların tam olarak işlenmesi için gereken süre sıcaklık ve kullanılan maddeye bağlı olarak değişir. Örneğin basit sistemlerde ve mezofilik sıcaklık aralığında kümes hayvanları ve büyükbaş hayvan gübrelerinin tam olarak işlenebilmesi için 20-40 günlük zamana gereksinim vardır. Kullanılan tesisin özelliklerine bağlı olarak bu süreyi 5 güne

kadar indirmek olasıdır. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, sistemin kaldırabileceğinden daha fazla yükleme yapılmamasıdır. Aksi durumda, bakteri üreme hızının aşılmasından dolayı sistemde tutulan toplam metan bakteri sayısı azalacaktır.

2.15. Anaerobik Reaktörlerde Hidrolik Bekleme Süresinin Belirlenmesi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir (Öztürk,2005). Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişir. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için hidrolik bekleme süresi daha uzun seçilebilir. (Hartmann ve ark. 1999).

Hidrolik bekleme süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında hidrolik bekleme süresini etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Sığır gübresi daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Mezofilik şartlarda ortalama hidrolik bekleme süreleri aşağıda verilmiştir.

Sıvı Sığır Gübresi 12 ile 30 gün
Saman Yataklı Sığır Gübresi 18 – 36 gün
Sıvı Domuz Gübresi 10 – 25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi 50 - 80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi 20 - 40 gün (Biyogazder 2011)

Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek

sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir. Dolayısıyla hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek gerekir (Öztürk, 2005).

Organik madde giderme verimi, gerçek tesiste giderilen substrat başına üretilen biyogaz miktarı ile laboratuar ortamında optimum şartlarda işletilen doldur-boşalt tipteki düzeneklerin (Biyolojik Metan Potansiyeli testi gibi) biyogaz verimleri karşılaştırarak belirlenebilir. Ancak genelde arıtma verimi uçucu katı madde giderme yüzdesi olarak ifade edilir. Bunun ana sebebi, biyogaza dönüşüm oranının proses performansından çok atığın bileşimine bağlı olmasıdır. (Hartmann ve ark. 1999).

Katı atıkların seyreltilmesi, daha ucuz ekipmanların (pompayla iletim) kullanılmasına imkan verirken aynı zamanda daha büyük reaktörler, daha fazla karıştırma enerjisi ihtiyacı, daha büyük susuzlaştırma ekipmanları ve daha kompleks ön-arıtma tesisleri gerektirir. Bir diğer kısıt ise atığı seyreltmek için oldukça fazla miktarda temiz su gerektirmesidir ($\approx$ 1m^3 musluk suyu/ton katı atık). Su tüketimi hem ekolojik hem de ekonomik bakımdan mahsurludur. Zira bazı durumlarda suyun satın alınması ve atıksuyun arıtılması gerekebilir. Bu yüzden atığı seyreltmek için temiz su yerine, katı hayvan gübresinden daha az katı madde içeriğine sahip farklı substratların (atıksu arıtma tesisi çamurları, çiftlik ve sıvı hayvan atıkları) kullanımına öncelik verilmelidir. (Öztürk 2010).

Anaerobik çürütme genelde mezofilik sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bunun ana nedeni, termofilik sistemlerin kararlılığının daha düşük olması ve daha kolay proses arızaları oluşturma riskidir. Buna rağmen son 15 senede birçok tam ölçekli termofilik tesis devreye alınmıştır. Ayrıca Danimarka'da ki tüm merkezi biyogaz tesisleri de termofilik şartlarda çalışmaktadır. Tüm bunlar termofilik proseslerin etkin izleme ve kontrol yoluyla oldukça kararlı bir şekilde çalıştırılabildiğinin bir göstergesidir. Termofilik şartlarda reaksiyon hızları daha yüksek olduğundan, sistem daha düşük bekletme sürelerinde işletilebilir. Termofilik işletme şartları atığın daha iyi hijyenize olmasını sağlar. Hayvan atıkları ve arıtma çamurunda bulunabilecek patojenler termofilik şartlarda bir kaç saat içinde yok edilebilmektedir. Ayrıca atık içerisinde bulunabilen zararlı ot tohumları ve fitalatlar, bilhassa hipertermofilik (67 ^oC) şartlarda yok edilebilir

ve bu sayede çürütücü çıktısının tarımsal amaçlı kullanım kalitesi arttırılabilir (Hartmann ve ark. 1999).

2.16. Anaerobik Reaktörlerde Aşılamanın Önemi

Yeni ayrışmaya başlayan bir biokütlenin içindeki bakteri sayısı başlangıçta çok azdır. Bu nedenle çürüme olayı alışma ve çürüme fazları olarak genelde ikiye ayrılabilir. İlk fazda birim zamandaki gaz üretimi sürekli olarak artar. Böylece gaz üretim eğrisi ideal gelişme eğrisine benzer. Biyogaz üretimi, dolaylı olarak yaşam aktivitesi gösteren bakteriler hakkında bir ölçüdür ve birim zamanda ki gaz üretiminin artması, çoğalmaya tekabül etmektedir. Bu ilişki bakteri çoğalma eğrisinden açıkça görülür. Artan bakteri popülâsyonu kendisi için sunulan mevcut geniş yaşam hacmi ve besin maddesi ile yakından ilgilidir. Alışma safhasını kısa tutmak amacı ile çamura, yaşama yeteneğine sahip, canlı, dinamik, genç organizmalardan oluşan bakterileri katmakta, aşı yapmakta çok yarar vardır. Böylece bakteri/substrat temas oranı hemen yükselecektir. Bu da gaz üretiminin tam olarak gerçekleşmesini sağlayacaktır. Aslında aşılamadan anlaşılan organik madde ile benzer koşullarda çalışan bir çürütücüden alınan çürümüş materyalin belirli oranda karıştırılmasıdır. Böylece çürüme hızlı ve iyi başlar, gaz üretimi için de gerekli olan çürüme süresi azaltılmış olunur.

Aşılama yaparken aşı çamurunun miktarı yanı sıra yaşı da çok önemlidir. İyi bir aşı çamuru içinde artık (ayrışmamış, geriye kalan) organik madde içermeyen, fakat çok sayıda yaşama yeteneğine sahip, genç ve dinamik işçilerden oluşan bir çürük çamurdur. Yani diğer bir deyişle organik maddesi sadece bakteri biyomasından oluşan bir genç işçiler ordusudur (çamurdur).

Çöplüklerde ve diğer yapay veya doğal metan gazı oluşturma reaktörlerinde oluşan metan gazlarının patojen organizmaları zararsızlaştırarak hijyenleştirme faydaları da vardır. Diğer bir deyişle bazı mikroorganizmalara da toksik etki etmektedirler. Buda anaerobik çürütmenin patojen giderimindeki etkisini gösterir. (Fisher . ve Krieg 2010).

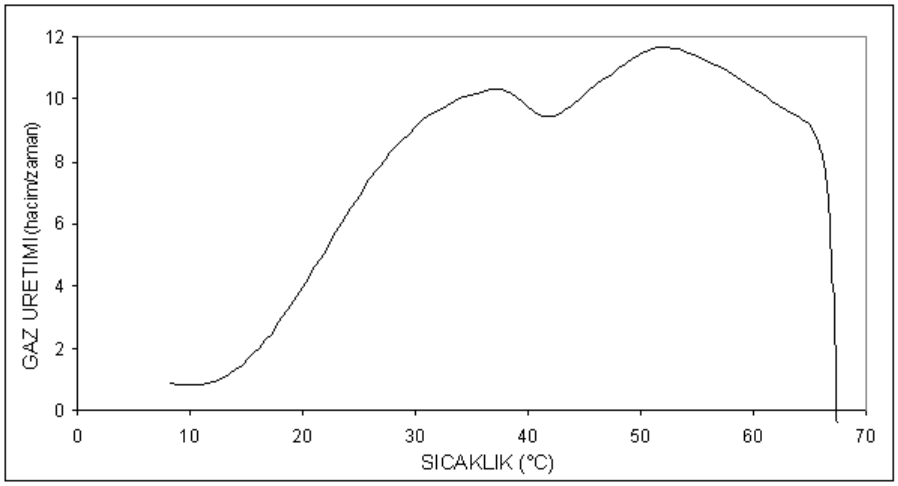
2.17. Anaerobik Reaktörlerde Sıcaklığın Etkisi

Fermantasyon 3-70°C gibi geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşebilmektedir. Metan üretebilen birçok bakteri çeşidi vardır. Sıcaklığa bağlı olarak bunlar üç grupta incelenmektedir. (Metcalf ve Eddy 2003).

Psikrofil 20°C altı (2°C/saat)
Mezofil 20-40°C (1°C/saat)
Termofil 45°C üstü (0,5°C/saat) (Metcalf ve Eddy 2003).

Metan üretimi işlemi sıcaklık değişimine karşı çok hassastır. Yukarıda belirtilen sınırları geçen hızdaki değişimler, üretimini engelleyici olarak kabul edilmektedir.(GTZ, 2008) Mikroorganizmaların metabolik aktivitesi ve bağlı olarak gaz verimi, normalde artan sıcaklıkla beraber artar. Ancak, artan sıcaklık ile amonyak miktarındaki artış gibi nedenler ile artan sıcaklığa karşın gaz veriminde düşme de gözlenebilir.

Yavaş olan sıcaklık değişimlerine mikroorganizmalar adapte olurlar, ancak ani sıcaklık değişimleri mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi yapar. Bu yüzden anaerobik proseslerin ±2 °C aralığında çalıştırılması gerekir. Anaerobik arıtmada biyogaz üretiminin sıcaklıkla değişimi Şekil 2.1 ’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Anaerobik arıtmada biyogaz üretiminin sıcaklıkla değişimi (Hartmann ve ark. 1999).

2.18. Anaerobik Reaktörlerde Nütrientlerin Önemi

Tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi anaerobik proseslerde de biyokütle sentezi için ortamda besi maddeleri ve iz elementlerin mevcut olması gereklidir. Arıtılan atığın

C/N/P bakımından dengeli olması çok önemlidir. Böyle bir denge yok ise üre, H_3PO4, amonyum fosfat gibi kimyasal maddeler ilave edilerek bu denge sağlanır. Alıştırma devresinde C/N/P oranı 300/5/1~500/5/1 arasında tutulmalıdır. Kararlı hale gelen sistemde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir. Ayrıca, çamur yaşının çok uzun tutulduğu durumlarda bu oran uygun şekilde düşürülebilir. Azot (N) ve fosfor (P) gibi makro nütrientlerin yanı sıra Na, K, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se ve W gibi iz elementleri de proses için gereklidir. Özellikle tüm çevre şartlarının optimum olduğu durumda etkin organik katı madde giderimi ve düşük uçucu yağ asidi seviyeleri elde edilemezse, iz elementin eksikliği söz konusu olabilir. Bu durumda, Fe, Co ve Ni gibi üç önemli iz elementi reaktöre, 0,1 mg/L seviyesi elde edilecek miktarlarda, özel formüller halinde dozlanması gereklidir. Çizelge 2.3'de anaerobik arıtma için gerekli besi maddeleri ve bunlara ait değerler verilmektedir.

Çizelge 2.3 Anaerobik çürütme için gerekli besi maddeleri ve bunlara ait değerler.(Rittman 2001).

Elementler	İhtiyaç (mg/grKOİ)	Maksimum Konsantrasyonlar (mg/lt)	Eklenen Formları
Makro besi maddeleri			
Azot	5-15	50	NH_3, NH_4Cl, NH_4HCO_3
Fosfor	0,8-2,5	10	NaH_2PO_4, H_3PO_4
Sülfür	1-3	5	$MgSO_4.7H_2O$
Mikro besi maddeleri			
Demir (Fe)	0,03	10	$FeCl_2.4H_2O$
Kobalt (Co)	0,003	0,02	$CoCl_2.2H_2O$
Nikel (Ni)	0,004	0,02	$NiCl_2.6H_2O$
Çinko (Zn)	0,02	0,02	$ZnCl_2$
Bakır (Cu)	0,004	0,02	$CuCl_2.2H_2O$
Mangan (Mn)	0,004	0,02	$MnCl_2.4H_2O$
Molibdat (Mo)	0,004	0,05	$NaMoO_4.2H_2O$
Selenyum (Se)	0,004	0,08	Na_2SeO_3
Tungsten (W)	0,004	0,02	$NaWO_4.2H_2O$
Boron (B)	0,004	0,02	H_3BO_3
Genel Katotlar			
Sodyun (Na)		100-200	NaCl, $NaHCO_3$
Potasyum (K)		200-400	KCl
Kalsiyum (Ca)		100-200	$CaCl_2.2H_2O$
Magnezyum (Mg)		75-250	$MgCl_2$

2.19. Anaerobik Reaktörlerde pH ve Alkanitenin Önemi

Genelde pH düzeyi, karbon dioksit-bikarbonat (CO_2 - HCO_3^-) ve amonyak-amonyum (NH_3^- - NH_4^+) arasındaki tampon etkiden dolayı oluşan organik dolayısı ile biyogaz potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaz. Dengeye ulaşan bir tesiste pH, olağan olarak 7-8,5 arasındadır. Bu değerin 6,2'nin altına inmesi, metan bakterileri üzerinde toksik etki yaratır. Metan oluşturucu bakteriler için en uygun pH değerleri nötr veya hafif alkali değerlerdir. Anaerobik şartlarda fermantasyon işlemi devam ederken 7- 7,5 arasında değişir. Asit oluşturucu bakterilerin ise sayısı artarak pH nın düşmesine ve metan oluşumunun durmasına sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesi sağlanır (Debik ve ark. 2008).

Ortamda işletme esnasında TUA/Alkalinite oranı 0,1 değerini aşmamalıdır. Ortamın pH'sının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda sistemin alkalinitesinin ilave kimyasallar ile arttırılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallara örnek olarak $Ca(OH)_2$, $NaHCO_3$, Na_2CO_3, NaOH, NH_3 veya NH_4HCO_3 verilebilir (Rittmann 2001).

2.20. Anaerobik Reaktörlerde Toksisite Etkisi

Antibiyotikler, ağır metaller ile deterjan gibi maddeler bakterilerin gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluştururlar. Bu maddelerin reaktörlere sızması ile üretimin yavaşlaması veya durması söz konusu olabilmektedir. Büyükbaş hayvanlara verilen antibiyotikler gübreye geçer benzer şekilde tavuk yetiştiriciliğinde yemlere antibiyotik katılması, gaz üretiminde tavuk gübrelerinin kullanıldığı sistemlerde toksisite etkisi yapmaktadır. Bu şekildeki yemlerle beslenen tavukların gübrelerinde de antibiyotikler bulunmakta ve bu antibiyotikler metan oluşturucu bakteriler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır (Biogazder 2010).

Organik atıklardaki üre kolayca amonyuma (NH_4^+) dönüşür. Bunun dışında kalan azot, genelde proteinlere bağlıdır ve anaerobik koşullarda zamanla amonyuma dönüşür. Amonyum (NH_4^+) amonyağın (NH_3) iyon durumudur. Artan sıcaklıkla, amonyağa dönüşme oranı artar. Oluşan amonyak, bakteriler üzerinde toksik etki yarattığı ve

miktarı amonyum miktarına bağlı olduğu için, ortamda fazla amonyum olması zararlıdır. Yani, azot oranı çok yüksek atıklarda sorun yaşanabilmektedir. Her ne kadar 1700mg/L NH_4^+ metan bakterileri üzerinde olumsuz etkiye neden olmakta ise de, uygun bir süreçten sonra 5000-7000 mg/L NH_4^+ seviyesine alışabilmektedirler.

2.21. Anaerobik Reaktörlerde Karbon/Azot Oranı

Mikroorganizmaların hücre yapılarında ve enerji üretiminde kullanmak için karbon ve azota gereksinimleri vardır. Metan bakterilerinin metabolik etkinlikleri karbon/azot oranı ile değişir. Bu yüzden, kullanılan organik maddeye göre uygun bir karbon/azot oranı ile çalışılarak sistemin verimliliğini arttırmak olanaklıdır. Örneğin, büyükbaş hayvan gübreleri içinde karbon miktarının fazla olması nedeni ile azot içeren idrarın kullanılması önemlidir. Kümes hayvanlarında ise, azotun fazla olması nedeni ile gübreye bitki artıkları gibi bir karbon kaynağı eklenmeli veya gübre amonyağın uçması için bekletilmelidir.

Genel olarak biyogaz oluşumuna etki eden mikrobiyolojik bakterilerin etkileneceği her faktör biyogaz üretimini de etkiler. Bir bakterinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için belirli sıcaklık ve pH değerlerine ihtiyacı vardır. Aynı zamanda toksisite de bakterilerin faaliyetlerini direk olarak etkiler. C/N oranı (Karbon / Azot) bir bakterinin ayrıştırma hızına etkisi bulunduğu için önemlidir. C/N oranın dar olması bakterilerin o atığı daha hızlı ayrıştırması anlamına gelir.

Anaerobik bakteriler karbonu enerji elde edebilmek için kullanmaktadırlar. Azot ise bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan diğer maddedir. C/N oranı biyogaz elde edilecek olan atık için uygun değerlerde olmalıdır. Oran 23/1 düzeyinden fazla ve 10/1 oranından az olmamalıdır. Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebebiyle biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir (http://www.biyogazder.org,2010).

2.22. Anaerobik Reaktörlerde Katı Madde Oranının Önemi

Çok koyu bir ortam bakteri hareketlerini olumsuz etkileyeceği için biyogaz verimi azalacaktır. Gerekli durumlarda sisteme konulan atıklar su ile karıştırılmalıdır. Islak fermantasyon için reaktör içindeki katı miktarı %8-%15 aralığında tutulmalıdır.%45

üstünde yapılan reaktör tasarımları kuru fermantasyon olarak anılır. Kuru fermantasyon tesisleri genelde evsel atıkların çürütülmesi için kullanılmaktadır ve aynı substrat için birim uçucu asit başına üretilen gaz miktarı ıslak fermantasyon ünitelerine göre daha azdır. Anaerobik reaktörlerde birim hacim başına gaz üretimini arttırmak için birim hacme düşen uçucu katı miktarı yeterince yüksek tutulmaktadır. Böylece aynı hidrolik bekleme sürelerinde birim hacimden daha fazla biyogaz elde edilir (IBBK 2011).

2.23. Anaerobik Reaktörlerde Karıştırma Sıklığının Önemi

Karıştırma ile üretilen gazın sistemden uzaklaştırılması, sisteme yeni giren malzemenin bakteri içeren malzeme ile karışması, yüzeyde oluşan ve gazın rahat çıkmasını engelleyen tabakanın dağıtılması ve çökelmenin önlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, karıştırma ile daha homojen bir sıcaklık ve bakteri dağılımı elde edilebilir ve sistem içerisinde ölü bölgelerin oluşması önlenir. Karıştırma gereksinimi, kullanılan organik madde ve tesis tipine göre değişmektedir. Ancak karıştırma sistemlerinde dikkate alınması gereken en önemli nokta, aşırı karıştırmanın değişik bakterilerin kendi aralarında oluşturduğu dengeyi bozarak sistemi olumsuz etkileyeceğidir. Birbirinin ürettiği maddelerle yaşayan bakterilerin hızlı karıştırma ile ayrılmaları, yeniden bir denge oluşana değin besin maddelerini bulmalarının zorlaşması anlamına gelmektedir.

Karışımın doğru yapılıp yapılmadığının kontrolü reaktörün değişik katmanlarından ve değişik bölgelerinden alınan numunelerdeki sıcaklığın benzer olması ile sağlanabilir. Reaktör içindeki katı madde miktarının yüksek olması karıştırma işleminin de arttırılmasını gerektirir. Örneğin süt endüstrisi atıksularının anaerobik arıtımında tepeden devamlı çalıştırılan tek bir karıştırıcı yeterli iken hayvansal ve endüstriyel atıkların birlikte arıtıldığı bir tesiste dikey ve yatay olmak üzere birden fazla karıştırıcı gerekmektedir. Karıştırma operasyonu optimize edildiğinde özgül ağırlığı düşük olan yağ, saman vb maddelerinde üst kısımda birikmesi engellenmiş olur (IBBK 2010, 2011).

2.24. Anaerobik Çürütmede Patojen giderimi

Paratyphus B; Enteritis Breslau; Enteritis Gaertner Cholera ve sarılık mikropları da anaerobik çürüme olaylarına karşı çok duyarlıdır. Çin'de Szechnan Eyaletinin Parazitoloji Enstitüsünde yapılan çalışmalarda çürük çamurdaki parazit yumurtalarının taze çamurdakinden % 95 daha az olduğu saptanmıştır. Patojenleri öldürme oranı hem çürütme sıcaklığına, hem de çürütme süresine bağlıdır.

Domates tohumları ve kalın kabuklu çekirdekler hariç bütün diğer bitki tohumları, çürüme sırasında çimlenme yeteneğini kaybetmektedirler. Sonuç olarak yabani ot tohumunun taşınması söz konusu değildir. Koliform bakterilerinin ise % 0,2 'ye kadar düştüğü görülmektedir. Alkali çürütme yöntemleri ile kırsal kesimde de önemli hijyenik ve sağlıklı koşullar sağlanmış olur (Anonim 2011) .

2.25. Anaerobik Çürütme Tesislerinin Tasarımı

Biyogaz üretimi iki ayrı yöntemle gerçekleşmektedir.

Kesikli besleme yöntemi: Tesis hayvansal ve/veya bitkisel atıklarla doldurulmakta ve alıkoyma-bekleme süresi kadar beklenmektedir. Bu süre sonunda tesis tamamen boşaltılmakta ve işlem sürekli tekrarlanarak gaz üretimi sağlanmaktadır.

Sürekli besleme yöntemi: Tesis hayvansal ve/veya bitkisel atıklarla doldurulmakta ve alıkoyma süresi kadar beklenmektedir. Daha sonra biyogaz üretim tankının (fermantör) sıcaklığına bağlı olarak günlük beslemelere geçilmekte ve sürekli gaz üretimi sağlanmaktadır.

Birçok ülkede biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedir. Biyogaz tesisleri, aile tipi (6-12 m^3 kapasiteli) çiftlik tipi (50-100-150 m^3 kapasiteli), köy tipi (100-200 m^3 kapasiteli) tesisler olarak ele alınabileceği gibi başta Almanya olmak üzere Amerika, Danimarka, İsviçre gibi pek çok ülkede 1000-10.000 m^3 kapasiteli biyogaz tesisleri işletilmektedir (http://www.biyogazder.org,2010).

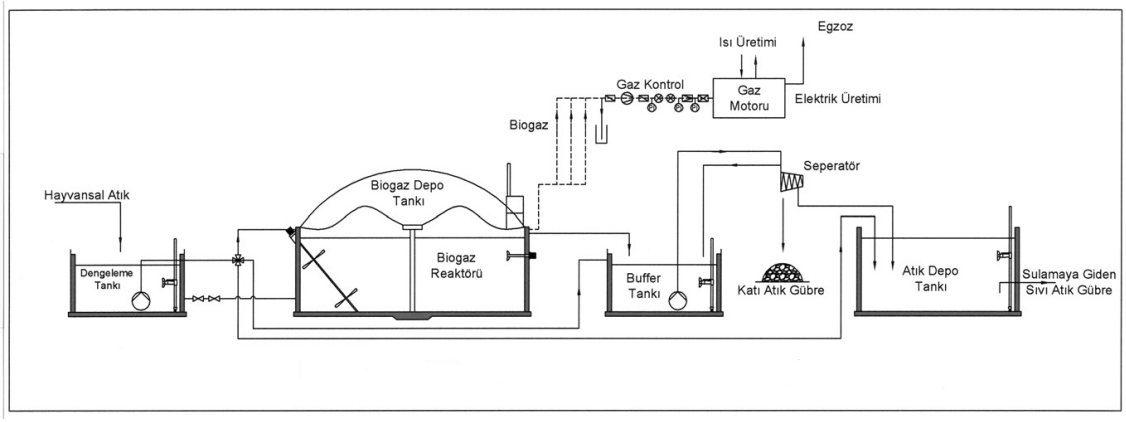
Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığı çok önemlidir. Genel bir kural olarak bu sıcaklığın 30-35 °C olması istenir. Isıtmalı olmayan tesislerde özellikle kış aylarında sıcaklığın bu derecelere ulaşması mümkün değildir. Sıcaklığın 10 °C'nin altına düşmesi biyogaz üretimini durdurabilmektedir.

Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve en yaygın kullanılan sistem, tesis içine yerleştirilen serpantinlerden yararlanmaktır (sıcak su boruları). Bu sistemde su, tesis tarafından sağlanan biyogazla ısıtılarak sirkülasyon pompası ile tesis içine yerleştirilen serpantinler içinde dolaştırılarak ısıtma sağlanmaktadır. (http://www.biyogazder.org,2010).

2.26. Anaerobik Çürütme Tesislerinin Bileşenleri

Şekil 2.2'de tipik bir hayvansal anaerobik çürütme tesisinin şematik çizim görülmektedir. Dengeleme tankında toplanan hayvansal gübre burada bulunan dalgıç tip bir pompa ile biyogaz reaktörüne aktarılmaktadır. Reaktör takında bulunan aks tip ve dalgıç tip karıştırıcılar ile reaktörde tam karışım sağlanmaktadır. Reaktör üzerinde bulunan çift katlı membran yardımı ile toplanan gaz, gaz motoruna iletilerek ısı ve elektrik enerjisine çevrilmektedir. Isının bir kısmı reaktörün ısıtılmasında kullanılırken elektrikte çiftlik ve tesis ihtiyacı için kullanılabilmektedir.

Çürümüş gübre buffer tankına alınarak burada bulunan dalgıç tip pompa yardımıyla separatöre basılmaktadır. Separatörde katı ve sıvı faz olarak ayrılan gübrenin katı formu kompostlaştırma gibi ileri stabilizasyon teknikleri ile işlenebilirken, sıvı form sıvı depo tankına alınarak ekim zamanına uygun olarak tarlalarda gübreleme amaçlı kullanılabilmektedir.



Şekil 2.2 Anaerobik çürütme tesisinin şematik görünümü (Tolay M. ve ark. 2008)

2.26.1 Fermantör

Bu kısım kesinlikle hava almayacaktır. Depo içerisinde bir karıştırıcı olması gerekir. Ayrıca deponun içerisine bir ısıtıcı yerleştirilmelidir. Biyogazın üretilmesi için fermantör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı 36°C'den az olmamalıdır. Bilinmelidir ki sıcaklık düştükçe gaz üretimi de düşecektir. Ayrıca yine içeriye hava almayacak şekilde fermantörün bir organik madde (gübre) giriş ağzı birde gübre çıkış ağzı yerleştirilmelidir. Şekil 2.2'de biyogaz reaktörü (fermantör) şematik olarak görülmektedir.

2.26.2 Gaz deposu

Üretilen biyogazın depolanacağı sabit basınç sağlayan bir depoya ihtiyaç vardır. Fermantör üzerinde biriken gaz fermantör üzerine yerleştirilen çift katlı veya tek katlı bir HDPE mebranda biriktirilir. Fermantör üzerindeki bu hacim gaz deposu görevi görmektedir. Kullanılan montaj açısına göre depo hacmi değiştirilebilir.(Sattler 2008)

2.26.3. Gübre (organik madde) Deposu

Biyogazın üretilebilmesi için fermantöre alınacak Akışkan durumuna gelmiş olan bu bulamaç halindeki gübrenin depolanması için betondan yapılmış havuz şeklinde bir gübre deposuna ihtiyaç vardır.

Biyogaz Üretiminde Aşağıdaki İşlemlerden Kesinlikle Kaçınılmalıdır:

1) Fermantöre kesinlikle hava aldırılmamalıdır.
2) Antibiyotik almış hayvanların gübreleri kesinlikle fermantöre konulmamalıdır. Antibiyotikler metan bakterisini öldürür.
3) Deterjanlı atıklar kesinlikle fermantöre konulmamalıdır. Deterjanlarda bakteriyi öldürür.
4)Reaktör dizaynında maksimum olarak hesaplanan günlük ortalama organik besleme miktarı aşılmamalıdır.

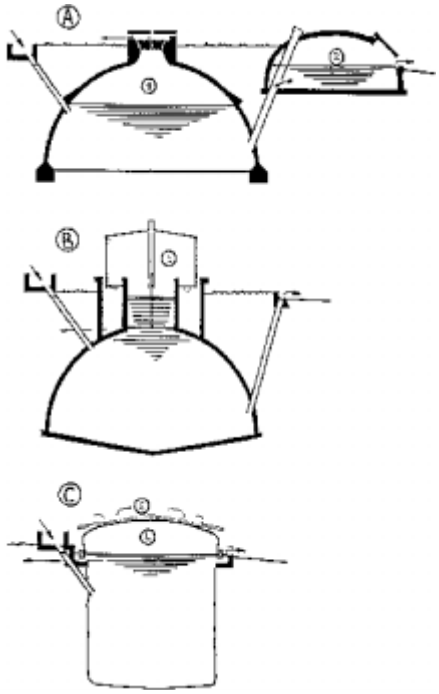
Biyogaz oluşumu ağır metallerin varlığında da sürer. Ancak, sınır değerlerini aşması durumunda bu maddelerin biyogaz oluşumu üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir.

2.27.Boyutuna Göre Anaerobik Arıtma Tesisleri

Boyutlarına göre anaerobik arıtma tesisleri aile tipi, çiftlik tipi, köy tipi ve endüstriyel tip anaerobik çürütme tesisleri olarak sayılabilir. (www.peda.gov.in 2011)

2.27.1. 6-12 m^3 Kapasiteli aile tipi

6-12 m^3 kapasiteli sabit kubbeli biyogaz sistemi Çin'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin'de genel olarak ufak çiftliklere yakın inşa edilen bu kapasite de bir tesiste elde edilen biyogaz ocak, araçlarda kullanılır. Kurulum maliyeti. 4000-10000 civarındadır. (Shenzhen Puxin Science & Technology Co., Ltd. 2011) Bu sistem ülkemizde de bir dönem denenmiş fakat rağbet görmemiştir.



Şekil 2.3 Çin'de sıklıkla kullanılan aile tipi anaerobik çürütücü sistemler
A)Sabit kubbeli anaerobik çürütücü, B)Hareketli kubbeli anaerobik çürütücü, C)Membran tip anaerobik çürütücü (www.peda.gov.in 2011)

2.27.2. 50-100 m^3 Kapasiteli çiftlik tipi

Çin ve Hindistan başta olmak üzere dünyanın birçok yerinde bu tip tesislere rastlanmaktadır. Kurulumu ve çalışma sistemi oldukça basittir. Çelik veya betondan yapılan fermantörler gaz sızdırmayacak şekilde dizayn edilmektedir. Bu sistemi sabit sıcaklıkta tutmak gerektiğinden dolayı yalıtım önemlidir. (TBW, 2010.)

2.27.3. 100-200 m^3 Kapasiteli köy tipi

Çiftlik tipi üretim sisteminde farkı daha büyük olmasıdır. Bu tesislerde fermantörde bekleme süresi organik atığın cinsine bağlı olarak 20 ile 40gün arasında değişmektedir. Bu tesislerde kompost gübre ve gaz olmak üzere 2 farklı ürün elde edilir. (GIZ, 2008)

2.27.4. 1.000-10.000 m^3 Kapasiteli endüstriyel tip

Bu tür tesislerde çürütücü büyüklüğü; tesisin kapasitesine ve organik atığın çürütücüde bekleme süresine göre değişir. Çürütücü köy tipinde olduğu gibi beton veya çelikten inşa edilmektedir. Burada fermantör içerisine karıştırıcılar yerleştirilerek sürekli karışım sağlanmaktadır. Bunun dışında sistemin istenilen sıcaklıkta muhafaza edilebilmesi için fermantör içerisine veya besleme hattına ısıtıcı sistemler yerleştirilmektedir. Endüstriyel tip çürütücüler tam otomasyonlu olarak çalıştırılır ve online ölçüm cihazları ile sıcaklık, gaz seviyesi, gaz komposizyonu gibi değerler devamlı olarak ölçülür. Sıcaklığın ve diğer önemli parametrelerin online olarak ölçülmesi bu tip çürütücülerdeki gaz verimin daha yüksek olmasını sağlar. Endüstriyel tesislerde genel olarak gaz içindeki hidrojen sülfürü temizlemek için gaz temizleme sistemleri de bulunur. Kimi tesisler biyolojik desülfirizasyon tesislerini tercih ederken kimi tesisler kimyasal desülfirizasyonu tercih etmektedirler.

Endüstriyel tesislerde genel olarak çürütücü ile kojenerasyon sistemi kombine olarak çalışmaktadır. Kojenerasyon motorundan sağlanan ısının bir kısmı ile çürütücü ısıtılırken kalan kısmı etraftaki tesislerin ihtiyacını karşılamakta kullanılabilir. Üretilen elektriğin kullanımı için üç seçenek vardır. Şehir şebekesine verilir veya yakındaki tesislerde tüketilir ya da tesislerde kullanılır ve ihtiyaç fazlası şehir şebekesine verilir.



Şekil 2.4. Endüstriyel tip biyogaz tesisi (Almanya, 2010.)

2.28. Besleme Şekline Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri

Besleme şekillerine anaerobik çürütme tesisleri kesikli çürütme tesisleri, yarı kesikli çürütme tesisleri ve sürekli beslemeli çürütme tesisleri olarak üç çeşittir.

2.28.1. Kesikli fermantasyon

Fermantör, organik atıklar ile doldurulur ve beklemeye alınarak biyogaz oluşması sağlanır. Burada bekleme süresi sistem sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bekleme süresi sona erdiğinde fermantör tamamen boşaltılarak yeni organik ürünlerle doldurulur. Bu işlem sürekli tekrarlanır. Benim bu çalışmamda optimum hidrolik bekleme süresinin belirlenmesi aşamasında kesikli fermantasyon kullanılmıştır.

2.28.2.Yarı kesikli fermantasyon

Fermantör ilk olarak organik atıklar ile komple doldurulur ve beklemeye alınır. Belirli bir süre sonunda fermantörde bulunan atıklardan yarısı alınarak yenileri eklenir. Bu işlem sürekli bu şekilde devam eder.

2.28.3. Sürekli fermantasyon

Bu fermantasyonda fermantör her gün belirlenen miktarlarda belirlenen atıklar ile beslenir. Besleme miktarı kadar fermente olmuş atıkta fermantörden alınır. Bu şekilde sürekli besleme ile kesintisiz gaz üretimi sağlanmış olur. Çalışmamda mezofilik ve termofilik koşullar altında yapılan denemelerde sürekli fermantasyon kullanılmıştır.

2.29. Çalışma Sıcaklığına Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri

Çalışma sıcaklığına göre anaerobik çürütme tesisleri sakrofilik, mezofilik ve termofilik olarak sayılabilir

2.29.1. Sakrofilik

20 ^{o}C'den düşük sıcaklıkta faaliyet gösteren bakterilere sakrofilik bakteriler, bu sıcaklıkta meydana gelen fermantasyona da sakrofilik fermantasyon denir. Sakrofilik fermantasyon uzun bekleme süresinden dolayı ekonomik olmayan bir biyogaz üretmekte ve bundan dolayı tercih edilmemektedir. (GTZ 2008)

2.29.2.Mezofilik

20-40 ^{o}C sıcaklık aralığında faaliyet gösteren bakterilere Mezofilik bakteri denir. Bu bakterilerin en uygun çalışma sıcaklıkları 37 ^{o}C 'dir. Birçok metan bakterisi bu şartlarda yaşamaktadır. Sakrofilik fermantasyona göre bekleme süresi daha düşüktür. Bekleme süresinin daha düşük olması ise beslemenin daha hızlı yapılmasını gerektirir. Daha hızlı yapılan besleme de daha çok verim alınır. Bu avantajlarından dolayı en yaygın olarak kullanılan sistemdir. (GTZ, 2008)

2.29.3. Termofilik

45 ^{o}C'den daha yüksek sıcaklıklarda yaşayan bakterilere verilen addır. Bu bakterilerin ortalama çalışma aralığı 55-65 ^{o}C arasındadır. Bu tip bakteriler Mezofilik bakterilere göre sıcaklık değişiminden daha çok etkilenirler. Bu sebepten dolayı termofilik tesislerde sıcaklık kontrolüne büyük önen verilir. Bekleme süresi en kısa olan fermantasyon türüdür. Kısa olmakla birlikte biyogaz üretimi de çok yüksektir. Fakat tercih edilmemesindeki en büyük etken yüksek enerji ihtiyacıdır. Ayrıca bu sistem hızlı çürüyebilecek organik maddelerde uygulanamamaktadır. (GTZ, 2008)

2.30. Kuru Madde Oranına Göre Anaerobik Çürütme Tesisleri

Kuru madde oranına göre anaerobik çürütme tesisleri iki kısımda incelenebilir. Katı oranının düşük olduğu ıslak çürütme işlemi ve daha yüksek katı madde oranlarında çalışılan kuru çürütme tesisleri.

a) Islak Çürütme

Havasız ortamda biyogaz üretiminde en önemli etken kuru madde miktarıdır. Kuru madde miktarı biyogaz verimini direk olarak etkileyen bir unsurdur. Biyogaz verimi kullanılan organik maddenin kuruluk oranına göre değişiklik gösterir. Kullanılan atıkların kuruluk oranına göre kullanılacak olan su miktarı ve tesisin hacmi belirlenir. Islak fermantasyonda tesislerde fermantöre yüklenen organik maddeler gerekli koşullar sağlandıktan sonra biyogaz üretimi gerçekleşir. Islak fermantasyonda kuruluk oranı yüzde 7,5-11 aralığında olmalıdır (www.peda.gov.in 2011)

b) Kuru Çürütme

Islak fermantasyonun aksine burada reaktör içerisine %45 kuru madde oranına kadar besleme yapılabilmektedir. Suyun az kullanıldığı bu fermantasyon tipinde yaklaşık olarak % 35-45 kuru madde oranı olan atıklar kullanılabilir. Bu sistemde kullanılan fermantörler garaj tipi fermantörlerdir. Bu sistemlere örnek olarak düzenli çöp depolama tesisleri verilebilir. İstanbul Kemerburgaz ve Ankara Mamak çöp depolama sahaları bu sistemlere Türkiye'den örneklerdir (Anonim 2011).



Şekil 2.5. Garaj tip çürütücü (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2008)

Şekil 2.5'de Almanya'da bulunan garaj tip bir kuru fermantasyon ünitesi görülmektedir. Bu sistem sızdırmaz tip garajlardan oluşmaktadır. Sistem kesikli besleme şeklinde işletilmektedir. Fermantasyon süresince garajda tutulan organik atıklar daha sonra garaj açılarak dışarı alınmaktadır. Çöp sızıntı suyu sistemdeki nemi kontrol edebilmek için zaman zaman fermantöre sprey çeklinde verilmekte böylelikle hem çöp sızıntı suyu miktarı azaltışmış hem de bakteriler için uygun nem şartları sağlanmış olmaktadır. Garaj tip reaktörlerin en büyük avantajı sistemde pompa karıştırıcı gibi ekipmanlar kullanılmadığından enerji ihtiyacı çok düşük oluşudur. Bu tip reaktörler özellikle organik madde miktarı yüksek olan çöplerin arıtılmasında kullanılmaktadır. Çöp içerisinde bulunan inert malzemeler (metal, plastik vb.) ıslak fermantasyona izin vermediğinden bu yöntem Almanya'da sıkça kullanılmaktadır (IBBK 2010).

2.31. Arıtma Çamurlarının Anaerobik Çürütülmesi

Özellikle son 30 yıldır çoğu Avrupa ülkesi atıksularını atıksu bertaraf tesisleri ile birlikte kontrol altına almaya çalışmıştır. Kurulan tesisler sayesinde atıksuların içerisinde bulunan kirleticiler kimyasal, aerobik veya anaerobik metodlar yardımıyla giderilmekte ve sonuçta istenilen deşarj karakterinde su oluşturulmaktadır. Ancak, atıksu içerisindeki kirleticiler atıksudan arındırılmasına rağmen yok edilememekte ve

son ürün olan atıksu çamuru içerisinde hapsedilmektedir. Bu durum atıksu problemini atıksu çamuru problemine dönüştürmektedir. Tüm dünyada atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan arıtma çamuru büyük bir sorun olmaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamuru depolama ve uzaklaştırma problemlerine sebep olmaktadır. Ülkemizde genelde belediyeler tarafından kurulan ve çalıştırılan, nüfusun yaklaşık % 13'üne tekabül eden 69 adet evsel atıksu arıtma tesisiyle yıllık olarak 500 bin tona yakın arıtma çamuru ortaya çıkmaktadır (Topal ve ark. 2003). Tüm belediyelerin evsel atıksu tesisi kurmasıyla ortaya çıkabilecek potansiyel arıtma çamuru miktarı ise yaklaşık olarak 4 milyon ton/yıl'dır. Arıtma çamurlarından elde edilebilecek biyogaz tamamen atık karakterizasyonu ile ilişkilidir.

Evsel veya endüstriyel arıtma çamurları anaerobik olarak çürütülmesinde en önemli problem reaktörün ısı ihtiyacıdır. Tipik reaktörler 37 ^{o}C' de çalışmaktadır. Bu problem üretilen biyogaz miktarı yeterli olduğunda biyogazdan elde edilebilecek ısı ile çözülebilmektedir. Arıtma tesislerinde anaerobik çürütme sık kullanılan bir arıtma metodu genel olarak arıtma çamurlarının çürütülmesinde mezofilik şartlar kullanılsa da termofilik örneklerde mevcuttur. Mezofilik anaerobik çürütme ile arıtma çamurlarında 30 40 günlük hidrolik bekleme sürelerinde %40 uçucu katı giderimi mümkün olmaktadır.(Gene 1986).Mezofilik sıcaklıklar birçok metanojenik bakteri grubu için uygun ortam koşullarını oluştururken az sayıda metanojenik grup termofilik koşullarda verimli şekilde çalışır. Buda termofilik şartlarda proses stabilitesinin daha hassas olmasına neden olur.

Çoban ve arkadaşları yaptıkları araştırmada evsel kaynaklı arıtma çamurlarından biyogaz üretimini incelemişlerdir. Mezofilik koşullarda optimum hidrolik bekleme süresi 10 gün ve biyogaz üretimi 5,10 L/kg çamur olarak bulunmuştur (Çoban ve ark. 2010).Çizelge 2.3'de çeşitli araştırmacıların farklı arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesinde elde ettikleri biyogaz miktarları verilmiştir. GTZ' nin 2007 yılında yayınladığı raporda arıtma çamurlarının 1 kg organik katı maddesinden yaklaşık 310-740 L biyogaz elde edilebileceği rapor edilmiştir. Arıtma çamurlarından elde edilecek biyogazın miktarı arıtma tesisinin tipine ve çamurun biyolojik olarak parçalanabilirliğine bağlıdır.

Çizelge 2.4 Çeşitli kaynaklara göre birincil ve ikincil (aktif)çamurdan elde edilebilecek biyogaz miktarları

Referans	Gaz üretimi L/kg UKM	
	Birincil Çamur	Aktif Çamur
Sato et al. (2001)	612	380
Speece (2001)	362	281
Rittmann & McCarty (2000)	375	275

2.32. Hayvan Dışkısının Anaerobik Çürütülmesi

Hayvan gübreleri, tarihin ilk çağlarından beri, bitkisel üretimi artırmak için kullanılmıştır. Çünkü gübreler içerdikleri besin maddelerinden dolayı bitkiler için zengin bir besin maddesi deposudur. Hayvanlar yedikleri yemlerdeki besin maddelerinin ancak % 45'inden yararlanabilirler, yemdeki bitki besin maddelerinin yarısından fazlası dışkı ile ahır gübresine geçer (Alibaş ve ark. 2008). Hayvan dışkısının bu özelliği hayvanların kullanamadığı organik maddelerin anaerobik olarak çürütülerek yüksek verimde biyogaz üretilebilmesine olanak sağlar.

Hayvan gübresinin çürütülerek biyogaz elde edildikten sonra tarım topraklarında kullanılması, yakılarak enerjiye dönüştürülmesinden daha ekonomiktir. Hayvan gübresi, yapay gübrelere göre daha üstün özelliklere sahiptir. Toprağa bitki besin maddelerini sağlamasının yanında toprağın yapısını da iyileştirir (Gedikoğlu ve ark. 2008).

Hayvan gübreleri içerdikleri zararlı bitki tohumlarının ve patojen mikroorganizmalarının yok edilmesi ve azot-karbon oranının yükseltilmesi amacıyla taze olarak toprağa verilemezler. Gübreliklerde belirli süre bekletilmeleri gerekir. Bu zorunlu bekletilme süresi içerisinde karbon, azot, potasyum ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin önemli bir kısmı kaybolur. Bu kaybın değeri yaklaşık % 30 – 33 kuru madde kaybına karşılık gelmektedir. Gübrenin bu zorunlu bekletilme süresini ortadan kaldırmak ve kayıp olan gübreyi biyogaz olarak geri kazanmak amacıyla hayvansal atıklar anaerobik fermantasyona tabi tutulabilirler. Fermantasyon sonucu elde edilecek olan organik gübrenin diğer bir üstünlüğü de anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Anaerobik

sistemlerde maksimum biyogaz üretim verimi, reaktöre verilen hammaddedeki, katı maddenin kütlece % 6 ile % 15 arasında olduğunda gerçekleştiği, daha fazla katı madde içeriğinde ise mikroorganizmaların, büyük moleküllü maddeleri parçalamada zorlandığı ve parçalama işleminin daha uzun süre aldığı belirlenmiştir.(Desad ve ark 1994).Çizelge 2.5'de Türkiye'deki hayvansal atık potansiyelinin tamamının kullanılması durumunda üretilebilecek biyogaz miktarları verilmektedir. Toplam değerler incelendiğinde her yıl ortalama 2.947.584 ton taşkömürü eşdeğeri biyogaz elde edilebileceği görülmektedir. Biyogaz üretiminin yenilebilir enerji kaynakları içerisinde yer alması nedeniyle artan hayvan sayısı ile bu miktarlar her yıl artmaktadır.

Çizelge 2.5. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı ve taşkömürü eşdeğeri tablosu.
(http://www.eie.gov.tr 2010).

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Miktarı (m^3/yıl)	Taşkömürü Eşdeğeri (ton/yıl)
Sığır	11.054.000	39.794.000	1.313.215.200	1.181.694
Koyun-Keçi	38.030.000	26.621.000	1.544.018.000	1.389.616
Tavuk-Hindi	243.510.453	5.357.230	417.663.937	376.078
Toplam	292.594.453	71.772.630	3.275.097.137	2.947.587

Hayvan başına üretilebilecek gübre ve ton gübre başına üretilebilecek biyogaz miktarları çizelge 2.6'da verilmiştir. Bu değerler kullanılırken dikkat edilmesi gereken nokta bu değerlerin her çiftlik hatta her hayvan için değişken olduğudur. Örneğin besi işletmeciliği yapan bir hayvan çiftliğinden çıkan gübre miktarı yüksek iken süt sığırcılığı yapan bir çiftlikteki gübre miktarı daha düşüktür. Benzer şekilde üretilen gübre miktarı hayvanın ağırlığı ve beslenme şekli ile de doğrudan ilişkilidir.

Çizelge 2.6. Hayvansal Kaynaklardan Elde Edilebilecek Gübre ve Biyogaz Miktarları (http://www.eie.gov.tr 2010).

Hayvan Adedi	Hayvan Cinsi	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)
1	Büyük Baş	3,6
1	Küçük Baş	0,7
1	Kümes	0,022
Gübre Miktarı	Gübre Kaynağı	Elde Edilebilecek Biyogaz Miktarı (m^3)
1 ton	Sığır	33
1 ton	Koyun	58
1 ton	Kümes Hayvanı	78

Çizelge 2.7'de kg hayvan başına üretilen gübrenin karakterizasyonu görülmektedir. Çizelgeden görüleceği gibi besi inekleri ve süt inekleri arasında karakterizasyon açısından ciddi farklar vardır.

Çizelge 2.7 Hayvan atıklarının organik ve besin elementleri açısından karakterizasyonu (her kg hayvan ağırlığı için g/gün olarak) (TÜBİTAK MAM, 2008.)

Hayvan	**BOİ**	**KOİ**	**NH_3-N**	**Toplam N**	**ToplamP**	**K**	**Kaynak**
	1.1-2.2	10.0	-	0.36	0.115	0.29	Moore, 1969
	-	-	-	0.35-0.44	0.11-0.12	-	Tainganides vd, 1966
							Hart, 1960
inek (eti	1.02	-	-	0.29	-	-	Loehr vd, 1967
için	1.87	3.26	0.11	0.26	-	-	Witzel, 1966
beslenen	1.84	-	-	0.26	-	-	Vollenweider, 1968
	-	15.0	-	0.41	0.25	-	
							Townshed vd 1969
	-	-	-	0.16	0.31	-	Dale vd, 1967
	-	-	-	-	-	-	
ort.	1.61	9.42	0.11	0.32	0.18	0.29	
	0.31	1.53	8.4	-	0.38	0.12	Hart vd, 1965
inek (sütü	-	1.53	19.1	-	-	-	Jeffrey vd, 1963
için	-	1.32	5.8	0.23	0.37	-	Witzel, 1966
beslenen	-	0.44	-	-	0.49	-	Water Poll. Rep., 1964
	-	0.95	5.7	-	0.16	0.11	
							Townshend, vd 1969
	0.31	1.15	9.8	0.23	0.35	0.12	
ort.							
koyun	-	-	-	0.86	-	-	Hart, 1960
	-	-	-	0.34	0.25	-	Vollenweider, 1968
ort.	-	-	-	0.60	0.25	-	

3. MATERYAL METOD

Bu çalışmada kullanılan hayvan dışkıları ve aşı Bursa İli Karacabey İlçesinde bulunan TARFAŞ. A.Ş süt sığırı yetiştiriciliği tesislerinden elde edilmiştir. TARFAŞ çiftlikleri yakınlarda bulunan SÜTAŞ Süt Ürünleri A.Ş için süt üretimi yapmaktadır. Hayvan dışkıları barınaklardan pistonlu sıyırıcılar yardımıyla toplanıp ham dışkı havuzunda toplanmaktadır. Burada bulunan dalgıç mikser sayesinde gübre karışımı homojen hale getirilmektedir. Deneyde kullanılan hayvan dışkıları buradaki ham dışkı havuzundan temin edilmiştir. Temin edilen gübrenin karakteristiği Çizelge 3.1'de görülmektedir. Arıtma çamuru SÜTAŞ Süt Ürünleri AŞ'nin anaerobik-aerobik atıksu arıtma tesisinden Aerobik çamurun yoğunlaştırılmasıyla elde edilmiştir. Arıtma çamurunun karakteristiği Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Ham Gübrenin Karakteristiği

Katı Madde	%9.1
Katı Madde İçindeki Organik Katı Madde	%80.4
pH	7.6
Azot, mg/L	2200
Fosfor, mg/L	980

Hayvan dışkılarının biyolojik proseslere uygunluğu açısından önemli faktörlerden biri biyolojik olarak çözünürlüktür. Gübrenin içerdiği yüksek miktardaki lignin mikrobiyolojik atağa karşı direnç gösterdiğinden genelde sığır katı atıklarının biyolojik çözünürlük oranı düşük olmaktadır. Sığır gübresinde kesikli reaktörler kullanılarak yapılan bir çalışmada biyolojik çözünürlük %40 olarak bulunmuştur. Bu değer hayvan gübresine maya veya maya fabrikası atıksuları ile karıştırıldığında ise %50 değerine ulaşabilmektedir (Baban, 1982). Biyolojik çözünürlüğün artmasıyla havasız çürütme sürecinde üretilen gaz miktarlarında da %50'ye varan artışlar elde edilebilmiştir. Bu nedenle hayvan atıklarının uygun koşullar ve oranlar çerçevesinde endüstriyel organik atıklar ile karıştırılarak havasız çürütme prosesi uygulanmasında daha verimli sonuçlar alınmaktadır (Velioğlu vd., 1985).

Çizelge 3.2 Arıtma Çamurunun Karakteristiği

Katı Madde	%2.4
Katı Madde İçindeki Organik Katı Madde	%65.1
pH	7.3
Azot, mg/L	2476
Fosfor, mg/L	576

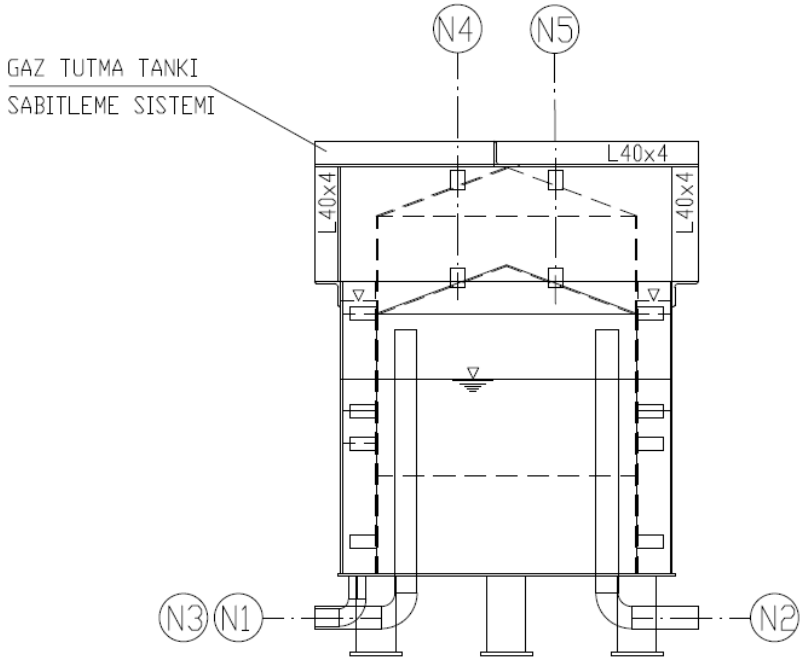
Bu çalışmada Türkiye'deki hayvan dışkısından biyogaz elde edebilme potansiyeli araştırılmış. Ayrıca bertarafı sıkıntılı olan gıda endüstrisinden kaynaklanan arıtma çamurlarının hayvan dışkısıyla birlikte fermantasyonunda optimum Hidrolik bekleme süresi ve optimum sıcaklık araştırılmıştır. Denemelerde kesikli fermantasyon ve sürekli fermantasyon yöntemleri kullanılmıştır. 1. denemede reaktör hacmen %80 hayvan dışkısı ve %20 arıtma çamuru ile doldurularak 40 gün boyunca gaz üretimi izlenmiştir.2. denemde hacimce 1. deneme ile aynı besleme koşulları kullanılarak 1.denemede elde edilen optimum hidrolik bekleme süresine göre besleme yapılmış ve günlük gaz üretimi incelenmiştir.3. denemede ise Termofilik şartlarda aynı hidrolik bekleme sürelerindeki gaz üretimi izlenmiştir.4. ve son denemede ise son yapılan termofilik koşullardaki gaz üretimi sonuçlarını daha güvenilir hale getirmek için aynı deneme 30 gün süre ile tekrar yapılmıştır.

Denemeler 150 L hacminde bir fermentör ve 20 litrelik yüzer tip gaz deposu ile yapılmıştır. Üretilen gaz miktarı bir gaz sayacı kullanılarak kaydedilmiş. Gaz komposizyonu ise Geo Tech marka biyogaz analiz cihazı ile yapılmıştır. Uçucu organik asit (VFA) ölçümleri Hach Lange DR 2800 marka fotometre kullanılarak ölçülmüştür. Tüm analizler Standart Metodlar kullanılarak yapılmıştır.(APHA, 2005).Tüm denemelerde Hacmen %80 hayvan dışkısı ve %20 arıtma çamuru kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Denemelerde işletme şartları

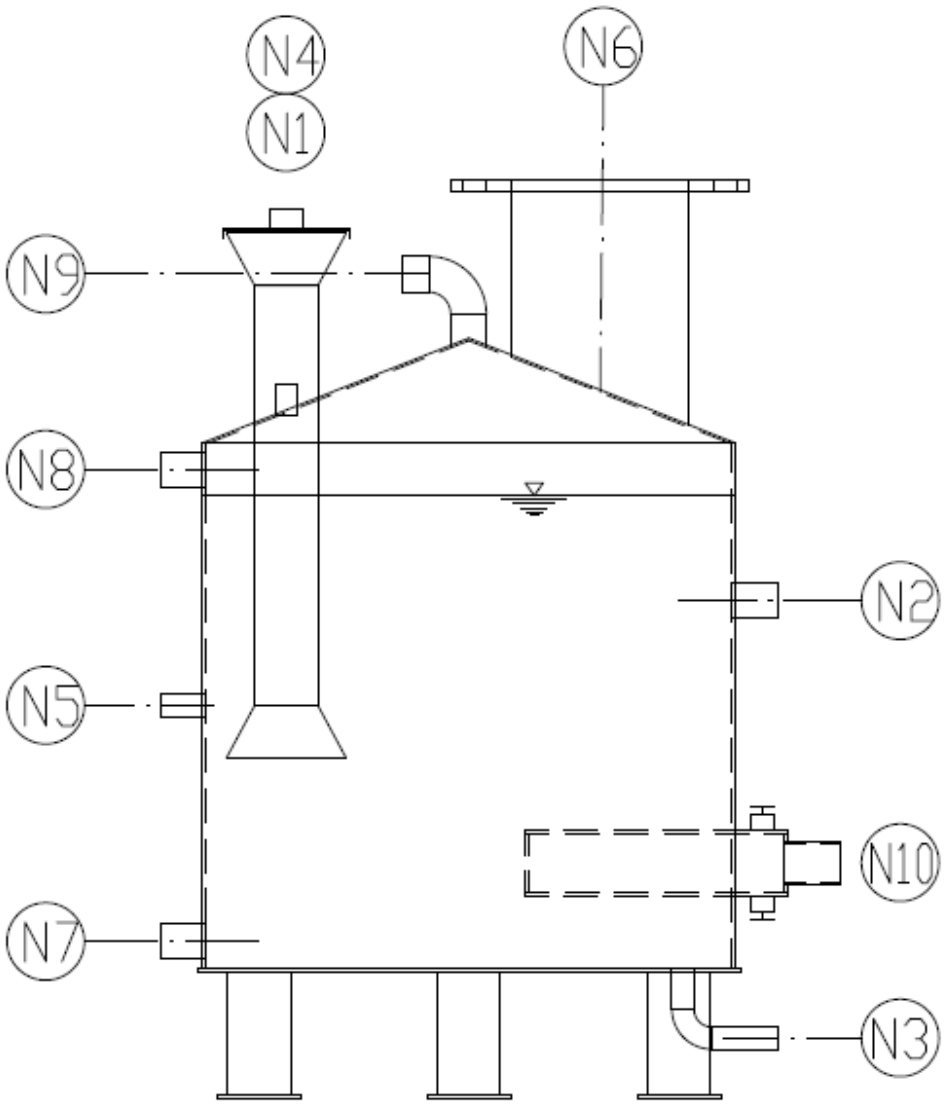
Denemelerde İşletme Şartları	
Mezofilik sıcaklık (^{o}C)	40
Termofilik sıcaklık (^{o}C)	52
pH	6,5-7,5
Karıştırma sıklığı (devir/dakika)	60
Kesikli besleme koşullarında hayvan dışkısı miktarı (L/gün)	116
Kesikli besleme koşullarında arıtma çamuru miktarı (L/gün)	29
Kesikli besleme koşullarında aşı çamuru miktarı (L/gün)	5
Sürekli besleme koşullarında hayvan dışkısı miktarı (L/gün)	120
Kesikli besleme koşullarında arıtma çamuru miktarı (L/gün)	30
Çürütücü hacmi (L)	150
Gaz deposu hacmi (L)	20

Çizelge 3.3'de denemelerde kullanılan işletme şartları gösterilmektedir. İşletme sıcaklıkları belirlenirken Arbiogaz, Smack, Xergi ve Biogasplus gibi biyogaz tesisi kuran ve işleten yerel ve ulusal firmaların mevcut gerçek ölçekli tesisleri göze alınarak seçilmiştir. Günlük beslenen hayvan dışkısı ve arıtma çamuru miktarı ilk denemede belirlenen optimum hidrolik bekleme süresi kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan gaz deposunun teknik çizimi

N1 gaz giriş hattı, N2 gaz çıkış hattı, N3 su boşaltma vanası, N4 manometre, N5 termometre



Şekil 3.2. Deney düzeneğinde kullanılan çürütücünün teknik çizimi

N1 atık dolum ağzı, N2 su boşaltma vanası, N3 boşaltma vanası, N4 manometre, N5 termometre, N6 Karıştırıcı, N7 alt seviye numune noktası, N8 üst seviye numune noktası, N9 gaz çıkış hattı, N10 ısıtıcı.



Şekil 3.3. Deney düzeneğinde kullanılan çürütücünün görünümü



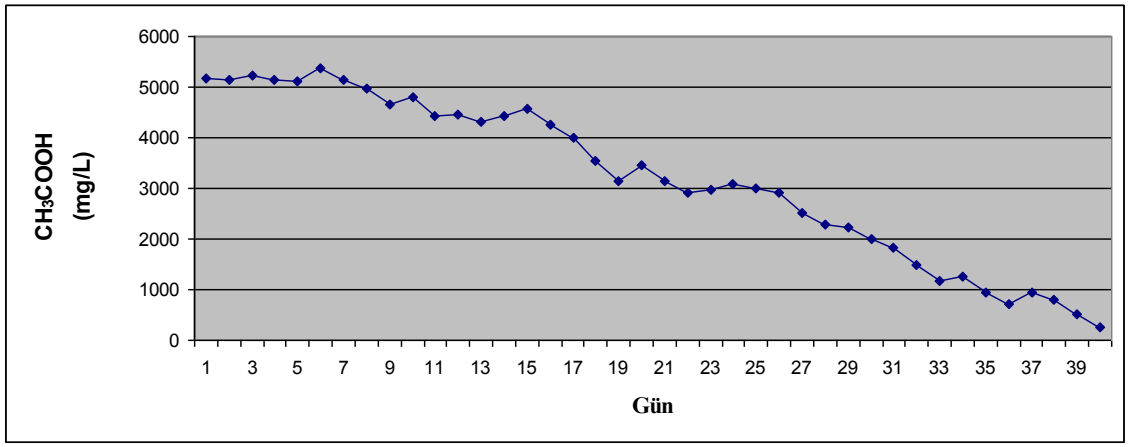
Şekil 3.4. Deney düzeneğinde kullanılan gaz deposunun görünümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kesikli Besleme Koşullarında Optimum Hidrolik Bekleme Süresinin(HBS) belirlenmesi

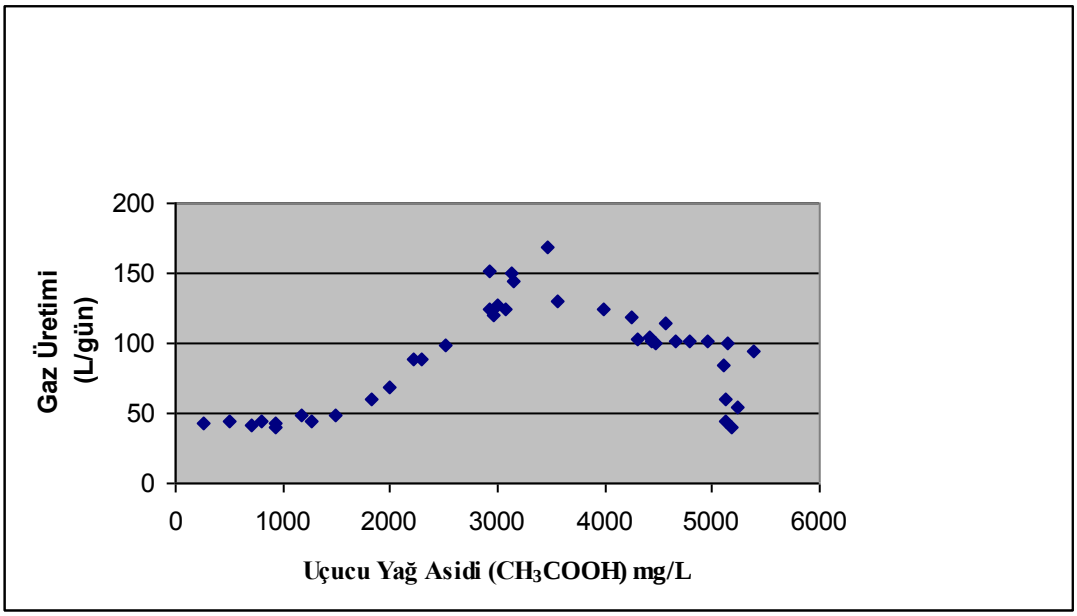
Biyogaz fermentörüne hacmen %80 dışkı ve %20 arıtma çamuru konarak gaz üretimi sırasıyla sıcaklık, pH, katı madde (%) ,organik katı madde (%), gaz üretimi (L/gün), uçucu yağ asidi (mg/L CH_3COOH) ve gaz kompozisyonu izlenmiştir. Sıcaklık 6. gün sonunda 40 ^oC'ye sabitlenmiştir. pH deney boyunca metanojenik faaliyetler için uygun olan 7-7,8 aralığında gözlemlenmiştir. Karışımın katı madde oranı 40. günün sonunda %38,35 azalmıştır. Benzer şekilde organik katı madde 40 gün sonunda % 48,95 azalmıştır. Şekil 4.3 incelendiğinde 20 gün sonunda gaz üretiminin pik noktaya ulaştığı ve bu noktadan sonra yavaş yavaş azalmaya başladığı görülmektedir. 30.günden itibaren ise gaz üretimi hemen hemen sabit bir noktaya ulaşmıştır.

Kesikli çalıştırılan sistemlerde toplam üretilen biyogazın % 70'nin gerçekleştiği süre bekletme süresi olarak alınabilmektedir (Kishore ve ark.1987.)Bu kabul organik katı madde giderimi ve biyogaz üretiminin optimize edildiği aralığı ifade eder. Tesis büyüklüğünün optimize edilebilmesi için 40 ^oC mezofilik koşullarda hidrolik bekleme süresi 26 gün olarak belirlenmiştir.26 gün sonunda toplam 2794 L biyogaz üretilirken kalan 14 günde sadece 802 L gaz elde edilebilmiştir. Bu durumda optimum hidrolik bekleme süresini 26 gün olarak belirlemek doğru olmuştur. Deney boyunca gaz kompozisyonu belirgin şekilde değişmemiştir.



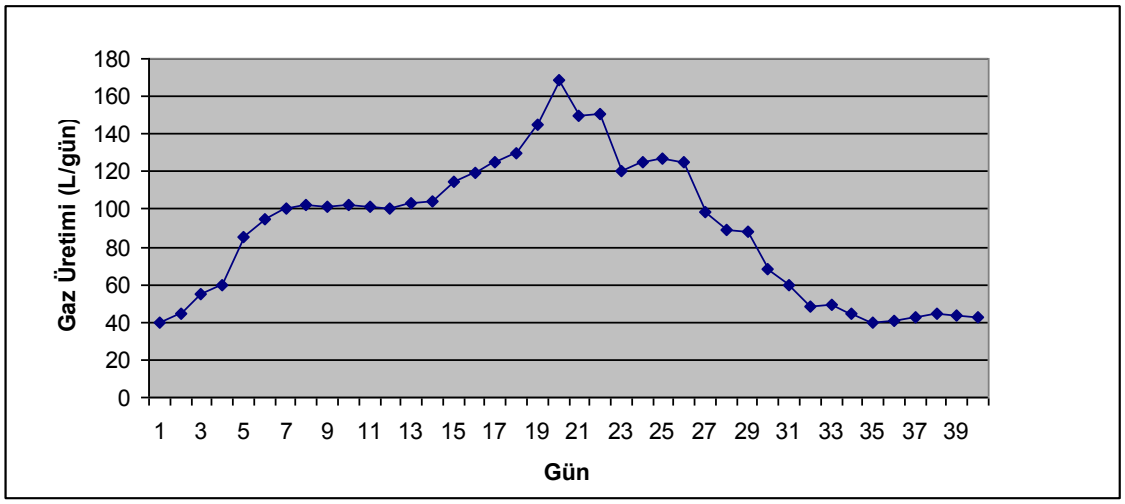
Şekil 4.1 Kesikli besleme koşullarında uçucu organik asitlerin zamanla değişimi

Şekil 4.1 incelendiğinde uçucu yağ asidi konsantrasyonun denemenin ilk günlerinde 5.557 mg/L uçucu yağ asidi (asetik asit) civarlarındayken 40 gün sonunda 789 mg/L asetik asit değerlerine ulaştığı görülmektedir. Şekilden hareketle reaktörün tamponlama kapasitesi sayesinde 5383 mg/L uçucu yağ asidi değerlerinde bile reaktörün stabilitesinin bozulmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni hayvan dışkısı ve arıtma çamurunun alkanitesinin yüksek oluşudur.

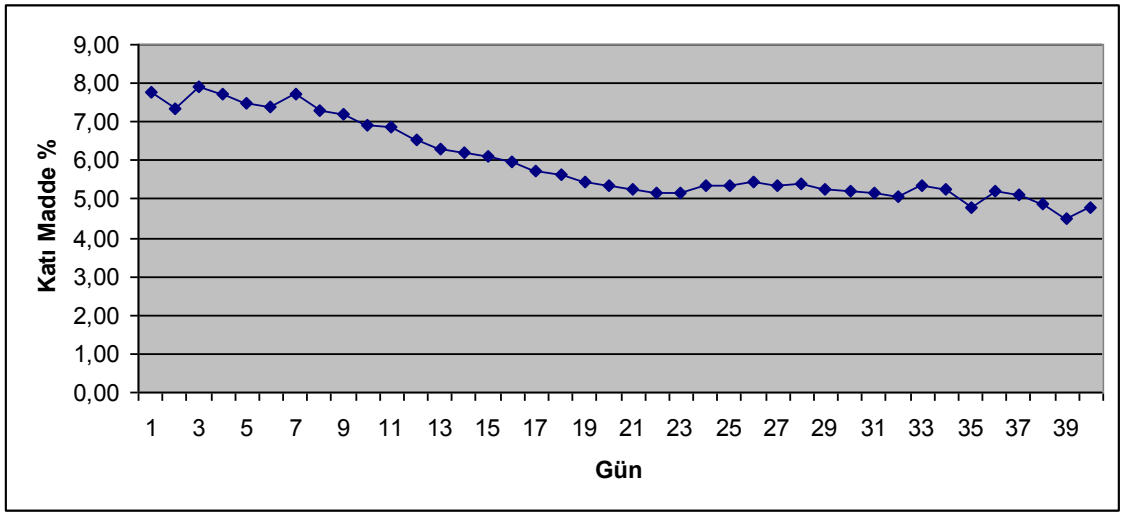


Şekil 4.2 Kesikli besleme koşullarında gaz üretiminin uçucu organik asit miktarına göre değişimi

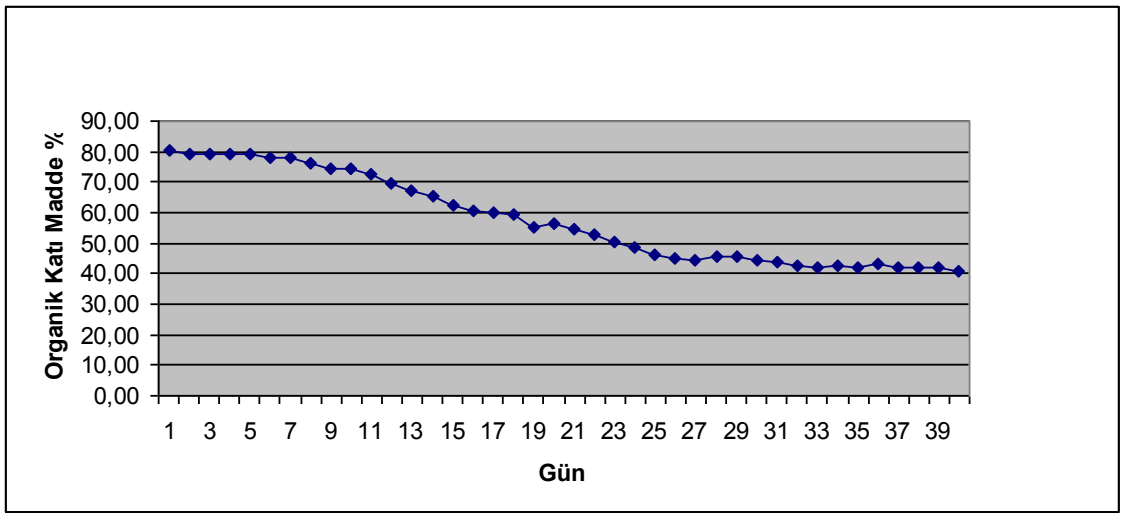
Şekil 4.1 ve 4.3 birlikte incelendiğinde ilk yüklemeden sonraki birkaç gün içinde asidenojenik fazın baskın olduğu bu nedenle uçucu yağ asidi üretiminin yüksek gaz üretimin düşük olduğu görülmektedir. Uçucu yağ asidi değerlerinin 4500 mg/L altına doğru indiğinde metanojenik bakterilerin uçucu yağ asitlerini daha hızlı tüketerek metan gazı ürettikleri görülmektedir. Uçucu yağ asidinin ciddi düşüş yaşadığı son günlerde ise asidojenik fazın yavaşladığı gözlemlenmiştir. Buradan hareketle denemenin son günlerinde artık kolay parçalanan organik maddelerin fazlaca azaldığı söylenebilir. Kesikli denemede metan üretim hızı asit üretim hızından yüksek olduğundan yağ asidi değeri düşme eğilimindedir. Buradan hareketle yaklaşık 26 gün sonunda hayvan dışkısındaki kolay parçalanabilir organik maddelerin tükendiği söylenebilir. Daha uzun beklenmesi durumunda asit üretim reaksiyonu daha yavaş gerçekleşecek buna bağlı olarak da gaz üretimi ciddi oranda düşecektir. Şekil 4.3'de 30. günden sonra gaz üretiminin 70- 40L/gün civarlarında seyrettiği görülmektedir.



Şekil 4.3 Kesikli besleme koşullarında günlük gaz üretimi



Şekil 4.4. Kesikli besleme koşullarında Katı Maddenin zamanla değişimi



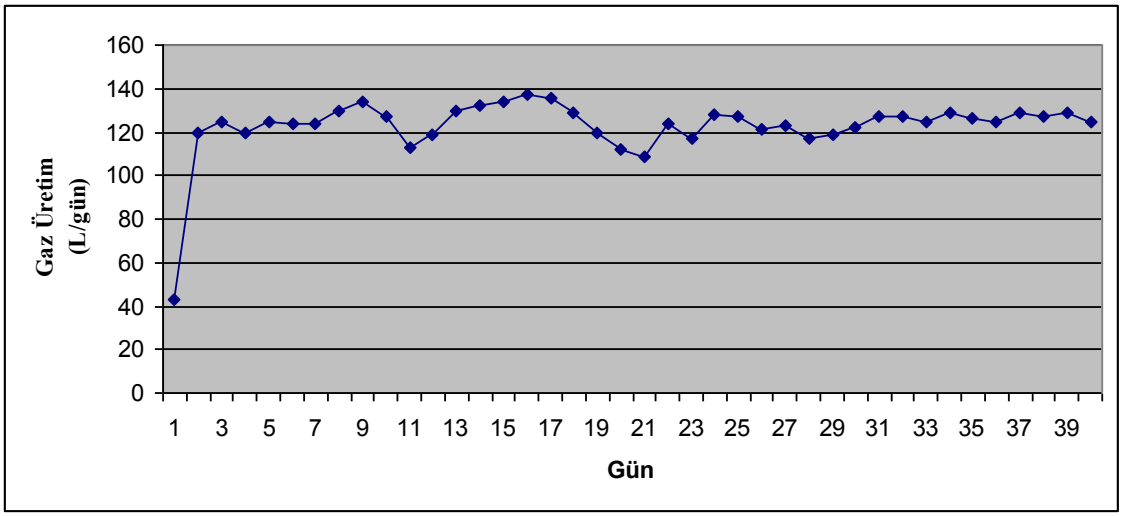
Şekil 4.5 Kesikli besleme koşullarında Organik Katı Maddenin zamanla değişimi

Şekil 4.4 ve 4.5 'de organik katı maddenin çürümeye bağlı olarak zamanla azaldığı gözlenmiştir. Organik parçalanabilirlik azaldıkça organik katı madde ve katı maddedeki azalma durma noktasına gelmiştir. Burada katı maddedeki azalmanın nedeni organik maddenin çürüyerek gaz fazına geçmesidir.

4.2 Mezofilik Sürekli Besleme Koşullarında Gaz Üretiminin belirlenmesi

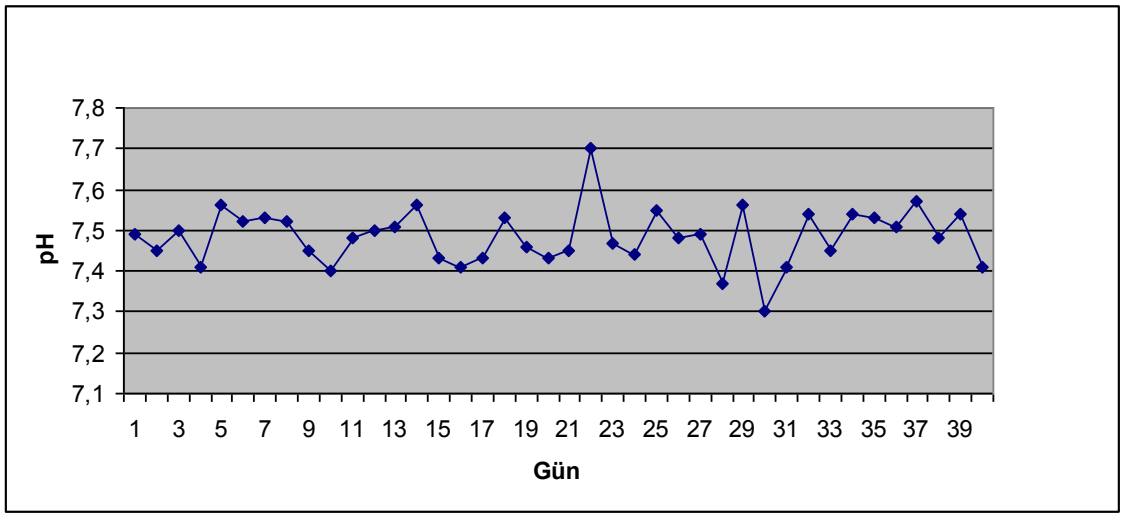
Bu denemede ilk denemede belirlenen hidrolik bekleme süresine göre her gün karışım hazırlanarak 40 gün boyunca sırasıyla Sıcaklık, pH, katı madde (%) ,organik katı madde

(%),organik katı madde giderim verimi (%), gaz üretimi (L/gün), uçucu yağ asidi (mg/L CH_3COOH) ve gaz kompozisyonu izlenmiştir.



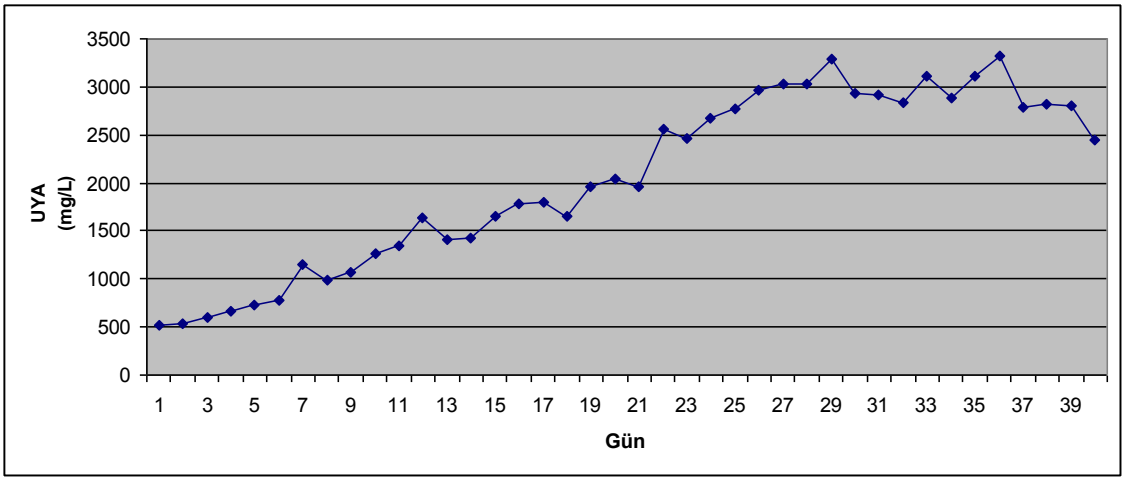
Şekil 4.6 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında günlük gaz üretimi

Deneyler sonucu ortalama günlük gaz üretimi 124 L olarak bulunmuştur. Şekil 4.6'da günlük üretilen gaz miktarının kesikli beslemeden farklı olarak 100-140L/gün aralığında salınım gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni şekil 4.9'da görülebileceği gibi reaktör içindeki organik katı madde miktarındaki salınımında az olmasıdır. Buda günlük salınımların fazla olmadığı bir gaz üretimini sağlamıştır. GIZ tarafından 2007 yılında yayımlanan raporda arıtma çamuru ve hayvan dışkısı karışımından 310-740 L biyogaz / kg giderilen organik katı madde olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada yapılan denemede bu oran 354 L biyogaz/kg organik katı madde olarak bulunmuştur. Giderilen organik katı madde başına biyogaz üretiminin değişken olması seçilen hidrolik bekleme süresi ve organik maddenin kolay parçalanabilirliği ile doğru orantılıdır. Çoban ve arkadaşları yalnız arıtma çamurunu çürütmeyi hedefledikleri denemelerde kg çamur başına 5,1 L biyogaz elde etmişlerdir. Sato et al 2001 yılındaki çalışmasında aktif çamurun anaerobik çürütülmesinden kg giderilen organik katı madde başına 380 L biyogaz elde etmiştir. Speece 2001 yılındaki çalışmasında aktif çamurdan 281 L biyogaz, Rittmann ve Mc Carty 275 L biyogaz elde etmiştir. GIZ tarafından yayımlanan rapor ve diğer araştırmacıların çalışmaları birleştirildiğinde arıtma çamuru ve büyükbaş hayvan dışkısından elde edilmiş olan biyogaz değerleri literatürdeki benzer çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.



Şekil 4.7 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında pH'nın zamanla değişimi

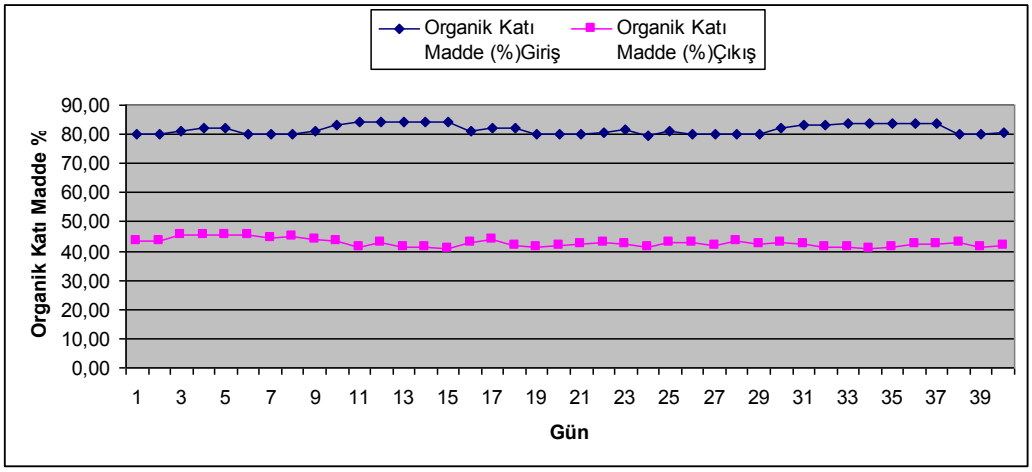
Arıtma çamurunun ve ham hayvan dışkısının pH değerlerinin yüksek oluşu ilave kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmamasını sağlamıştır. Şekil 4.7 incelendiğinde denemeler boyunda metanojenik faaliyete etki edecek pH değerline düşülmemiştir.



Şekil 4.8 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında Uçucu Yağ Asitlerinin zamanla değişimi

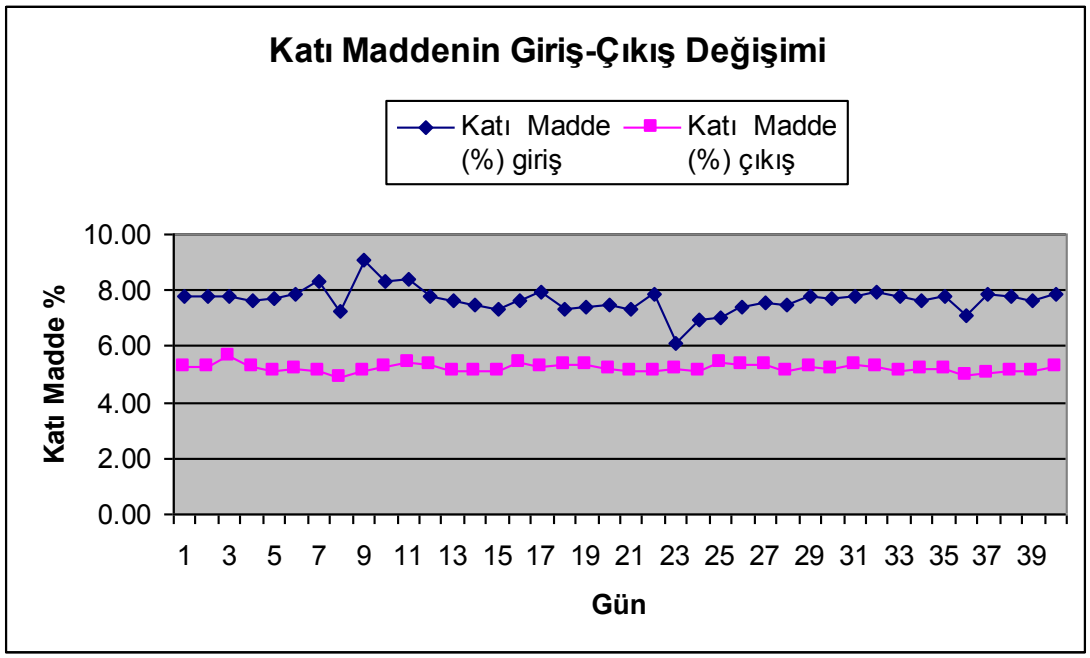
Reaktörün sürekli beslenmesine başlandığı ilk günlerde uçucu yağ asidi (VFA) konsantrasyonu 500-1000 mg/L aralığında seyretmektedir bunun nedeni reaktörün istenilen organik yükleme değerlerine henüz ulaşmamış olmasıdır. Şekil 4.8'de

görüldüğü gibi 22. günden itibaren reaktör yüklemesi istenen değerlere gelmiş asit fazı ile metan fazı arasında denge oluştuğu gözlemlenmiştir.



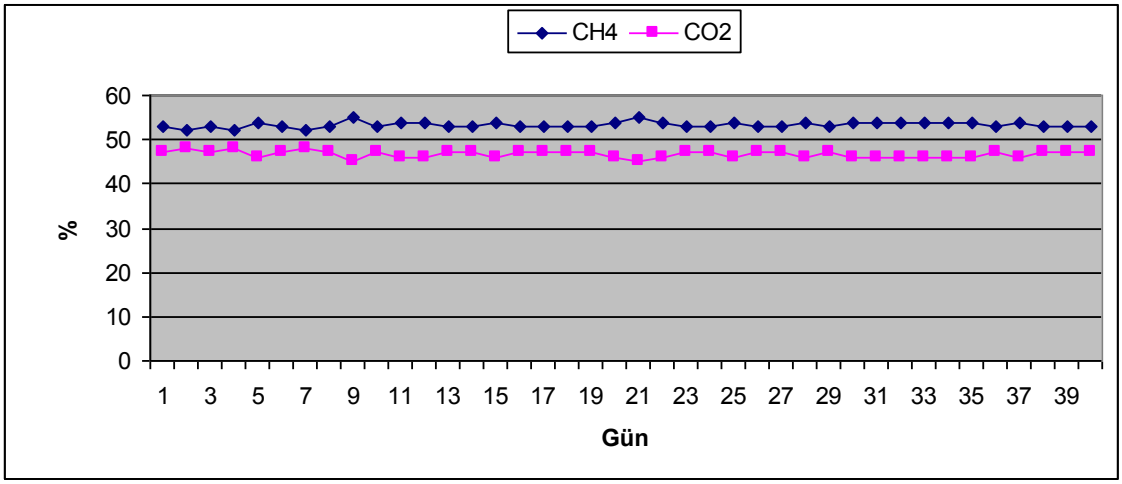
Şekil 4.9 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında Organik Katı Maddenin (giriş-çıkış) değişimi

Şekil 4.9'da organik madde giriş çıkış değerleri izlendiğinde organik katı madde giderimi %47,74 olarak bulunmuştur. Bir diğer değişle beslenen her 100 kg organik katı maddenin 47,74 kg'nın biyogaza dönüştüğü söylenebilir. Gene 1986 yılında yaptığı çalışmada 30 40 günlük bekleme sürelerinde organik katı madde gideriminin %40-%50 arasında olabildiğini gözlemlemiştir. Mezofilik denemeler sonucu elde edilen veriler Gene'nin çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir. Kalan organik katı maddenin anaerobik koşullar altında parçalanabilmesi çok uzun zaman alacaktır. Bu anlamda ilk denemede belirlenen optimum hidrolik bekleme süresinin doğru olduğu kabul edilir.

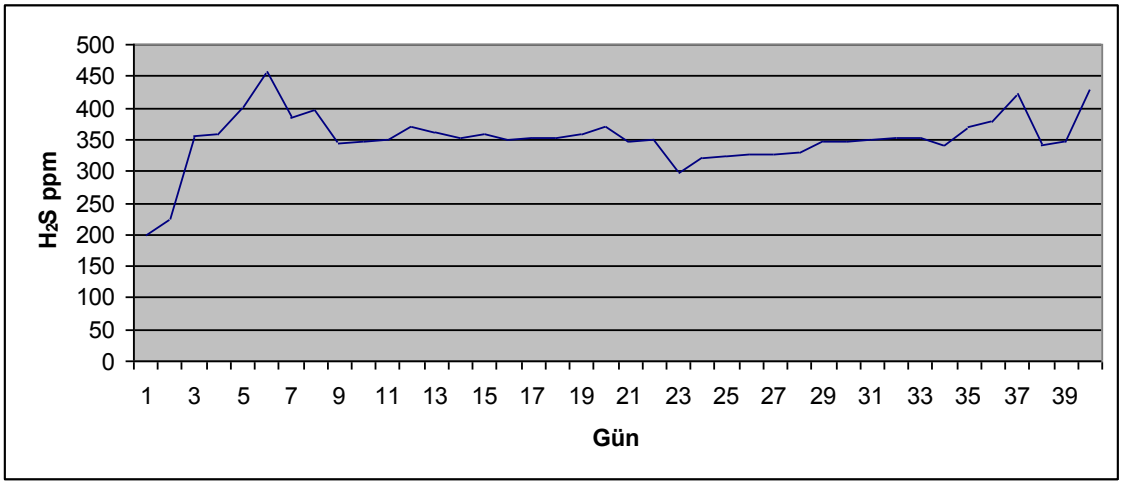


Şekil 4.10 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında Katı Maddenin (giriş-çıkış) değişimi

Reaktöre beslenen yaklaşık %8 katı madde içeriğine sahip gübre ve arıtma çamuru reaktör çıkışında ortalama %5,5 katı madde içeriğine sahiptir. Şekil 4.10'dan görülebileceği gibi organik katı madde miktarındaki azalma toplam katı maddedeki azalmayı sağlamıştır.



Şekil 4.11 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında CH_4 ve CO_2 kompozisyonu

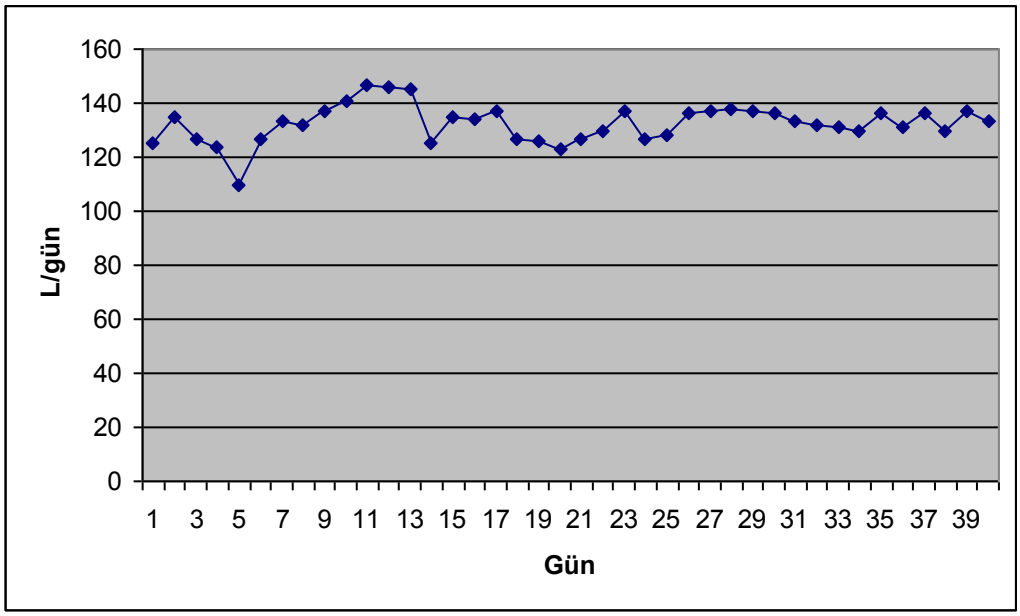


Şekil 4.12 Mezofilik Sürekli besleme koşullarında H_2S kompozisyonu

Şekil 4.11 ve şekil 4.12'de üretilen biyogazın günlük olarak yapılan analiz sonuçları görülmektedir. Mezofilik koşullarda üretilen biyogaz ortalama %53 CH_4 içeriğine sahiptir. Denemeler boyunca metan içeriğinde belirgin değişimler gözlemlenmemiştir. Biyogaz içindeki H_2S değeri 200-450 ppm arasında salınım göstermektedir. Biyogaz içeriğindeki hidrojen sülfür miktarı Musluoğlu ve ark. 2001 ve 2002 yıllarında yaptıkları çürütme tesislerindeki H_2S miktarlarıyla benzerlik göstermektedir.

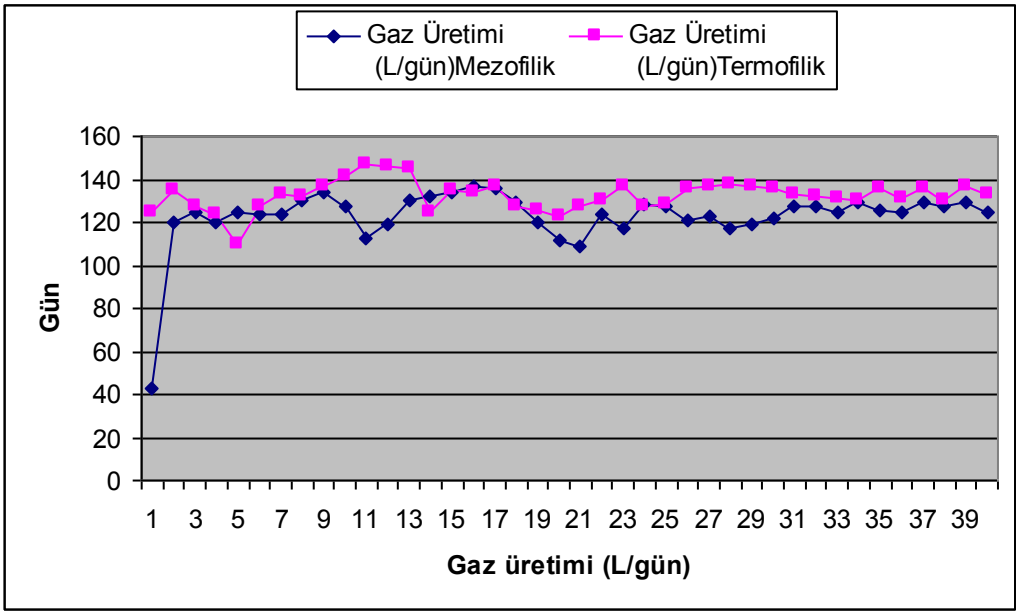
4.3 Termofilik Sürekli Besleme Koşullarında Gaz Üretiminin Belirlenmesi

Son denemede mezofilik ortamdan termofilik ortama geçilerek gaz verimi Sıcaklık, pH, Katı madde (%) ,Organik katı madde (%),Organik katı madde giderim verimi (%), gaz üretimi (L/gün), uçucu yağ asidi (mg/L CH_3COOH) ve gaz kompozisyonu izlenmiştir.



Şekil 4.13 Termofilik Sürekli besleme koşullarında günlük gaz üretimi

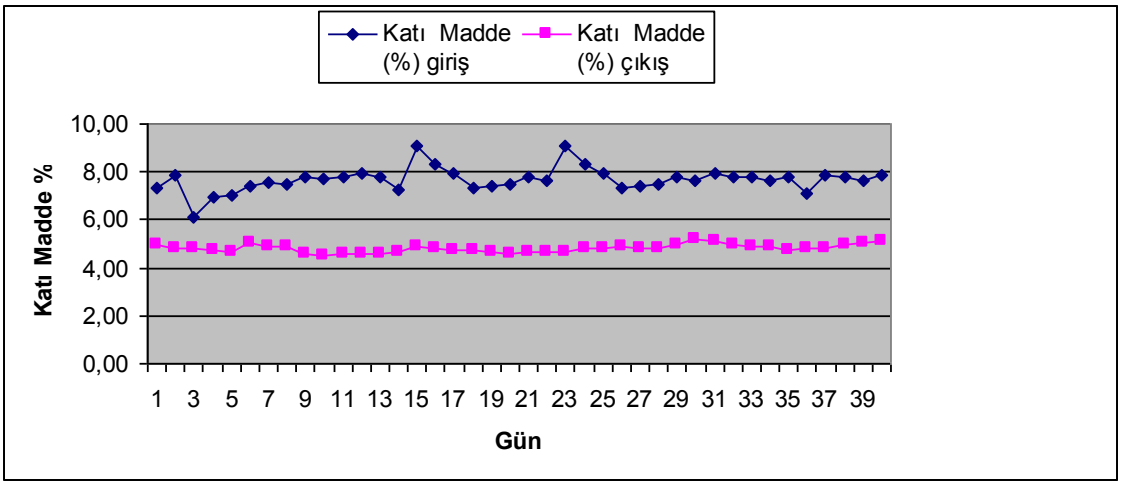
Şekil 4.13'tede görüldüğü gibi termofilik koşullarda gaz üretimi mezofilik ortamdaki gaz üretimine göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak gaz üretim miktarındaki salımım mezofilik ortamdaki çalışmaya göre daha fazladır. Deneyler sonucunda ortalama günlük gaz üretimi 130 L olarak bulunmuştur.



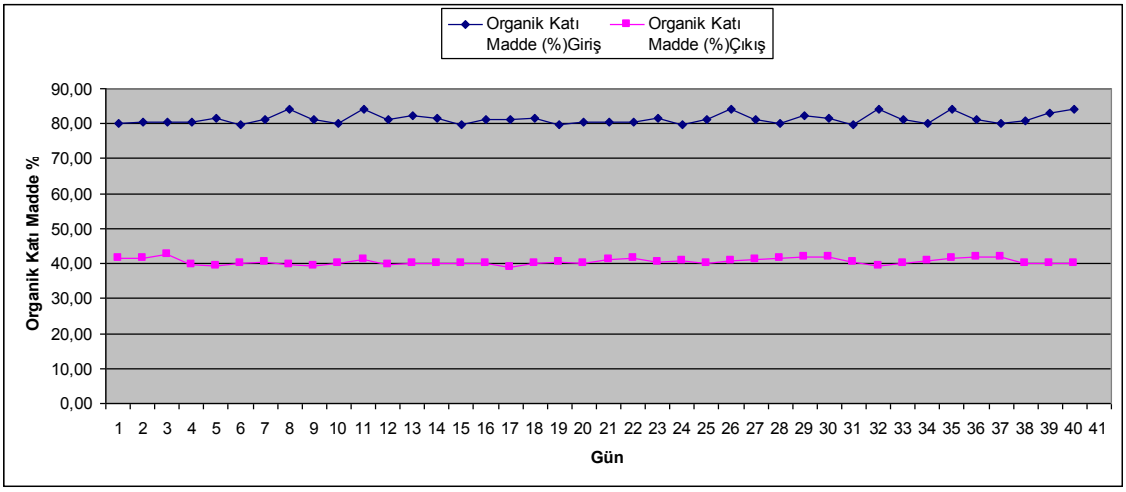
Şekil 4.14 Mezofilik ve termofilik koşullarda gaz üretiminin karşılaştırılması

Şekil 4.14'de mezofilik ve termofilik ortamdaki günlük gaz üretim miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda termofilik şartlarda mezofilik koşullara göre % 4 daha fazla gaz üretildiği gözlemlenmiştir.

Tam ölçümlü bir reaktörde termofilik ya da mezofilik sistem tercihinin yapılabilmesi için sıcaklığın arttırılması için gerekli ısı ihtiyacı ile Termofilik koşullarda gaz üretimindeki artışın karşılaştırılması gerekmektedir. pH değerlerindeki ani iniş çıkışlar termofilik ortam koşullarında mikroorganizma guruplarının daha az stabil olduğunu göstermiştir. Buna rağmen hayvan gübresi ve arıtma çamuru karışımın tamponlama kapasitesi yüksek olduğundan 40 günlük deneme boyunca pH dengelemek için kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır.

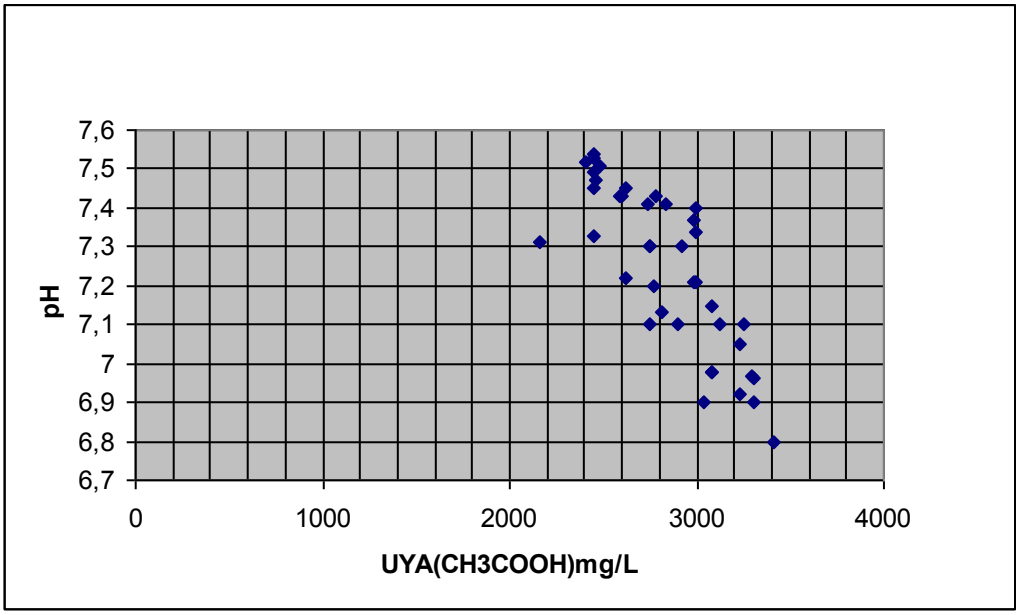


Şekil 4.15 Termofilik Sürekli besleme koşullarında katı maddenin (giriş-çıkış)değişimi



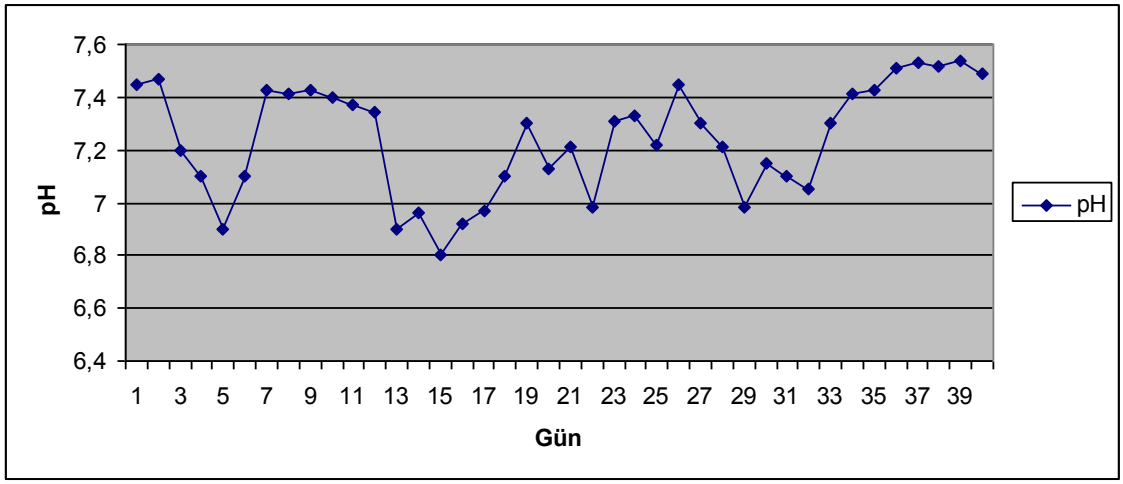
Şekil 4.16 Termofilik Sürekli besleme koşullarında organik katı maddenin (giriş-çıkış)değişimi

Termofilik koşullarda ortalama organik katı madde giderimi %50 olarak bulunmuştur. Bu değer mezofilik koşullardaki giderim verimine göre %2,26 daha fazladır. Termofilik koşullarda elde edilen bu düşük verim artışı deneysel hatalardan kaynaklı olabileceğinden giderimler arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Hidrolik bekleme süresi sabitlendiği için termofilik sürekli beseleme koşullarında günlük organik katı madde giderim verimi sabittir. Şekil 4.16'da organik katı madde giderimi gösterilmiştir.



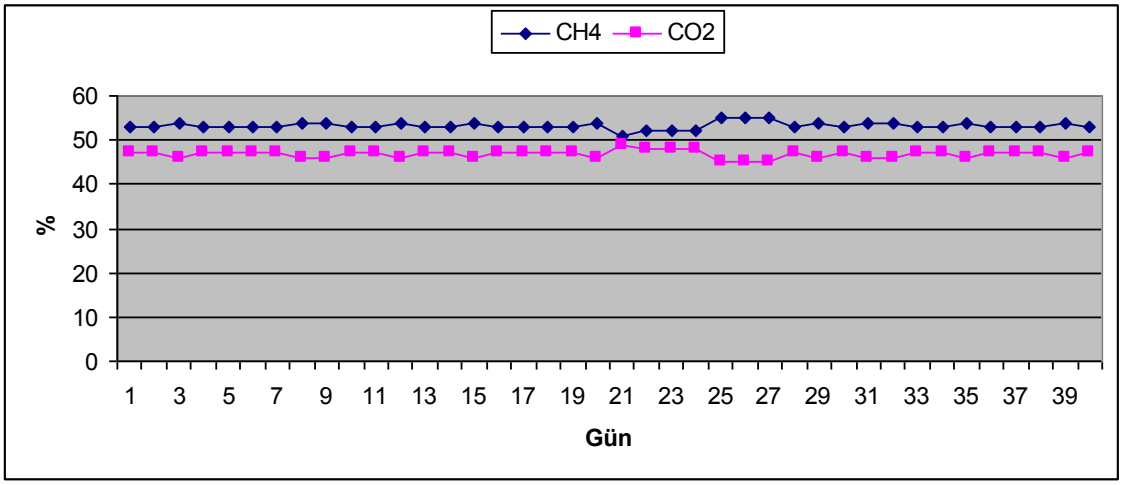
Şekil 4.17 Termofilik Sürekli besleme koşullarında UYA ve pH ilişkisi

Şekil 4.17 incelendiğinde termofilik koşullarda uçucu yağ asidi miktarı 3000-4000mg/L değerlerine pH değerinin 7 değerinin altına düşme eğilimi gözlemlenmiştir. Buda termofilik koşullarda reaktör stabilitesinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Buna rağmen pH değerleri metanojenik aktiviteyi düşürecek değerlere 40 günlük deneme süresince ulaşmamıştır. Termofilik koşullarda da hayvan dışkısı ve arıtma çamuru karışımı güvenli şekilde çürütülebilmektedir.

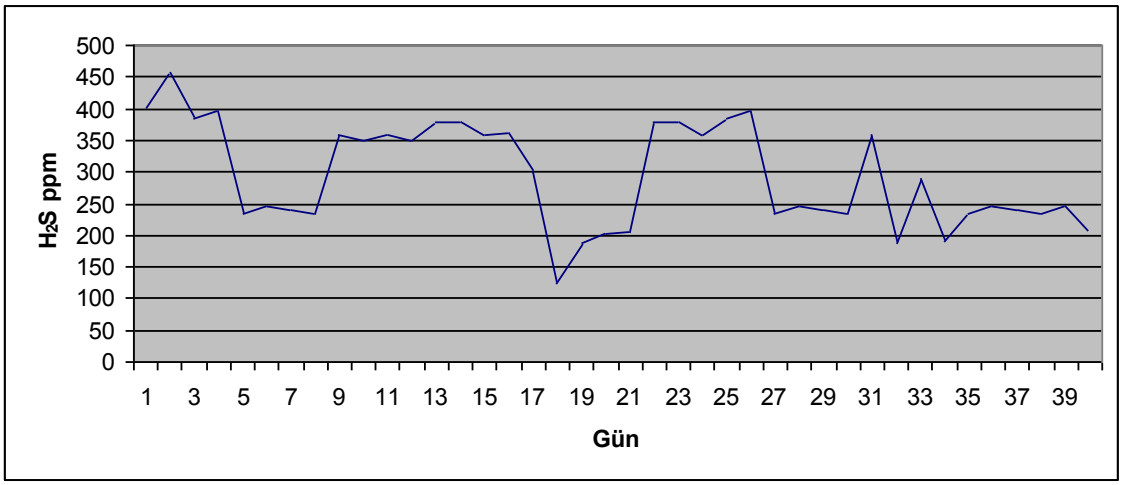


Şekil 4.18 Termofilik Sürekli besleme koşullarında pH değişimi

Anaerobik reaktörlerde pH reaktör stabilitesini gösteren önemli bir parametredir. Metanojenik faaliyetin olumsuz etkilenmemesi için pH değerinin 6,8-7,5 aralığında kalması istenir. Şekil 4.18 incelendiğinde termofilik koşullarda reaktör pH değerinin zaman zaman 6,8 değerlerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. 40 gün süresince pH metanojenik faaliyetleri etkileyecek kadar düşmemiştir. Ancak termofilik reaktörlerde pH değerlerinde gözlenen salınımlardan dolayı saha sık izlenmelidir.



Şekil 4.19 Termofilik Sürekli besleme koşullarında CH_4 ve CO_2 kompozisyonu



Şekil 4.20 Termofilik Sürekli besleme koşullarında H_2S kompozisyonu

Şekil 4.19 ve 4.20 termofilik koşullardaki gaz kompozisyonunu göstermektedir. Gaz kompozisyonu bakımından mezofilik ve termofilik denemeler benzer sonuçlar vermiştir. Biyogaz termofilik denemelerde de mezofilik denemelerde olduğu gibi ortalama %53 metan içermektedir. Hidrojen sülfür değeride benzer şekilde 150-450 ppm arasında değişmektedir.

5.SONUÇ

Yapılan bu çalışmada süt endüstrisi atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının ve süt sığırcılığı yapılan çiftliklerde oluşan büyükbaş hayvan dışkılarının birlikte arıtılması araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak yapılan kesikli denemede 40 günlük hidrolik bekleme süresinde biyogaz üretimi ve organik katı madde giderimi göz önüne alınarak optimum hidrolik bekleme süresi olarak 26 gün belirlenmiştir. 40. gün sonunda %48,95 organik katı madde giderimi gerçekleşmiş olup 3596 L biyogaz elde edilmiştir. pH değeri metanojenik faaliyetler için uygun aralık olan 7-7,8 aralığında seyretmiştir. Gaz kompozisyonu incelendiğinde biyogaz içeriğindeki metan oranı %52,8 ve ortalama hidrojen sülfür miktarı 308 ppm olarak bulunmuştur. Optimum hidrolik bekleme süresi hesaplanırken toplam biyogaz üretiminin %70'inin tamamlandığı 26. sonunda üretilen toplam 2794 L biyogaz dikkate alınmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus arıtma çamurunun ve hayvan dışkısının karakterizasyonunun her arıtma tesisi ve her çiftlik için farkı olmasıdır. Yapılacak her tesis için optimum hidrolik bekleme süresi çalışmalarının yapılması ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderlerinin optimize edilmesini sağlar.

Sürekli besleme ile yapılan denemelerde ise belirlenen 26 günlük hidrolik bekleme süresinde mezofilik ve termofilik reaktörlerin performansları izlenmiştir. Mezofilik ortamda yapılan çalışmada pH metanojenik faaliyet için stabil görünmekteyken termofilik ortamda yapılan çalışmada pH değerinin zaman zaman metanojenler için sınır değerler olan 6,8 değerlerine düştüğü gözlemlenmiştir. Reaktöre aşırı yükleme yapıldığı durumlarda termofilik reaktörlerde pH'ın daha da düşeceği ve reaktör stabilitesinin bozulabileceği unutulmamalıdır. Bunun önüne geçebilmek için termofilik işletilen reaktörlerde müdahale amaçlı tamponlama kapasitesi yüksek kireç, kostik gibi kimyasalların bulundurulması gereklidir. Bu önlemlerle metanojenik faaliyetlerin kısıtlanması önlenebilir.

Termofilik ve mezofilik denemelerdeki gaz kompozisyonlarında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Mezofilik reaktörde metan konsantrasyonu %53 iken termofilik reaktörde bu oran %53,3 olarak gerçekleşmiştir. Mezofilik ve termofilik denemelerde ortalama hidrojen sülfür konsantrasyonu 150-450 ppm arasında gözlemlenmiştir.

Üretilen biyogaz elektrik üretmek amacıyla kullanılacaksa mutlaka biyolojik veya kimyasal gaz arıtma yöntemleriyle hidrojen sülfür içeriği 200 ppm değerinin altında tutulmalıdır. Bu çalışma verileriyle kurulabilecek tesisin mutlak suretle gaz arıtma sistemine sahip olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

Termofilik denemeler termofilik ortamda çürütücülerin gaz veriminin %4 ve organik katı madde gideriminin de %2,6 daha iyi olduğunu göstermektedir. Gaz üretimindeki ve organik katı madde giderimindeki bu artış beklenenden çok düşük olduğundan. Hayvan dışkısı ve arıtma çamuru karışımının birlikte çürütülmesinde mezofilik koşulların uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk S., 2008. Biogas Handbook Ed: Al Seadi, T. ,University of Southern Denmark., pp: 9-95.

Alibaş K., Ulusoy Y. ,Tekin Y. 2010. Biyogaz Üretimi, http://homepage.uludag.edu.tr/~yahyau/biyogaz.htm, 2008.

Alibaş K., 2011. Sözlü Görüşme Uludağ Üniversitesi Biosistem Mühendisliği Anabilim Dalı Bursa. Görüşme Tarihi 03.11.2011

Alkan U., 2003 Anaerobik arıtma ders notları. Bursa

Andrew D. Eaton, Mary Ann H. Franson, American Water Works Association, Water Environment Federation., 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater, *American Public Health Association,* 21. edition.

Anonim, 2011. Biyogaz enerjisi. http://www.biyogazder.org/- Erişim tarihi:13.09.2011

Anonim, 2010. Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi &Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, Ankara.

Anonim, 2010. Anaerobic Digestion ASİA Bangkok.

Anonim, 2010. International Biogas Study Course Almanya.

Anonim 2011. International Biogas Operator Course Almanya.

Anonim. 2009., TÜBİTAK-MAM ESÇAE Projesi.

Anonim 2011., http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_Turkiye.html Erişim tarihi: 25.09.2011.

Anonim 2012 .,http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_yan_urun.html Erişim tarihi: 15.01.2012

Anonim 2012 ., http://peda.gov.in Erişim tarihi: 15.01.2012

Anonim, 2010. International Conference on Anaerobic Digestion Bankok.

APHA, AWWA and WPCF, 1995. Standard methods for the examination of water and waste water, Washington D.C.

Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H. ve Akgün, F. 2001. Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi Başlangıç Raporu, TÜBİTAK-MAM.

Burton B. H ve Burner C.1980. Manure Management System & Treatmens Strategies for agriculture, vol 2 pp: 273-213.

Çağman S. 2010. International Energy Association (IEA) Task 37 Country reports Turkey

Çoban V., Çağman S., Tırıs M. 2010. Evsel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi.

Debik E., Manav N., Çoşkun T. 2008. Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları İstanbul.

Desad M.,.Patel V..and Madamvar D., Effect of Temperature and Retention Time on Biomethanation of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung, *Environmental Pollution*, 83, pp: 311-315, 1994.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2008. Biyogas – an introduction, Federal Ministery of Food Agriculture and Consumer Protection, Germany.

Erzincanlı H. O. 2009. Türkiye'de atıklardan enerji üretimi ve biyogaz. *Enerji dünyası* 62-64.

Fisher T. Ve Krieg A 2010. Agricultural biogaz plants,*worldwide,* Germany.

Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun 9.07.2008 Kanun No: 5784

Enerji Verimliliği Kanunu 18.04.2007 Kanun No: 5627

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 2010 Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

Gedikoğlu İ., Eyüpoğlu E., Kurucu N., Altıntas S. ve Öner E., 2008. Ahır Gübresi Organik Hayvansal Gübre, Bahçe.*Biz Tarım ve Bahçe Portalı,* Tarım Bakanlığı

GATE and GTZ German Appropriate Technology Exchange (GATE) and German Agency for Technical Cooperation (GTZ), 2007. Biogas Digest Volume I: Biogas basics, Frankfurt, Germany,

GATE and GTZ German Appropriate Technology Exchange (GATE) and German Agency for Technical Cooperation (GTZ), 2007. Biogas Digest Volume II: Application and Product Development, Frankfurt, Germany,

GATE and GTZ German Appropriate Technology Exchange (GATE) and German Agency for Technical Cooperation (GTZ), 2007. Biogas Digest Volume III: Costs and Benefits and Biogas, Frankfurt, Germany,

Hart, S. A.1960, The Management of Livestock Wastes, *Journal of the Water Pollution Control Federation* sf. 78-80.

Hartmann, H.,1999. Angelidaki, I. and Ahring, K., Increase of Anaerobic Degradation of Particulate Organic Matter in Full-Scale Biogas Plants by Mechanical Maceration. II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Barcelona, 15-17 June, 129-136.

Kıshore, V.V.N. Raman, P., Rao, V.V.R. 1987. Fixed Dome Biogas Plants-A Desing, Construction and Operation Manual, Tata Energy Research Institute, New Delhi.

Kunt N., Baştan E., Şevik H. 2011,Konya ilinde biyogaz üretim potansiyeli araştırma projesi, Konya.

M. Acaroğlu, H. Öğüt ve K. Çarman, 2001. Biyokütle Enerjisinin Yakıt Olarak Türkiye 'ye Sağlayacağı Ekolojik ve Ekonomik Potansiyelin Belirlenmesi. NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium, 37-40, Letkoşa TRNC,

Ministry of Agriculture, P.R. China, and Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, UN, **2005.** Conference Handbook, International Seminar on Biogas Technology for Poverty Reduction and Sustainable Development. Beijing, China, 17-20 October.

Moller, H.B., Sommer S.G., and Ahring B.K. 2004. Methane Productivity of Manure Straw and Solid Fractions of Manure. *Biomass and Bioenergy*, vol 26, pg 485-495.

Musluoğlu A., 2011. Sözlü Görüşme, ArbiogazÇevre Teknolojileri A.Ş. İstanbul. Görüşme Tarihi 22.09.2011., a.musluoglu@hotmail.com.

Nacar Koçer N., Öner C., Sugözü İ. 2006.Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi Elazığ.

Öztürk Ġ., 2007. Anaerobik arıtma ve uygulamaları, *Su vakfı yayınları*, İstanbul, Türkiye.

Özdoğan M., 2011 Çerkezköy OSB Atıksu Arıtma Tesisi, Tekirdağ ili arıtma çamurlarının değerlendirilmesi çalıştayı. Tekirdağ.

Öztürk, İ., 1999, Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı, İstanbul.

Öztürk İ., 2010. evsel atıksular ve organik katı atıkların birlikte arıtımı yoluyla yenilenebilir enerji biyometan geri kazanım teknolojilerinin araştırılması projesi,

Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., 2001. Environmental Biotechnology: Principles and Applications, pp. 570-596, McGraw-Hill, İnc., New York.

Samsunlu A., 2006. Atıksuların Arıtılması, *Birsen yayınevi,* İstanbul

Speece, R., 1995, Anaerobik Biotechnology for Industrial Wastewater, Vanderbilt University, Tennessee.

Speece, R.. 2001. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press, Nashville, Tenessee, 394 pp.

Thomas Hoerz, Pedro Krämer, B. Klingler, C. Kellner, Thomas Wittur, F. v. Klopotek, A. Krieg, H. Euler

Tolay M., Yamankaradeniz H., Yardımcı S., Reiter R. 2008. Hayavansal Atıklardan Biyogaz Üretimi, 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu. İstanbul.

TOPAL, H. Toraman, O.Y. , 2003. Dolaşımlı akışkan yatakta kömür ile arıtma çamurunun birlikte yakılması ve çevresel etkileri, *Mühendis makine*.

Tandoğan B. P. 2009. Atıktan Enerjiye Giden Yolda Mevcut Yasal Düzenlemeler, Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri

Türkmenoğlu E. 2010.Kyoto Protokolü: Muhasebesi, Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi ve 2012 Yılı sonrası Yani Mekanizmalar, ICCI 2011 Bildiriler kitabı pp 116-117.

Velioğlu, G., Curi, K., Baban, A., Alpaslan N., 1985. Improvement in Biodegradability in Anaerobic Digestion of Dairy Cow Manure Appropriate Waste Management for Developing Countries, Proc. of the First International Symposium for Developing Countries, Boğazici Üniversitesi,. *Plenum Press,* New York.

Yıldız Ş., Yılmaz E., Ölmez E., 2009. Evsel nitelikli arıtma çamurlarının stabilizasyonla bertaraf alternatifleri: İstanbul örneği , Türkiye'de katı atık yönetimi sempozyumu

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun 29.12.2010

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Serkan ANACAK
Doğum Yeri ve Tarihi :Bursa 06.09.1984
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise :Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi 2002.
Lisans :Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2008.
Lisans :Anadolu Üniversitesi, İşletme 2009.
Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :Sütaş Süt Ürünleri A.Ş 2008-

İletişim (e-posta) :sanacak@hotmail.com

Yayınları (SCI ve diğer) :Süt Endüstrisi Atıksularının Anaerobik Arıtımı 2008., Uludağ Üniversitesi Lisans Tezi, Bursa.