

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADYAMAN ATIKSU ARITMA TESİSİ BİYOGAZ ÜRETİM
VERİMİNİN İNCELENMESİ**

ZEYNEP RUŞEN CAN

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

**T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADİYAMAN ATIKSU ARITMA TESİSİ BİYOGAZ ÜRETİM
VERİMİNİN İNCELENMESİ**

Zeynep Ruşen CAN

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 18/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
BAŞKAN**

**Yrd.Doç.Dr. Harun TÜRKMENLER
ÜYE (DANIŞMAN)**

**Yrd.Doç.Dr. M. Fatih DİLEKOĞLU
ÜYE**

**Prof.Dr. Refet KARADAĞ
Enstitü Müdürü**

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MÜFYL/2015-0001

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADİYAMAN ATIKSU ARITMA TESİSİ BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNİN İNCELENMESİ

Zeynep Ruşen CAN

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER
Yıl: 2017, Sayfa Sayısı: 87

Jüri : Prof. Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
: Yrd. Doç. Dr. M. Fatih DİLEKOĞLU
: Yrd. Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi esnasında kullanılan proses ve ekipmanlara bağlı olarak yoğun şekilde enerji kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarından biyogaz üretimi son zamanlarda yaygın bir enerji üretim tekniği haline gelmiştir. Günümüzde hammadde kaynağı olarak atıkların kullanılması ile biyogaz üretilmesi, biyogazdan da elektrik üretimi artan bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, A.İ.B.A.A.T.'nin arıtma çamurundan biyogaz üretim miktarlarının araştırılması amacıyla Eylül 2016 - Şubat 2017 altı aylık veriler elde edilerek gerçekleştirilmiş, çamur debisine karşılık üretilen biyogaz miktarları çizelge ve grafiklerle verilmiştir.

Çalışma kapsamında; A.İ.B.A.A.T.'de üretilen biyogazın yapılan elementel analiz sonucunda CH₄ % 66,61; CO₂'nin % 33,5 ortalama değerlerde olduğu bulunmuştur. Şubat-2017 giderim değerleri KOİ % 93,45; AKM % 91,04; BOİ₅ % 90,76; TN % 76,85; TP % 81,69 olarak belirlenmiştir. Çamurda yapılan organik madde analiz sonucunda kg/m³ cinsinden aylık ortalama değerleri TKM 52,6; AKM 6-7; UKM 26,35 olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında çıkan sonuçlar, literatür çalışması ve İSKİ'den alınan veriler ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, arıtma çamuru, biyogaz, elektrik üretimi, enerji.

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF ADIYAMAN WASTEWATER TREATMENT PLANT BIOGAS PRODUCTION YIELD

Zeynep Ruşen CAN

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER
Year: 2017, Number of pages: 87

Jury : Prof. Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ
: Asst. Prof. Dr. M. Fatih DLEKOLU
: Asst. Prof. Dr. Harun TÜRKMENLER

Energy is heavily used depending on the processes and equipment used during the operation of the wastewater treatment plants. Biogas production from sewage sludge has recently become a widespread energy production technique. Nowadays, the biogas produced by the use of waste as a source of raw materials, electricity production from biogas has increased potential. This study was carried out by obtaining semi - monthly data for September 2016 - February 2017 in order to investigate the biogas production amounts of A.İ.B.A.A.T. sewage sludge. The amounts of biogas produced in response to sludge formation are given in tables and graphs.

Within the study; The elemental analysis of the biogas produced in A.I.B.A.A.T. resulted in CH₄ 66.61%; CO₂ is found to be in average values of 33.5%. February-2017 values of COD removal 93.45%; AKM was 91.04%; BOD% 90,76; TN 76.85%; TP was determined as 81,69%. Monthly average values in terms of kg / m³ as a result of organic matter analysis made in the sludge are TKM 52,6; AKM 6-7; The UKM was found to be 26,35. The results of this thesis study showed that the values obtained when compared with the data obtained from İSKİ and the literature study are appropriate.

Keywords: Wastewater, treatment mud, biogas, electricity generation, energy.

TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca maddi - manevi desteklerini esirgemeyen, bugünlere gelmemi sağlayan, çalışmalarım boyunca sevgi ve sabırla beni destekleyen sevgili AİLEME teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışması boyunca yardımcı olan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Harun TÜRKMENLER ve tez çalışması için gerekli bilgileri bizlerden esirgemeyen Adıyaman Belediye Başkan Yardımcısı Sayın Reşit BİLGİN ve Adıyaman İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi işletme şefleri Sayın Abdullah Gazi FIRAT ve Akif TAŞTAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını desteklediklerinden dolayı Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine ve yardımlarını esirgemeyen İSKİ'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ATIKSU ARITMA ÇAMURU.....	3
2.1. Çamurların Sınıflandırılması.....	3
2.1.1. Birincil çamur (ön çökeltim çamurları).....	3
2.1.2. İkincil çamur	4
2.1.3. İleri biyolojik arıtma çamurları	4
2.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Kaynakları.....	4
2.3. Çamur İşleme ve Bertaraf Yöntemleri	6
2.3.1. Stabilizasyon	6
2.3.2. Yoğunlaştırma	6
2.3.3. Şartlandırma	7
2.3.4. Susuzlaştırma	7
2.3.5. Kurutma.....	7
3. BİYOGAZ.....	10
3.1. Biyogazın Tarihi.....	10
3.2. Dünya’da Biyogaz Durumu.....	11
3.3. Türkiye’de Biyogaz Durumu.....	12
3.4. Biyogazın Özellikleri	12
3.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Bazı Atıklar	14

3.6. Biyogazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması	15
3.7. Biyogazın Kullanım Alanları	16
3.8. Biyogaz Üretim Aşamaları	18
3.8.1. Fermentasyon ve hidroliz	19
3.8.2. Asit oluşumu	19
3.8.3. Metan oluşumu	20
3.9. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler	21
3.10. Biyogaz Üretiminin Faydaları	25
3.11. Anaerobik Arıtımın Aerobik Arıtıma Göre Üstünlükleri ve Sakıncaları	25
3.12. Anaerobik Reaktör Çeşitleri	26
4. KAYNAK ÖZETLERİ	30
5. MATERYAL VE METOT	34
5.1. Materyal	34
5.1.1. Tesisin genel tanıtımı	34
5.1.2. A.İ.B.A.A.T’de yer alan üniteler ve havuzlar	35
5.1.2.1. Giriş yapısı	35
5.1.2.2. Kaba ve ince ızgara binası	36
5.1.2.3. Kum ve yağ tutucu havuz	37
5.1.2.4. Ön çökeltme havuzu	37
5.1.2.5. Havalandırma havuzu	38
5.1.2.6. Son çökeltme havuzları ve dağıtım yapısı	38
5.1.2.7. Anaerobik çürütücü tank	39
5.1.2.8. Desülfürizasyon ünitesi	43
5.1.2.9. Koku giderme ünitesi	44
5.1.2.10. Ön yoğunlaştırıcı - çürümüş çamur depolama - ön fermentasyon tankları	45
5.1.2.11. Biyogaz depolama balonu	46

5.1.2.12. Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma binası.....	46
5.1.2.13. Geri devir pompa istasyonu	47
5.1.2.14. Blower binası	48
5.1.2.15. Çamur depolama alanı	48
5.1.2.16. Gaz yakıcı	48
5.1.2.17. Laboratuvar	49
5.1.2.18. SCADA kontrol odası.....	49
5.2. Metot	50
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
6.1. A.İ.B.A.A.T. Üretilen Biyogazın Elementel Analiz Sonuçları	51
6.2. Atıksuya Ait Aylık Ortalama Giriş ve Çıkış Değerleri	51
6.3. A.İ.B.A.A.T.'de Çamurda Yapılan Organik Madde Analiz Sonuçları	53
6.4. Eylül-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları.....	53
6.5. Ekim-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları.....	54
6.6. Kasım-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları.....	56
6.7. Aralık-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları	57
6.8. Ocak-2017 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları.....	59
6.9. Şubat-2017 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları	60
6.10. Aylara Ait Ortalama Çamur ve Biyogaz Miktarları	61
6.11. A.İ.B.A.A.T. Elektrik Üretimi.....	62
7. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	74

Çizelge 2.1.	Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri.....	5
Çizelge 2.2.	Çamur işleme ve bertaraf metotları.....	8
Çizelge 3.1.	Biyogazın hacimsel % bileşimi.....	13
Çizelge 3.2.	1 m ³ biyogazın enerji eşdeğerleri	13
Çizelge 3.3.	Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları	14
Çizelge 3.4.	Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 3.5.	Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması	16
Çizelge 3.6.	Bir otobüs farklı yakıtlarla işletildiğinde oluşan emisyonların (g/km) karşılaştırılması	25
Çizelge 5.1.	Anaerobik çürütücü tanka ait ortalama sıcaklık ve pH değerleri.....	42
Çizelge 5.2.	Tesise ait üniteler ve kapasiteleri	49
Çizelge 5.3.	Tesiste atıksu için yapılan analiz ve yöntemleri	50
Çizelge 5.4.	Çamurda yapılan organik madde analiz ve yöntemleri.....	50
Çizelge 6.1.	A.İ.B.A.A.T.'de üretilen biyogazın altı aylık ortalama elementel analiz sonuçları (Gazların dağılım yüzdeleri).....	51
Çizelge 6.2.	A.İ.B.A.A.T. Altı aylık ortalama giriş BOİ ₅ , KOİ, AKM, TN ve TP değerleri.....	52
Çizelge 6.3.	A.İ.B.A.A.T. Altı aylık ortalama çıkış BOİ ₅ , KOİ, AKM, TN ve TP değerleri.....	52
Çizelge 6.4.	A.İ.B.A.A.T. Şubat-2017 giderim değerleri (%)	52
Çizelge 6.5.	Çamurda yapılan organik madde analiz sonuçları(aylık ort. değerler)....	53
Çizelge 6.6.	Eylül ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı	53
Çizelge 6.7.	Ekim ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı	55
Çizelge 6.8.	Kasım ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı.....	56
Çizelge 6.9.	Aralık ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı.....	58
Çizelge 6.10.	Ocak ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı.....	59
Çizelge 6.11.	Şubat ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı	60
Çizelge 6.12.	Aylara ait ortalama çamur debisi ve biyogaz miktarı	62
Çizelge 6.13.	A.İ.B.A.A.T. üretilen elektrik miktarları	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Atıksu arıtma çamuru.....	3
Şekil 3.1. Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri	16
Şekil 3.2. Biyogaz ile çalışan aydınlatıcı	17
Şekil 3.3. Anaerobik çürüme kademeleri	18
Şekil 5.1. A.İ.B.A.A.T.'nin genel görünümü.....	34
Şekil 5.2. A.İ.B.A.A.T.'nin proses akım şeması	35
Şekil 5.3. Giriş pompa istasyonu ve kaba ızgara	36
Şekil 5.4. İnce ızgara.....	36
Şekil 5.5. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuz	37
Şekil 5.6. Ön çökeltme havuzu	38
Şekil 5.7. Son çökeltme havuzu	39
Şekil 5.8. Anaerobik çürütücü tankın şematik görünümü.....	40
Şekil 5.9. Anaerobik çürütücü tankın bağlantı şeması	41
Şekil 5.10. Anaerobik çürütücü tankın dış görünümü.....	43
Şekil 5.11. Desülfürizasyon ünitesi.....	44
Şekil 5.12. Kimyasal yıkayıcı	45
Şekil 5.13. Biyofiltre	45
Şekil 5.14. Biyogaz depolama balonu.....	46
Şekil 5.15. Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesi	47
Şekil 6.1. Eylül ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği	54
Şekil 6.2. Ekim ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği	55
Şekil 6.3. Kasım ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği	57
Şekil 6.4. Aralık ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği.....	58
Şekil 6.5. Ocak ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği	59
Şekil 6.6. Şubat ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği.....	61
Şekil 6.7. Aylara ait ortalama çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği.....	62

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
A.İ.B.A.A.T.	: Adıyaman İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
AKM (SS)	: Askıda Katı Madde (Suspended Solid)
BOİ ₅ (BOD)	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (Biological Oxygen Demand)
Cd	: Kadmiyum
CH ₄	: Metan
Co	: Kobalt
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOH	: Potasyum Hidroksit
KOİ (COD)	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (Chemical Oxygen Demand)
Mn	: Mangan
N	: Azot
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NH ₃	: Amonyak
Ni	: Nikel
O ₂	: Oksijen
P	: Fosfor
TKM (TSM)	: Toplam Katı Madde (Total Solid Matter)
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
UKM (VSM)	: Uçucu Katı Madde (Volatile Solid Matter)
YAÇYA	: Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik

SİMGELER

dk.	: Dakika
g	: Gram
h	: Saat
kcal	: Kilo kalori
kg	: Kilogram
kWh	: Kilowatt saat
L	: Litre
m	: Metre
m ³	: Metreküp
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
sn	: Saniye
\$	: Dolar işareti
W	: Watt
Ø	: Çap

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların aşırı ve bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi, çevre problemlerinde belirgin bir artışa neden olmaktadır. Artan nüfusa paralel olarak doğa, daha yoğun kullanılmakta ve tahrip edilmektedir (Khataee 2009).

Konvansiyonel enerji rezervlerinin gittikçe tükenmeye başladığı günümüzde enerji, en pahalı üretim girdilerinden biri olmuştur. Çoğu sınırlı olan enerji kaynaklarının daha uzun süre insanlığın hizmetinde tutulması için uygun şekilde kullanılması, yenilenmesi veya bu azalan kaynaklar yerine, yeni kaynakların hizmete geçirilmesi gerekmektedir (Yılmaz ve Atalay 2004).

Enerji ihtiyacı, dünya nüfusundaki hızlı artış ve sanayileşmeye paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacının fosil yakıtlar kullanılarak karşılanması çevre sorunlarının temel nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Atıklardan yenilenebilir enerji üretimi gelecekteki alternatif enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Anaerobik biyolojik arıtma sistemleri ile biyogaz üretimi, biyokütle yolu ile enerji elde etme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem birçok endüstriyel, zirai atık için uygulanabilir (Speece 1996).

Günümüzdeki iki önemli konu olan enerji krizi ve çevrenin bozulması bilim insanlarının üzerinde çalıştığı konuların başında gelmektedir. Dünyadaki toplam enerji tüketiminin % 80'inden fazlasının fosil kaynaklı yakıtlardan sağlandığı belirtilmektedir (Acaroğlu 2007, Agarwal 2007, Aktaş ve Özer 2012).

Fosil enerji kaynaklarının tükeneceği gerçeği, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan önemini vurgulamaktadır. Türkiye'nin elektrik üretiminin yaklaşık %30'u fosil kaynaklardan, %48'i ise dışa bağımlı olan doğalgazdan üretildiği unutulmamalıdır (Ulusoy vd. 2009).

Dünyada çok az miktarda kaldığı belirtilen fosil kökenli yakıtların yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidroelektrik enerjisi, güneş ve rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, okyanus ısısı, biyokütle ve biyogaz enerjisi) kullanılmaktadır (Çanka Kılıç 2011).

Günümüzde enerji çalışmaları hız kazanmıştır. Azalan hammadde kaynakları, artan ihtiyaçlar ve artan bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla atıkların değerlendirilmesi, bu atıklardan enerji eldesi sağlanmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de atıklardan enerji eldesi çalışmalarına her gün bir yenisi eklenmekte ve başarılı olunmaktadır. Çevre dostu

olan bu yeni enerji üretim teknikleri atıklardan enerji elde edilmesini sağladığı gibi atıkların bertarafını da sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; A.İ.B.A.A.T.'de arıtma prosesi sonucu ortaya çıkan ham (birincil) çamur ve biyolojik fazla çamurların karıştırılarak oksijensiz ortamda çürütüldükten sonra anaerobik çamur çürütücünden elde edilen biyogazın üretim veriminin incelenmesidir.

Belirtilen amaç doğrultusunda ilk olarak, arıtma tesisinden elde edilen çamurun aylara göre değişimi belirlenmiştir. Tesisin Eylül 2016 - Şubat 2017 arasında kalan altı aylık işletme süresi boyunca işlenen çamur debisi ile üretilen biyogaz miktarlarının aylara göre değişimlerinin tablo ve grafikler halinde verilmesi ve aylara ait çamur debisi-biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek için regresyon analizlerinin yapılması hedeflenmiştir.

2. ATIKSU ARITMA ÇAMURU

Arıtma çamuru literatür tanımıyla, evsel ve endüstriyel atıksuların ve içme sularının arıtılması sırasında, kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda ortaya çıkan, içerisinde %0,25 ile %12 oranında katı madde ihtiva eden akışkan özelliğe sahip bir maddedir. Ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40-60 g kuru madde olduğu belirtilmektedir (Metcalf ve Eddy 1991).

Avrupa’da evsel çamurlar bakteri, virüs, ağır metaller, fosfor ve azotun giderimi için ön bir arıtmaya tabi tutulduktan sonra atılabilmekte veya geri kullanılabilir. Tarımsal kullanım evsel çamurun bertarafında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Fakat çok miktarda çamur üretimi ve tarımda bu kadar fazla çamura ihtiyaç duyulmaması ayrıca çamurdaki ağır metallerin toprakta birikmesi önemli problemlerin başında gelmektedir (Fytili ve Zabaniotou 2008).

Atıksu arıtma çamuruna ait bir görüntü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Atıksu arıtma çamuru

2.1. Çamurların Sınıflandırılması

2.1.1. Birincil çamur (ön çökeltim çamurları)

Ön arıtma sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOİ’nin bir kısmı çökebilen katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilen katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar.

Çökeltme havuzu tabanında toplanan maddeler ise “ham ön çökeltme çamuru” olarak isimlendirilir. Bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir (Filibeli 2002).

Bu çamur genellikle çürütülür ve “çürük ön çökeltme çamuru” olarak bilinir. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun kararlaştırılmasında genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Çürütücülerde oluşan üst sıvı, arıtma tesisi başına geri döndürülür. Çürütücü üst suyu, yüksek katı madde derişimine sahiptir ve bu katı maddelerin arıtma sistemi girişine geri döndürülmesi bazı işletme sorunlarına neden olabilir (Yurtsever 2005).

2.1.2. İkincil çamur

Proses, çözünmüş ve askıda organik kirleticilerin arıtılmış sulardan ayrılabilen biyokütle ve gazlara dönüşümünü içermektedir. Çamur biyokütlesi, son çökeltme havuzlarında ayrılabilen karışık mikroorganizma karışımından oluşmaktadır (Oviedo vd. 2003).

2.1.3. İleri biyolojik arıtma çamurları

Alıcı ortamlarda amonyak ve nitratın oluşumu toksik etki yapmakta olduğundan azot giderimi çok önemlidir. Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı %30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosfor giderimine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır (Krogmann vd. 1997).

2.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Kaynakları

Atıksu arıtma tesislerinden gelen çamur genellikle sıvı veya yarı katı özellikte olup ağırlıkça %0,25-12 katı içermektedir (Tchobanoglous vd. 2003).

Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri (Metcalf ve Eddy 1991)

Çamur ve Katı Atık	Tanımlama
Izgara ve elekte tutulan atıklar	Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişim gösterir.
Kum	Hızlı çökme özelliğine sahip, ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.
Köpük/yağ	Birincil ve ikincil çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen maddeleri içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları, sebze ve meyve kabukları, saç, kâğıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0,95'dir.
Birincil çamur	Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süreli kalırsa çamur yoğunluğu artar.
Aktif (biyolojik) çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir, çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolayca çürüyebilir.
Damlatmalı fitre çamuru	Kahverengimsi, floklu ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik çürütülmüş çamur	Kahve ve koyu kahve renklidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik çürütülmüş çamur	Koyu kahve-siyah renkli olup, çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince tabak şeklinde, kurutma yatağına yayıldığında, katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kurudukça, gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompost ürünü	Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlamada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Fosseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koyu yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.

2.3. Çamur İşleme ve Bertaraf Yöntemleri

2.3.1. Stabilizasyon

Atıksuların arıtım işleminden sonraki çözünmeyen kalıntı kısmı olan ham çamurların alıcı ortamlara verilebilmeleri için stabilize edilmeleri gerekmektedir (Bilgin vd. 2002).

Çamurun stabilizasyonu özellikle hacim azaltılması ve yan ürün olarak gaz üretiminde etkilidir. Özellikle istenmeyen koşulların önlenmesi için çamurun kokuşmasının engellenmesi gerekmektedir. Bu da parçalanabilen organik maddelerin biyolojik, fiziksel ve kimyasal gibi yöntemlerle giderilmesi ile sağlanır. Stabilizasyon metodunun seçimi çamur susuzlaştırma ve arıtma ve nihai bertaraf metotlarının üzerindeki metotların kombinasyonuna bağlıdır. Aerobik ve anaerobik çürütme gibi stabilizasyon metotları ayrıca çamur kütesini azaltmakta ve susuzlaştırma proseslerini önemli ölçüde değiştirebilir dolayısıyla bu değişiklikler stabilizasyon prosesinin seçimi ve dizaynında dikkate alınmalıdır (Hararcı 2005).

Çamurların atık çamur keki şeklinde nihai bertarafa verilmeden önce yaratabilecekleri problemlerin en aza indirilmesi amacıyla arıtılması gerekmekte olup, çamurun stabilizasyonu çamur arıtımında karşılaşılan en büyük problemlerden biridir (Spinosa 2007).

2.3.2. Yoğunlaştırma

Sistemde oluşan çamuru daha konsantre hale getirmek, dolayısıyla daha küçük hacimdeki çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı elde etmek için çamur yoğunlaştırma sistemleri kullanılır. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir. Yoğunlaştırma işlemi çöktürme ve yüzdürme gibi metotlarla yapılabilir. Yoğunlaşan çamurun hacmi bu sayede azalır ve susuzlaştırma maliyeti azaltılabilir. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde çamurun tipi, yoğunlaştırılacak çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, konsantre çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Yoğunlaştırma da özellikle ağırlıklı

çökeltme iyi sonuçlar vermektedir. Çökeltimin hızlandırılması için kimyasal koagülantlar ilave edilebilir (Hararcı 2005).

2.3.3. Şartlandırma

Şartlandırma, çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir prosestir. Kimyasal şartlandırma ve ısı arıtımı en yaygın yöntemlerdir. Elütrasyon da kimyasal şartlandırıcı ihtiyacının azaltılması için kullanılan bir yıkama prosesidir. Kimyasal şartlandırmada kullanılan kimyasal maddelerin uygun dozajı laboratuvar testleriyle belirlenmelidir (Hararcı 2005).

2.3.4. Susuzlaştırma

Farklı su muhtevalarına sahip çamurların nihai bertarafı için doğal (solar) ve mekanik (termal) susuzlaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Mekanik susuzlaştırma yönteminin ilk yatırım, işletme ve enerji maliyetleri yüksektir. Doğal susuzlaştırmanın işletimi, mekanik susuzlaştırma yöntemlerine göre daha kolaydır ve daha az enerji gerektirir (Aksu 2008).

Güneş, doğal susuzlaştırma ve kurutma yönteminin ana enerji kaynağıdır. Son yıllarda güneş enerjisiyle kapalı kurutma yataklarında çamur kurutma konusunda ilerlemeler görülmektedir (Salihoğlu ve Pınarlı 2007).

2.3.5. Kurutma

Çamurların kurutulması, çamur hacminin azaltılmasını ve kuru madde oranının %90 olması halinde dezenfeksiyon ve stabilizasyonu sağlamaktadır. Ayrıca termal oksidasyon öncesinde, çamurun kalorifik değeri artırılır, taşıma maliyetleri azalır. Kurutma termal bir prosestir. Isı, çamur üzerine doğrudan veya dolaylı verilebilir. Kurutucuların en önemli tipleri, döner tamburlu kurutucular ve akışkan yatak kurutuculardır. Kurutma, farklı sıcaklıklarda uygulanabilirse de 300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, dioksin ve furan bileşiklerinin oluşumu kontrol edilmelidir. Kuru madde miktarı %35-90'a kadar yükseltilebilir. Kısmi ısıtma ile de kuru madde miktarının %30–45'e çıkartarak çamurun yanabilmesi mümkün olmaktadır. Kurutma ile nem seviyesi

azaltılarak bakteriyolojik faaliyet tamamen engellenir. Enerji ihtiyacı giderilen su hacmi karşılaştırıldığında susuzlaştırmadan daha fazladır (Aydın 2004).

Çamur işleme ve bertaraf metotları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Çamur işleme ve bertaraf metotları (Metcalf ve Eddy 1991)

İşletme, proses ve arıtma metotları	Fonksiyonları
Birincil İşlemler	
Çamur öğütme	Boyut küçültme
Kum ayırma	Kum ayırma
Çamur karıştırma	Karıştırma
Çamur saklama	Depolama-saklama
Yoğunlaştırıcı	
Graviteli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Flotasyonlu yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Santrifüjlü yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Bantlı yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Stabilizasyon	
Kireç stabilizasyonu	Stabilizasyon
Isıl işlem	Stabilizasyon
Havasız çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Havalı çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Kompostlama	Stabilizasyon, ürün giderimi
Şartlandırma	
Kimyasal şartlandırma	Çamur şartlandırma
Termal (ısı)	Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon	
Pastörizasyon	Dezenfeksiyon
Uzun-süreli saklama	Dezenfeksiyon
Susuzlaştırma	
Vakum filtre	Hacim azaltma
Santrifüj	Hacim azaltma
Bant filtre	Hacim azaltma
Pres filtre	Hacim azaltma
Çamur kurutma yatakları	Hacim azaltma
Çamur lagünleri	Saklama ve Hacim azaltma

Çizelge 2.2. (devamı)

Isıl kurutma	
Flaş kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Sprey kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Döner tamburlu kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Çok hücreli kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Çoklu etkili buharlaştırıcı	Kütle ve hacim azaltma
Termal Azaltma	
Çok hücreli yakıcı	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı
Akışkan yataklı yakıcı	Hacim azaltma
Katı atıklarla birlikte yakma	Hacim azaltma
Islak-hava oksidasyonu	Stabilizasyon, hacim azaltma
Derin şaft reaktörü	Stabilizasyon, hacim azaltma
Nihai bertaraf	
Arazide arıtma	Son uzaklaştırma
Dağıtım ve pazarlama	Faydalı kullanım
Kimyasal sabitleme	Faydalı kullanım, son uzaklaştırma
Düzenli depolama	Son uzaklaştırma
Lagünlerde biriktirme	Hacim azaltma, son uzaklaştırma

3. BİYOGAZ

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik ortamda değişik grup bakteriler tarafından parçalanması sırasında son ürün olarak açığa çıkan ve bileşimi, organik maddeleri oluşturan bileşiklere göre değişen yanıcı bir gaz karışımıdır (Yılmaz ve Atalay 2000).

Biyogaz, içerisinde % 60-70 metan, % 30-40 karbondioksit, % 0-2 hidrojen sülfür ve az miktarlarda azot, su buharı, hidrojen gazı bulunan, havadan hafif, renksiz, kokusuz, parlak mavi alevle yanan bir gaz karışımıdır. Biyogaz düşük sıcaklıklarda (-164°C) sıvılaştırılabilir (<http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/biyogaz>, 2007).

3.1. Biyogazın Tarihi

Biyogazla ilgili ilk araştırmalar 17. yüzyılda Jan Baptista van Helmont tarafından, organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanmasıyla yanabilen bir gazın çıktığının belirlenmesiyle başlamıştır (Van Brakel 1980).

Biyogazın uygulamalı ve ticari kullanımı 1840'ta Yeni Zelanda'nın Otowa kentinde ve 1859'da Hindistan'ın Bombay kentinde bir koloni tarafından biyogaz üreteçlerinin kurulması ile başlamıştır. 1895'te İngiltere'nin Exeter kentinde özel kanalizasyon sistemleriyle üretilen biyogaz sokak lambalarında aydınlatma amacıyla kullanılmıştır (Ferry 1993, Meynell 1976).

1985'ten itibaren biyokütle enerjisi, enerji planlamalarında önemli bir potansiyel olmuş ve anaerobik arıtımla ilgili çalışmalar, projeler ve programlar gelişmeye başlamıştır. 1990'lardan sonra, gelişmiş ülkeler teknolojik gelişmelere paralel olarak, merkezi biyogaz üretim tesisleri kurarak, enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü bu tesislerden karşılamaktadırlar. Dünyada, 1990–2000 yılları arasında, 47'si Almanya'da, 22'si Danimarka'da ve Avusturya, İsveç ve İsviçre'de 10'ar adet olmak üzere toplam 135 adet merkezi biyogaz üretim tesisi kurulmuş ve işletilmektedir. Bu tesislerde yılda 11.472 Mton evsel ve endüstriyel organik atıklar ile hayvan gübreleri anaerobik olarak arıtılmaktadır (Lusk ve Moser 1996).

Anaerobik biyoteknolojinin Türkiye'deki ilk endüstriyel uygulamaları 1980'lerde ortaya çıkmaya başlamıştır (Türker 2003, 2008).

3.2. Dünya’da Biyogaz Durumu

Dünyada biyogaz kullanımı ile ilgili ilk çalışmaların 1630 yılında Jan Baptita Von Helmont ve 1667 de Shirley adlı araştırmacılar tarafından gerçekleştirildiği bildirilmiştir. İlk biyogaz tesisi 1859 yılında Hindistan’da, daha sonra 1895 yılında İngiltere’de kurulmuştur. 1930 yılında Buswell ve arkadaşları metan bakterilerini tanımlamış ve biyogaz üretiminin bu bakterilerle gerçekleştiğini bildirmişlerdir. İkinci dünya savaşından sonra Avrupa’da anaerobik fermantasyon uygulamaları artmıştır. Günümüzde yaygın olarak; başta Çin olmak üzere uzak doğu ülkelerinde, Güneydoğu Asya ve Kuzey Amerika da, ABD, Almanya, İsveç, Danimarka, Japonya ve Hindistan gibi ülkelerde anaerobik biyoteknoloji kullanılmaktadır. Danimarka, Almanya ve İsveç gibi ülkelerde daha çok merkezi ve çiftlik tipi üniteler kurulmuşken, Latin Amerika, Hindistan, Çin, Nepal gibi ülkelerde ise çok sayıda 3-10 m³ hacimli biyogaz tesisleri bulunmaktadır (Meyer-Aurich vd. 2012, Türker 2008).

Avrupa birliği komisyonu 2001 yılında yayınladığı direktiflerde, üye ülkelerin tükettikleri toplam enerjinin belirli oranının yenilenebilir enerjiden oluşmasını istemektedir. Bu oran 2010 yılında %12,5; 2020 yılında %20; 2050 yılında %50 olarak belirlenmiştir (Yıldız vd. 2009).

Çevre sorunlarının çok büyük boyutlara ulaştığı günümüzde ise yatırım ve işletme maliyetlerinde sağladığı büyük üstünlüklerden dolayı, dünyanın birçok bölgesinde anaerobik biyoteknolojinin katı-sıvı bütün organik maddelerin gideriminde kullanımı giderek artmaktadır. Yoksul ülkelerde yerel olanaklarla yapılan ilkel üretim girişimlerinin yanında, zengin ülkelerde biyogaz teknolojisi sanayi anlamda da kullanılmaktadır (Demirer vd. 2001).

Almanya, biyogaz teknolojisini en etkin kullanan ülkelerden biridir. 1999’da 850 olan biyogaz tesisi sayısı, hükümetin uyguladığı teşvikler sayesinde, hızla artmış 2006’da 3.500’e çıkmış bugün ise 4.000 civarında biyogaz tesisi mevcuttur. Bu tesislerin çoğu çıkan biyogazı arıttıktan sonra elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Almanya, 2020 yılına kadar biyogaz tesisi sayısını 43.000’e çıkarmayı planlamaktadır. Rusya’da 70’den fazla, Kazakistan’da 30 civarında biyogaz tesisi mevcuttur. Ayrıca Rusya’da küçük hacimli (3–10 m³) ev tipi biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. İngiltere’de 75 civarında biyogaz

tesisi mevcuttur. Gelişmiş ülkelerde tasarlanan biyogaz tesislerinin hacimleri gittikçe artmaktadır (Lukehurst 2007, Deublein ve Steinhauser 2008).

3.3. Türkiye’de Biyogaz Durumu

Türkiye’de biyogaz ile ilgili ilk endüstriyel çalışmalar 1960’lı yıllarda Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü ile Eskişehir bölge Toprak Su Araştırma Enstitüsünde yapılmıştır (Koçer vd. 2006).

1980-86 yılları arasında Ankara Merkez Toprak Su Araştırma Enstitüsünde (Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü) sığır, koyun, tavuk gübrelerinden biyogaz üretimi ile ilgili çeşitli çalışmalara devam edilmiştir (Bilgin 2003).

Günümüzde Türkiye’de T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yönetimi altında bulunan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü kurulmuştur (Anonim 2013).

Türkiye’de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır (Eniş 2002).

Türkiye potansiyel değerini farklı kaynak tiplerine göre belirlemektedir. Biyokütle kaynakları olarak; kentsel katı atık, tarımsal ürün, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamuru kaynak tipleri gaz kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Özcan vd. 2011).

3.4. Biyogazın Özellikleri

Biyogaz çok amaçlı olarak kullanılabilen, temiz bir enerji kaynağıdır. Başlıca hayvan dışkıları olmak üzere özel olarak yetiştirilen bazı bitkilerden, tarımsal atıklardan ve her türlü organik atıktan uygun bakteriler ile anaerobik arıtım sonunda elde edilen ve bileşiminde metan ve karbondioksit bulunan yanıcı bir gaz karışımıdır. Atık içindeki organik madde; metan, karbondioksit, hidrojen sülfür, azot, hidrojen ve amonyaka dönüşür (Öztürk, E. 2007).

Biyogazın hacimsel % bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyogazın hacimsel % bileşimi (Türker 2008, Yadava ve Hesse 1981, U.S. Department of Energy)

Bileşenler	Hacimsel % Bileşimi
Metan (CH ₄)	50-80
Karbondiyoksit (CO ₂)	20-50
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	0,0005-0,0002
Amonyak (NH ₃)	0,0005-0,0001
Azot (N ₂)	0-3
Hidrojen (H ₂)	0-5
Su (H ₂ O)	0-1

Kalori değeri açısından içindeki bileşenlere bağlı olmakla birlikte bir metreküp biyogaz 5.500-6.000 kcal enerjiye sahiptir (Demirci ve Türkavcı 2001).

1 m³ biyogazın enerji eşdeğerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 1 m³ biyogazın enerji eşdeğerleri (Yılmaz ve Atalay 2004)

Motorin	0,66 litre
Benzin	0,75 litre
Elektrik	4,70 kWh
Gaz Yağı	0,62 litre
Odun Kömürü	1,46 kg
Odun	3,47 kg
Bütan Gazı	0,43 kg

Çizelge 3.3’te çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları verilmiştir (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü 2003).

Çizelge 3.3. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları

Kaynak	Biyogaz Verimi (Litre/kg)	Metan Oranı (Hac. %'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 Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atıksu Çamuru	310-800	65-80

3.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Bazı Atıklar

Biyogaz üretiminde kullanılan organik atıklar (ham madde) 3 ana başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar; hayvansal atıklar (çiftlik hayvan gübreleri, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sonucu oluşan atıklar), bitkisel atıklar (çeşitli bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında oluşan atıklar) ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar (kanalizasyon, kâğıt-gıda sanayi atıkları, ev atıkları)'dır (Koçer vd. 2006, Meyer-Aurich vd. 2012).

▪ Hayvansal Atıklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır (www.solarenerji.com).

▪ Bitkisel Atıklar

Tahıl sapları, tahıl ve baklagil atıkları, sera bitki atıkları, bitki budama atıkları, ağaç atıkları (yapraklar, dallar vs.), her türlü meyve - sebze atıkları, şeker kamışı küspesi,

zeytin küspesi, sert kabuklu meyve (badem, ceviz, antep fıstığı, fındık) atıkları. Tarımsal sanayide kullanılan bitkisel ürün işleme atıkları (üzüm, turunçgil, çay işleme atıkları vb.), bitki hasat atıkları vs. bunlar bitkisel atıklara örnek olarak verilebilir.

▪ Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atıksular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır (www.solarenerji.com).

Kullanılan hammaddeye bağlı olarak, üretilen biyogaz miktarı değışiklik göstermektedir. Yapılan bir araştırmada biyogaz reaktöründe kullanılan hammadde yüksek miktarda yağ içeriyorsa, metan gazı üretiminin daha fazla şekillendiğı bildirilmiştir (Berglund ve Börjesson 2006).

3.6. Biyogazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması (Türker 2008)

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim (hacim %'si)	95-98	55-65
Mol ağırlığı (kg/mol)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl değer (MJ/m ³)	36,14	21,48
Maksimum Tutuşma Hızı (m/sn)	0,39	0,25

1 m³ biyogaz, dört kişilik bir ailenin günlük yemeklerini pişirebilir. 2,43 m³ biyogaz ile 6 kişilik bir ailenin bir günlük pişirme ve aydınlatma ihtiyaçları karşılanabilmektedir (Demir 1993).

Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması (Yıldız Teknik Üniversitesi 2004)

Yakıt türü	Birim enerji değeri (MJ)	Yanma verimi (%)	Kullanılabilir enerji (MJ)	Biyogaz enerji eşdeğeri
Biyogaz (m ³)	20	60	11,8	1
Elektrik (kWh)	3,6	70	2,5	4,7
Gazyağı (lt)	38	50	19	0,62
Bütan (kg)	46	60	27,3	0,43

3.7. Biyogazın Kullanım Alanları

▪ Biyogazın Isıtmada Kullanımı

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan 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 kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir (Bilgin 2003). Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Biyogazın ısıtmada kullanım şekilleri (Bilgin 2003)

▪ **Biyogazın Aydınlatmada Kullanımı**

Biyogaz hem doğrudan yanma, hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. 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 (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü 2008).

Şekil 3.2’de biyogaz ile çalışan aydınlatıcı görülmektedir.



Şekil 3.2. Biyogaz ile çalışan aydınlatıcı (Bilgin 2003)

▪ **Biyogazın Motorlarda Kullanımı**

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir (Bilgin 2003).

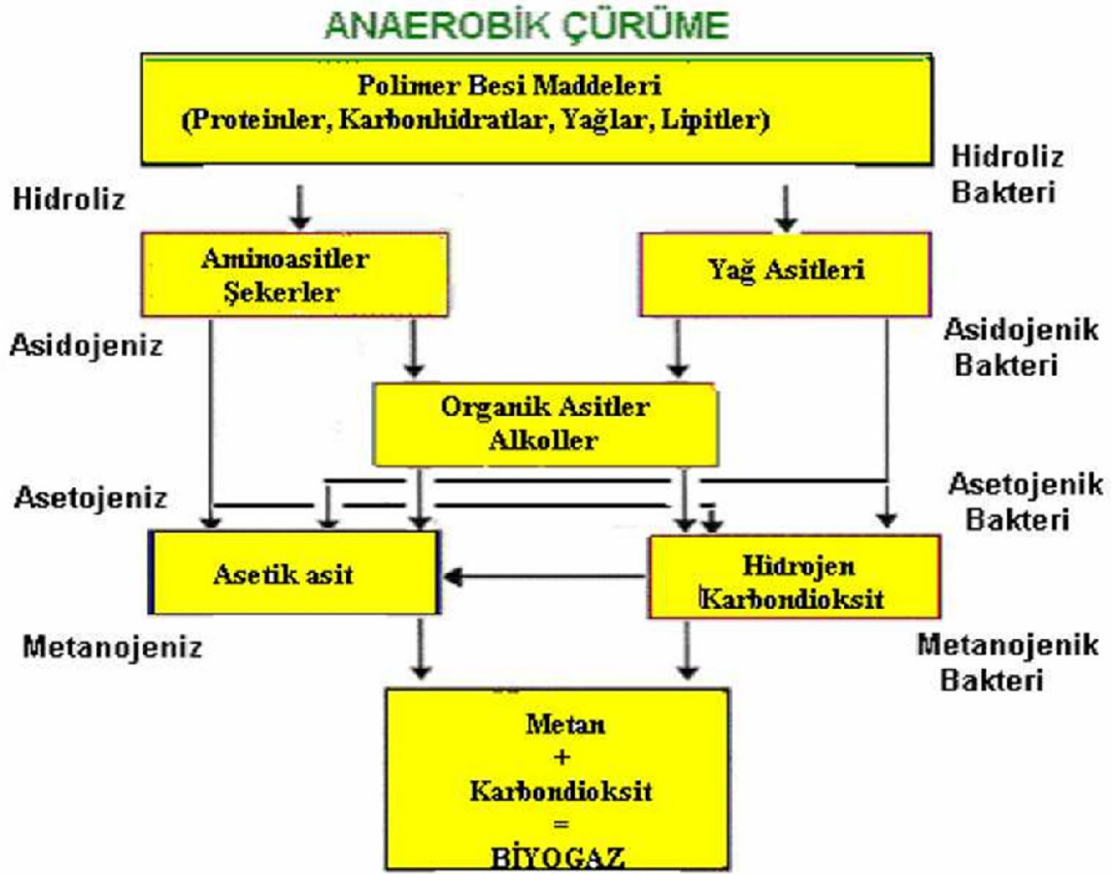
Metan gazında tam yanmanın sağlanması ve ısıtma işleminde kullanılması için hava ile 1/7 oranında karıştırılması gerekmektedir. Dünyada yakıt olarak biyogaz ile çalışan çeşitli araçlar üretilmiştir ve benzin ile çalışan çeşitli motorlarda metan gazı doğrudan ya da içeriği saflaştırılarak kullanılabilir (Ekinci 2007, Şerit vd. 2009).

Üretilen gazın doğalgaza karıştırılmasıyla mevcut maliyetin azaltılması da sağlanabilmekte ve yakıt pillerinin kullanımında, kimyasal maddelerin üretimi sırasında biyogaz kullanılabilir (Çanka Kılıç 2011).

3.8. Biyogaz Üretim Aşamaları

Anaerobik parçalanma farklı mikroorganizma gruplarının rol aldığı oldukça karmaşık bir biyokimyasal işlemdir. Oksijene karşı hassas olan veya oksijen varlığında tamamen inhibe olan bu bakteri grupları organik maddeleri biyolojik yollarla CH₄ ve CO₂'ye dönüştürür (Tuluk 2007).

Kompleks organik maddelerin havasız ayrışması en genel halde hidroliz aşaması, asit üretimi aşaması ve metan üretimi olmak üzere üç aşamalı bir işlem halinde ele alınabilir (Şekil 3.3.) (Gül 2006).

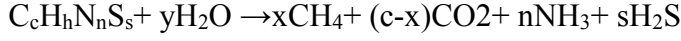


Şekil 3.3. Anaerobik çürüme kademeleri (Öztürk, M. 2005)

İlk aşamada yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddeler bakterilerin hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha düşük molekül ağırlıklı organik maddelere dönüşür. Asit üretimi aşamasında ise düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitlerine ve ardından da asetik asite dönüştürülür. Son aşamada ise asit üretimi aşamasında üretilen asetik asitin

parçalanmasıyla veya CO₂ ve H₂ senteziyle metan üretimi gerçekleşir (Kossmann ve Pönitz 1999).

Organik maddeler anaerobik şartlarda çürüdüğü zaman reaksiyon teorik olarak (Öztürk, M. 2005);



şeklinde gerçekleşir.

3.8.1. Fermentasyon ve hidroliz

İlk aşamada fermentatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları; organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları (C₆H₁₀O₅)_n, proteinleri ve yağları parçalayarak şekere, aminoasitlere, yağ asitlerine ve büyük bir kısmını da çözünebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilen yavaş bir süreçtir (Gökçay vd. 2002).

Uzun zincirli polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptitlere ve aminoasitlere dönüşürler (Öztürk, M. 2005).

Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan önemli oranda yağ ve diğer yavaş hidrolize olan maddeler ihtiva eden atıkların havasız arıtımında hidroliz hız sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir (Kennedy ve Van den Berg 1982).

Bazı selülozlu atıkların havasız arıtımında da hidroliz sınırlayıcı rol oynar. Lignin de oldukça karmaşık bir maddedir ve rastgele moleküler yapısı dolayısı ile anaerobik şartlarda hiç hidrolize olmaz veya reaksiyon hızı çok düşük olur (Öztürk, M. 2005).

3.8.2. Asit oluşumu

Asit oluşturunca bakteriler, çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen ve karbondioksit gibi daha küçük yapıli maddelere dönüştürürler. Bu bakteriler anaerobiktir. Asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Bakteriler çözeltideki bağıli haldeki oksijeni kullanarak sağlarlar. Asit oluşturunca bakteriler metan oluşturunca bakteriler için anaerobik şartlar oluşturunca. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri organik bileşikleri daha düşük molekülü

alkollere, organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve esas miktarda metana dönüştürürler. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde yoğunlaşmasındaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olur. Bu da metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar (Öztürk, M. 2005).

Asit üretimi safhasında hidroliz ürünleri asetik asit veya reaktördeki işletme şartlarının kararlı olmaması halinde, propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürülür. Asit üretimi safhasında iki farklı bakteri grubu görev yapmaktadır. Birinci grup bakteriler (fermentasyon veya asidojenik bakteriler), organik polimerlerin hidrolizinde ve müteakiben de açığa çıkan oligomen ve monomerler gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri) karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Diğer bir tür de belli şartlarda H₂ üretir (Gül 2006).

Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan aminoasidi, şekeri ve uçucu yağ asitlerini organik asitlere dönüştüren asetojen (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girer. Bu aşamada en çok asetik asit oluşmakla birlikte az miktarlarda da formik, valerik, butirik asit oluşmaktadır (Gökçay vd. 2002).

3.8.3. Metan oluşumu

Anaerobik bozunmanın son aşamasında da; metan oluşturan bakteri grupları (metanojenler) devreye girmektedir. Metan bakterilerinin bir kısmı CO₂ ve H₂ kullanarak CH₄ ve H₂O açığa çıkarırlarken, başka bir grup ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadırlar (Öztürk, İ. 1999).

Metan oluşturuucu bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak ve hidrojen ile karbondioksit sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Anaerobik koşullarda üretilen metanın % 70'i ise asetik asitin parçalanmasından ve yaklaşık % 30'u ise hidrojen gazı ile karbondioksit gazından oluşmaktadır. Tüm çözünen organik bileşikler ve uçucu organik asitler biyogaza dönüşmemektedir. Bazı organik maddeler arıtılmadan sistemden atılabilir. Metan oluşturuucu bakterilerin kullanılabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlıdır. Bunlar; asetik asit, hidrojen ve tek karbonlu bileşiklerdir (Öztürk, M. 2005).

Metan gazının oluşum basamağı anaerobik bozunumun hızını denetleyen basamağı oluşturur; çünkü bu basamak asetik asit oluşumuna göre çok daha yavaş gerçekleşir. Bu nedenle reaktörde alıkoyulma süresi metan gazının oluşum basamağına göre belirlenir. Aynı zamanda metanojenik bakteriler asetik asit oluşum basamağındaki ürünleri hammadde olarak kullandığı için iki basamağın dengeli sürmesi gerekmektedir (Dönmez 1981).

Ortamda yeterli miktarda H_2 , CO_2 bulunduğu ve H_2 'nin kısmi basıncı da uygun olduğu sürece hidrojenotrofik metanojenlerle CH_4 üretimi devam eder. Ancak metan üretimi adımının her zaman hız sınırlayıcı olması söz konusu değildir, bazen hidroliz safhası daha kritik olabilir (Öztürk, İ.1999, Gökçay vd. 2001).

3.9. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Organik atıklardan oksijensiz ortamda biyogaz üretim sürecinde birçok faktör biyogaz verimini etkilemektedir. Bunlar; C/N oranı, Kuru madde miktarı (KMM), Uçucu organik madde miktarı (UOM), Hidrolik bekletme süresi (HBS), Organik yükleme hızı (OYH) Toksik maddeler, Sıcaklık, pH, Alkalinite gibi faktörlerdir (Grady vd. 1999).

Başarılı işletmeye alma aşaması ve uygun işletilme ile anaerobik sistemler mikrobiyolojik olarak dengeye gelir ve istikrarlı verimler elde edilir. Bu dengenin kurulması öncelikle uygun aşının kullanılmasıyla olur. Daha sonra, işletmeye alma süresince organik asit oluşumunun ve pH'nın sürekli ölçülmesi gereklidir (Rittmann ve McCarty 2001).

▪ Karbon/Azot (C/N) Oranı

Reaktör içerisinde karbon/azot oranı da metan gazı oluşumunda etkilidir. Karbon, biyogaz oluşumunda, azot ise anaerobik bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidir (İlkiliç ve Deviren 2011).

Hayvan gübresi kullanan reaktörlerde C/N oranı hayvanın türüne göre değişmektedir. Genelde bu değerin 15/1-30/1 arasında (yaklaşık ortalama değer sığır gübresinde 18, koyunda 22, kümes hayvanlarında 14, at gübresinde 15, güvercin gübresinde 25) olması istenmektedir (Öztürk, M. 2005).

Hidroliz ve asitojenik bakterilerle reaksiyon aşamasında bu değerin 10-45, metan gazı oluşumu aşamasında ise 20-30 olması gerektiği bildirilmiştir (Guo Guo 2010).

▪ Hidrolik Bekletme Süresi

Hidrolik bekletme süresi, sindirici içinde, organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir. Sindirici içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekletme süresi içinde besi maddelerinin %70 -80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekletme süresi 20 ile 120 gün arasında değişir. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir. HBS yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Sindirim tam olarak gerçekleşmez (Öztürk, İ. 2005).

Hidrolik bekletme süresi, kullanılan besin maddelerinin %70-80'inin yıkımlanması için geçen süredir. Bu süre tropikal bölgelerde 40-50 gün iken, Çin'in soğuk bölgelerinde 100 güne kadar uzayabilmektedir. Hidrolik bekletme süresi; mezofilik şartlarda sıvı sığır gübresinde 12-30 gün, sıvı domuz gübresinde 10-25 gün, sıvı tavuk gübresinde 20-40 gün arasında değişmektedir. Sürenin yetersiz olması durumunda, fermentasyonun yetersiz şekillendiği ve biyogaz üretiminin azaldığı bildirilmiştir (Öztürk, M. 2005).

Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekletme süresi kısalmaktadır. Bekletme süresi psikofilik sıcaklıkta uzun (100-300 gün), mezofilik sıcaklıkta orta (20-40 gün), termofilik sıcaklıkta ise daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir (İlkiliç ve Deviren 2011, Öztürk, M. 2005).

▪ Organik Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı, biyoreaktöre günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak ifade edilir. Anaerobik arıtma süresinde mümkünse optimum organik

yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda biyoreaktör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'nın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu; gaz üretim hızını düşürür, hatta durdurabilir. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer (Öztürk M. 2005).

▪ Toksik Maddeler

Atık içerisinde mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanların bulunması mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek toksik etki oluşturmaktadırlar. Düşük konsantrasyonda bakır, krom, nikel, çinko, kurşun gibi ağır metaller bakteri gelişimini olumlu etkilerken, yüksek konsantrasyonlarda toksik etki oluşturulabilmektedir. Sabun gibi deterjan ve dezenfektanların da metan üretimini düşürdükleri bildirilmiştir (Öztürk M. 2005).

▪ Sıcaklık

Biyokimyasal reaksiyonda metan üretim hızı, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Biyogaz üretimi için psikofilik sıcaklıkta (12-20°C), mezofilik sıcaklıkta (20-40°C) ve termofilik sıcaklıkta (40-65°C) çalışan reaktörler bulunmaktadır. Termofilik şartlarda tutulan organik atıklarda, gübreleme işleminde önemli problem olan zararlı ot tohumlarının yok edilmesi, mezofilik şartlara göre daha yüksek oranda gerçekleşmektedir (İlkiliç ve Deviren 2011, Pöschl vd. 2010).

Termofilik şartlarda çalışan reaktörlerde, mezofiliklere göre ısıtma enerjisi fazla, reaktör hacmi daha küçüktür. Bu nedenle en çok mezofilik sıcaklık aralığı (35-37°C) tercih edilmektedir (İlkiliç ve Deviren 2011, Öztürk M. 2005, Şerit vd. 2009).

Isıtmalı olmayan tesislerde özellikle kış aylarında sıcaklığın bu derecelere ulaşması mümkün olmaz. Sıcaklığın 10 derece altına düşmesi üretimi durdurabilmektedir (Bilgin 2003).

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık şartlarında aktif değildirler. Biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizmaların büyümesi sıcaklık artışı ile artar. Metan oluşturuıcı bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar (Öztürk M. 2005).

Mikroorganizmalar belli sıcaklık aralığında optimum büyüme sağlarlar. Biyokimyasal reaksiyonla metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar. Termofilik sıcaklık şartlarında mezofilik sıcaklık şartlarına göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre daha fazladır. Dolayısıyla reaktör hacmi mezofilik şartlara göre daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha yüksek organik yükleme yapılabilir. Ancak biyoreaktörü termofilik şartlarda çalıştırmak için ilave ısıya ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarı sıcaklık artışı ile arttığı unutulmamalıdır. Bu da biyoreaktör performansını olumsuz yönde etkileyebilir (Öztürk M. 2005).

▪ pH

Biyogaz üretiminde pH derecesinin, reaksiyon hızı ve diğer parametrelere önemli bir etkisi vardır. Anaerobik çürüme için ideal pH 6-8 arasındadır. Asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğaldıklarından asit üretimi sistemde artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilir. Bu sebeple sistemin pH'sı sürekli kontrol altında tutulmalıdır (Onat ve Topaloğlu 2004).

▪ Karıştırma

Atık içerisindeki maddelerin birbirleri ile temas ederek reaksiyona girebilmeleri için karıştırılmaları gerekmektedir. Karıştırma, bakteri popülasyonu ile taze atığın homojen olarak birleşip reaksiyona girmesi, çökeltme ile fermentörde ölü bölgenin oluşmasının önlenmesi, fermentördeki atığın sıcaklık dağılımının eşitlenmesi sağlanmaktadır. Karışımın yavaş yapılması hızlı ve verimli fermentasyon için gereklidir. En uygun karıştırma sıklığı atığın dört saatte bir karıştırılmasıdır (İlkiliç ve Deviren 2011).

Ayrıca biyogaz üretiminde hammadde büyüklüğü önemli olduğu için büyük parçacıklar küçültülüp kütle aktarım dirençleri azaltılmaktadır (Walla ve Schneeberger 2008).

Reaktör içindeki gübre ile su karışımından meydana gelen sıvının sürekli veya belli aralıklarla karıştırılması gereklidir. Karıştırma, oluşan gazın sıvı üzerinde meydana gelen köpüğü geçip yüzeye çıkmasını sağladığı gibi sıvıdaki malzemelerin dibe çökmesini önlemekte ve bakterilerin organik maddelerle homojen bir şekilde temas etmesini sağlamaktadır. Bunun sonucunda ise gaz üretimi % 10-15 artabilmektedir (Onat ve Topaloğlu 2004, Curi ve Albürek 1989).

3.10. Biyogaz Üretiminin Faydaları

Biyogaz hava kirliliği emisyonları bazında, diğer yakıtlara göre çok temiz bir yakıttır. Biyogazın yakılması sonucu ortaya çıkan NO_x ve SO₂ emisyonları herhangi bir arıtım olmaksızın A.B.'deki emisyon standartlarını sağlamaktadır (Çizelge 3.6) (Demirer 2008).

Çizelge 3.6. Bir otobüs farklı yakıtlarla işletildiğinde oluşan emisyonların (g/km) karşılaştırılması (Öztürk B. ve Okumuş 2008)

Yakıt	CO	HC	NO _x	CO ₂	Partikül madde
Mazot	0,2	0,4	9,7	1053	0,1
Doğalgaz	0,4	0,6	1,1	524	0,022
Biyogaz	0,08	0,35	5,4	223	0,015

3.11. Anaerobik Arıtımın Aerobik Arıtıma Göre Üstünlükleri ve Sakıncaları

Anaerobik arıtımın birçok açıdan yararı vardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Amon ve ark 2007);

- Ucuz, yenilenebilir, çevre dostu enerji ve gübre kaynağıdır.
- Hastalık yapıcı organizmaların (patojenler), kurt yumurtalarının ve sineklerin yok olması için gerekli koşulların gelişmesi sağlanır.
- Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini yitirir.
- Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinin kokusu duyulmayacak ölçüde giderilmektedir.

- Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularına zarar verecek etkenlerin büyük ölçüde azalması sağlanır.
- Hem gübre hem de enerji üretimi yapılabilmesiyle çiftçiye ek gelir kaynağı olur. Böylece hayvan çiftçiliğı ve tarım kazançları artar.

Anaerobik Arıtımın Sakıncaları (Amon ve ark. 2007);

- Mikroorganizmalar ile çalışıldığı için sıcaklık ve pH vb. çevre koşullarındaki değişimlerden çok çabuk etkilenirler. Düşük sıcaklıklarda tepkime hızı azalır ve bu da verimde düşüşe neden olur.
- Mikroorganizmaların zehirli maddelere karşı duyarlı olması nedeniyle ön işlem yapılması gerekir.
- Biyogaz üretimi sonucunda az miktarda da olsa oluşan hidrojen sülfür çürük yumurta gibi kokar bu da koku problemi yaratır. Hidrojen sülfürün tutulmasıyla bu problemin giderilmesi olasıdır.

3.12. Anaerobik Reaktör Çeşitleri

▪ Tam Karıştırmalı Reaktör

Sürekli karıştırmalı tank reaktör atıksu arıtma ünitelerinde genel olarak kullanılan anaerobik sindirim reaktörüdür. Reaktöre besleme verilir ve eşit hacimde atık reaktörden dışarı atılır. Bu reaktörde katı ve sıvı alıkoyulma süreleri eşittir. Yükleme hızı arttıkça alıkoyulma süresi düşer, reaksiyona uğramamış katılar ve mikroorganizmalar reaktörden dışarı çıkar. Başlangıçtaki hidroliz reaksiyonlarında azalma görülür ve yavaş büyüyen bakteriler de kendilerinden yararlanılmadan atılmış olur. Yükleme hızının artması bakteri nüfusunda dengesizliğe, uçucu asitlerin birikmesine ve reaktörün durmasına yol açabilir. Bu reaktörün başka bir sakıncası ise tam karıştırmanın büyük reaktörlerde zor gerçekleşmesidir (Deniz 1987).

▪ Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri

Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktöründe atıksu süspansiyon halinde oldukça yüksek aktiviteye sahip genişleyen bir yatağın (çamur yatağı) içinden geçerek

bozunur. Reaktörde bulunan biyokütle çökebilir yapıya sahip (1-5 mm) flok ya da granül şeklinde bulunur (Monteggeia 1991).

▪ İki Fazlı Reaktör

Anaerobik arıtmanın gelişmiş bir şekli olan iki fazlı arıtma tasarımı: sahip iki farklı mikoorganizma grubunun birbirinden farklı aktivitelere olduğu görüşünden kaynaklanmaktadır. Asidifikasyon ve hidroliz ilk fazda büyük bir hızla oluşur buna karşılık metanojenik aktivite hızı daha düşüktür. Bu nedenle yüksek hızla çalıştırılan bu sistemlerde metanojenesi engellenir. Prosesin ikinci kısmında metanojenler asetojenlere paralel çalışır. Bu ikinci grup bakteri daha yavaş büyüme ve bozunma hızlarına sahiptir, buna karşın değişen çevre koşullarına karşı daha az toleransa sahiptir (Verstrate vd. 1981).

Genel olarak uygulamalarında; metanojenik ve asidojenik fazların birbirinden ayrılması ile ekonomiklik, arıtma verimi, enerji üretimi ve daha yüksek stabilite sağlar. Çeşitli çalışma modları ve reaktör tasarımları, iki fazlı arıtma kavramı çatısı sınırlarında düşünülebilir (Ghosh 1987).

▪ Havasız Temas Reaktörü

Havasız aktif çamur sistemi adı ile bilinen bu sürecin klasik tam karıştırmalı reaktörden tek farkı çöktürme tankı ve geri devir düzeni ilave edilmiş olmasıdır. Bu suretle çamur yaşı artırılarak sistemin arıtma veriminin yükseltilmesi ve hacminin azaltılması sağlanmaktadır. Bu sistemin uygulamadaki en önemli sorunu anaerobik çamurların çöktürülmesindeki zorluklardır. Çöktürme verimini artırmak için vakumlu gaz ayırıcı, plakalı çökelticiler gibi sistemler kullanılmaktadır. Buna rağmen sistemdeki askıda katı madde cinsinden çamur derişiminin 12.000 mg/L'yi aşması halinde çökelmede ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Öztürk İ, 1999).

▪ **Anaerobik Havuz**

Bu reaktörler üzerleri gaz sızdırmaz örtülerle kapatılmış basit havuzlardır. Besleme bir taraftan sağlanırken belli tepkime süresi sonunda artıklar diğer taraftan dışarı alınır. Bu tip reaktörler özellikle yaz-kış sıcaklık farkının düşük olduğu bölgelerde sıcaklık denetimine gerek olmadan normal ortam koşullarında kullanılabilirler. Bu yüzden kuruluş ve işletme maliyeti düşüktür. Sistemin dezavantajları ise verimin dış ortam sıcaklık değişimine bağlı olarak mevsimsel değişmesi, gaz üretimlerinin düşük oluşu, karışmanın neredeyse hiç olmaması ve katıların dibe çökerek verimi etkilemesi olarak sıralanabilir (Öncel vd. 2003).

▪ **Hibrit Biyoreaktörler**

Hibrit biyoreaktörler farklı tasarımların üstünlüklerini yapılarında toplayarak en yüksek verim eldesini ve sorunların giderilmesini sağlamak amacıyla tasarlanan sistemlerdir. Örneğin yukarı akışlı anaerobik biyoreaktörler ile anaerobik filtre biyoreaktörleri veya yatay akışlı engelli biyoreaktörlerin özelliklerini bir biyoreaktörde birleştiren hibrit sistemler üzerinde çalışılmaktadır (Öncel vd. 2003).

▪ **Anaerobik Kontakt Prosesler**

Anaerobik kontakt proses; çamur geri devir ünitesi, bir çökme tankı ve tam karışimli reaktörden oluşan anaerobik reaktördür. Sistemdeki çamur yaşı çamur geri devri ile hidrolik bekletme süresinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Bu yüzden çamur geri devri ile elde edilen daha uzun çamur yaşlarına bağlı olarak daha küçük reaktör hacmi ve daha kısa hidrolik bekletme süreleri kullanılarak yüksek arıtma verimleri elde edilebilir. Organik yükleme hızları $0,5-10 \text{ kgKOİ/m}^3\text{-gün}$ $0,5-5$ gün HBS aralığında reaktöre uygulanabilir (Lettinga ve Van Haandel 1994).

▪ Membranlı Anaerobik Reaktörler

1,7-8,0 kg KOİ/m³-gün kirlilik yüküne sahip atıksular için Güney Afrika'da örneklerine rastlanmaktadır. Ancak diğerlerine göre pahalı bir sistem olduğundan ve ultrafiltrasyon sistemi anaerobik mikroorganizmalara zarar verdiği için çok tercih edilen bir sistem değildir (Öztürk İ. 1999).



4. KAYNAK ÖZETLERİ

Zupancic vd., (2007) yaptıkları çalışmada; evsel atıksu arıtma tesisinden alınan çamurların mezofilik sürekli beslemeli anaerobik çürütücüdeki uçucu katı, toplam katı ve biyogaz üretim miktarlarını bir yıl boyunca gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda sistem çıkış suyundaki uçucu katıda artma görülmemiştir ve azalma hızı ise % 71 den % 81'e çıkmıştır. Biyogaz miktarında % 80 artış ve biyogaz üretim veriminin 320 Nm³/ ton UK'dan 670 Nm³/ ton UK'ya çıktığını bildirmişlerdir. Elektrik enerjisi üretiminin % 130 ve ısı enerjisi üretiminin % 55 arttığı görülmüştür.

Davidsson vd., (2006) yaptıkları çalışmada; atıksu çamuru 35 °C'de 40 gün çürütülmeden önce; enzim ekleme (% 6 oranında proteaz enzimi), ultrasonik arıtma ve hijyenizasyon (70 °C 1 saat) ön işlemlerini birlikte ve ayrı ayrı uygulamışlardır. Çalışmalarının sonucunda; en fazla metan gazı verimini (370 m³/ton UK) enzim eklenmiş ultrasonik ön işlemde elde etmişlerdir.

Mosquera-Losada vd., (2010) yaptıkları çalışmada; İspanya'nın Avrupa'da önemli miktarda evsel arıtma çamuru üreten bir ülke olduğu için farklı metotlar ile stabilize edilen çamurun tarımsal açıdan kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada çamur kalitesi iyi olmakla birlikte, özellikle Cd miktarı ile ilgili tarımsal alanlarda uygulamada sınırlamalar getirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Yılmaz, Yüceer ve Başbüyük (2008) yaptıkları çalışmada; kâğıt fabrikası atık sularının anaerobik filtrelerin performansını, 6–24 saat bekleme sürelerinde karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda, metan gazı üretiminin 6 saat bekleme süresinde en fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Park vd., (2005) yaptıkları çalışmada; atıksu arıtma çamurunun anaerobik ortamda parçalanmasında biyolojik ve termokimyasal ön işlemi geliştirmişlerdir. Termokimyasal ön işlemde; NaOH (7 gram/L) ilave ederek 121°C'de 30 dak. uygulamışlardır. Biyolojik ön işlemde; aerobik ve anaerobik bakterilerle (1.aşama: Cellulomonasuda ve C. Biazotea, 2.aşama; Clostridium butyricum) hidrolize etmişlerdir. Termokimyasal ön işlem uyguladıkları proseste metan gazı verimi 520 m³/ton VS, biyolojik ön işlem uygulanan proseste metan gazı verimi 430 m³/ton UK'dır. Ön işlem uygulanmayan proseste metan gazı verimi 290 m³/ton UK'dır.

Smith (1996) tarafından yapılan araştırmalar sonucu; çamur uygulanmış topraklarda yetiştirilen çeşitli sebze ve meyvelerce ağır metallerin alındığı ve bu metallerden bazılarının mobilitesinin yani bitki tarafından alınımını etkileyen transfer katsayılarının bilinmesinin, bitkilerdeki potansiyel toksik element (PTE) miktarlarının ortaya konulmasında önemli olduğu ifade edilmiştir. Kentsel atıksuların arıtımı ile oluşan arıtma çamurları bünyelerinde bir miktar PTE bulundurlar fakat endüstriyel atıksuların şehir kanalizasyon sistemine verilerek, ortak arıtımından elde edilen arıtma çamurları ise, yüksek miktarda PTE içerebilmektedirler.

Kim vd., (2003) yaptıkları çalışmada; aktif çamurun ürütölmesinden (37°C) önce; Isıl, kimyasal, ultrasonik ve termokimyasal ön işlemlerini uygulayarak metan gazı üretimini sırasıyla 3.390, 2.827, 3.007, 3.367 mL/L bulmuşlardır. Ön işlem uygulanmayan da ise 2.507 mL/L. Isıl ön işlemde, atık aktif çamuru otoklavda 121 °C’de 30 dakika bekletmişlerdir. Kimyasal ön işlemde ise NaOH, KOH, Mg(OH)₂ ve Ca(OH)₂ alkalileri eklenmiştir. Isıl-kimyasal ön işlemde ise 7 g/L NaOH eklenerek 121 °C’de 30 dakika otoklavda bekletmişlerdir.

Singh vd., (1984) yaptıkları sığır atıklarının günlük beslemeli anaerobik çürütücüde ürütölmesi çalışmasında, atıktaki katı içeriğinin artmasıyla optimum bekleme hızının da arttığını bildirmişlerdir.

Solera vd., 2002 yılında iki aşamalı anaerobik çürütücüde asetojenik reaktörde 4 ve 1,7 gün bekleme sürelerinde yaptıkları çalışmada 4 günlük bekleme süresinde toplam mikrobiyal popülasyonun daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kasapgil ve İnce 2000 yılında iki kademeli anaerobik arıtma sistemi kullanarak 34 hafta boyunca reaktördeki mikrobiyal popülasyonda meydana gelen değişimi izlemişlerdir. Yukarı akışlı havasız filtre reaktörün kullanıldığı bu çalışmada 7 kg/m³gün değerindeki organik yükleme hızıyla %90 KOİ giderimi ve 0,33 m³ CH₄/kgKOİ metan verimi elde edilmiştir (Ince, B.K. ve Ince,O 2000).

Jeong vd., (2005) yaptıkları çalışmada; organiklerin anaerobik arıtımında mikroorganizmaları en yüksek konsantrasyonda tutmak amacıyla kullanılabilecek organik ve inorganik polimerler araştırılmıştır. Çamur granüllerinin kendiliğinden oluşumu 6 ay sürmektedir. Ancak amurun granülleştirilmesi bu süreyi kısaltmak için iyi bir yöntemdir. Bunu sağlamak amacıyla evsel atıksuya organik ve inorganik hibrit polimerlerin katılmasıyla 5 dakika içerisinde boyutları 1-5 mm arasında değişen granüller

oluştugu görülmüştür. Oldukça büyük miktarda oluşan bu granüllerin çökme hızlarının da yüksek olduğu belirlenmiştir. YAÇYA reaktörlerin işletilmesinde kararlı bir çamur yatağı sağlandıktan sonra 18 kgKOİ/m³gün değerindeki organik yükleme hızı ile %90 KOİ giderme verimi sağlandığı görülmüştür (Jeong vd. 2005).

Borowski vd., (2007) yaptıkları çalışmada; evsel atık su çamurunun 35 ±1⁰C'de 60 gün anaerobik koşullarda çürütülmeden önce 55 ± 2 ⁰C'de farklı sürelerde (12, 24,36, 48 saat) aerobik ön işlem uygulamışlardır. Farklı sürelerde (12, 24,36, 48 saat) aerobik ön işlem uygulanan evsel atıksu çamurunda elde ettikleri biyogaz verimleri sırasıyla; 369, 441, 378 ve 320 m³/ ton UK'dır.

Türkmen (2004), kireçli bir toprağa farklı düzeylerde uygulanan kentsel arıtma çamurunun, arpa bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, arıtma çamuru uygulamalarının toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Cd, Ni, ve Pb miktarlarını arttırdığını, tanede N, P, Cu, Zn,Cd, Ni, Pb'nun ve Cu, Zn, Cd, Ni, Pb'nun biyolojik alınabilirliklerinin de arttığını, azot ve arıtma çamurunun birlikte uygulanmasıyla ise topraktan ekstrakte edilebilir Cd ve Pb'nun arttığını, verim ve bitki sapındaki Pb miktarının da önemli düzeylerde artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

Vavilin ve Angelidaki (2004), anaerobik parçalanmada farklı katı atıklar ve farklı karıştırma hızlarında yaptıkları çalışmada; organik yükleme hızı ve karıştırma hızının yüksek olması ile asidifikasyon sürecinin zarar gördüğünü bildirmişlerdir. Düşük karıştırma hızı da sistemin verimini düşürebilmektedir. Bununla birlikte yükleme hızı düşük olduğunda karıştırma hızının prosese önemli etkisi olmadığını belirtmişlerdir.

Mantovi vd., (2005) yaptıkları çalışmada; üç farklı bitkide artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının toprak ve bitkilere etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, uygulamaların toprağın organik madde, toplam azot ve yarıyışlı fosfor içeriklerini artırırken, toprak pH'ını düşürdüğünü ayrıca, buğday tanesinin N, P, Zn ve Cu; şeker pancarının N ve Cu; mısırın ise yalnızca Cu içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir.

Elango vd., (2007) yaptıkları çalışmada; domates atıklarıyla yapılan anaerobik proseste bekleme süresinin organik yükleme hızı ve sıcaklığa bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Tunç ve Ünlü (2005) yaptıkları çalışmada; Elazığ Kenti Atıksu Arıtma Tesisindeki kurutma yatakları çamurlarının ağır metal muhtevaları bakımından tarımda

kullanılabilirliği araştırmışlardır. Çamur kurutma yataklarında ve nihai toplama alanından alınan numunelerin ağır metal muhtevalarını, pH ve organik madde değerlerini tayin etmiş ve sonuçları Türkiye'deki Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ağır metal konsantrasyonları mg/kg kuru çamur cinsinden Fe 4.000 - 9.824,6; Zn 686,3-1.674,4; Mn 157,5-656,3; Cr 13,3-167,5; Cu 107,6-550; Ni 31,10-126,67; Pb 31,80-84,81; Co 0-15,07 ve Cd 1,57-6,36 aralığında bulunmuştur. Bu değerlerin Türkiye'deki Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (1991) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki (2001) standart değerlerin altında olduğu görülmüştür. pH ve organik madde değerleri sırasıyla 6,82-7,62 ve ağırlıkça %40-74 aralığında bulunmuştur.

5. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde A.İ.B.A.A.T.'nin genel tanıtımı, tesiste bulunan üniteler hakkında genel bilgiler ve tesisin proses akım şeması verilmiştir.

5.1. Materyal

5.1.1. Tesisin genel tanıtımı

Adıyaman Belediyesi resmi web sitesinden alınan bilgilere göre; A.İ.B.A.A.T. 07.06.2013 tarihli sözleşme ile finansman %85 AB hibesi, %6 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve %9 Belediye bütçesinin katkıları ile yapılmıştır. AAT ile birlikte yıllardır Atatürk Barajı'na deşarj edilen atıklar, arıtma işlemine tabi tutularak baraj göletinin kirlenmesinin önüne geçilmektedir. Tesisin ortalama hizmet süresi 2025 yılı olup, ilave kapasite artırımı inşaatlarıyla bu süre 2040 yılına aktarılacaktır. Tesisin günlük ortalama debisi 32.808 m³/gündür.

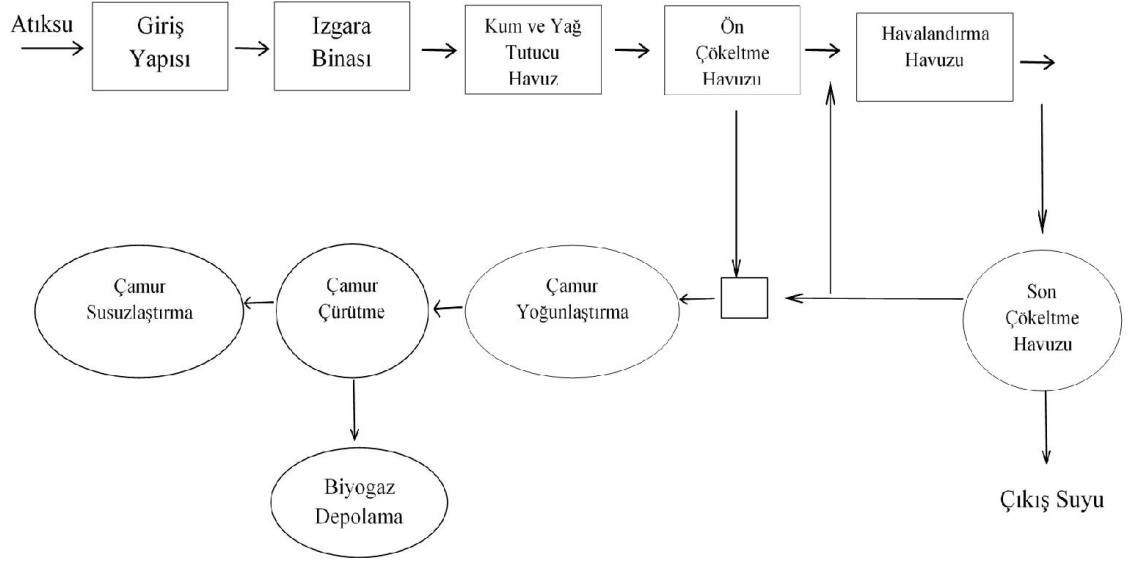
Tesiste giriş ve çıkışta bulunan numune alma cihazları sayesinde, numuneler periyodik olarak alınabilmekte ve numune alma cihazlarının süresi isteğe göre ayarlanabilmektedir. Tesiste atıksu için günlük giriş-çıkış KOİ, BOİ₅, AKM, TN, TP analizleri, çamurda organik madde analizleri ve günlük pH, sıcaklık gibi ölçümler de yapılmaktadır.

Tesisin genel görünümü Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. A.İ.B.A.A.T.'nin genel görünümü

Şekil 5.2’de A.İ.B.A.A.T.’nin proses akım şeması görülmektedir.



Şekil 5.2. A.İ.B.A.A.T.’nin proses akım şeması

5.1.2. A.İ.B.A.A.T’de yer alan üniteler ve havuzlar

A.İ.B.A.A.T’de yer alan üniteler ve havuzlara ait bilgiler; Adıyaman Belediyesi resmi web sitesi ve tesise ait proses hesapları kaynağı, tesis işletme notları, proses eğitim notlarından alınmıştır.

5.1.2.1. Giriş yapısı

Giriş yapısı, atıksuyun tesise girdiği ilk yerdir. Adıyaman şehri genelinde imalatı yapılan kollektör hatlarıyla toplanan atıksu, 1.000 mm çaplı doğu kollektörü ve 1.200 mm çaplı batı kollektörü ile giriş yapısına ve tesise giriş yapmaktadır. Ayrıca aşırı debi gelmesi durumu göz önünde bulundurularak, 1.000 mm çapında by-pass hattı da sistemde mevcuttur.

5.1.2.2. Kaba ve ince ızgara binası

Izgara binasında kaba ve ince ızgara olmak üzere iki tip ızgara bulunmakta olup, her bir ızgara tipinden ikişer adet bulunmaktadır. Kaba ızgaralar 20 mm, ince ızgaralar ise 6 mm çapına kadar büyüklükteki malzemeleri tutmaktadır. Izgaralar 1,75 m derinliğinde ve 1 m genişliğinde kanalların içine monte edilmiştir. Tesiste kullanılan bu ızgaralar ASTİM üretici firma tarafından imal edilmiştir.

Kaba ve ince ızgaraların amacı, atıksudan hatları tıkayan bileşenleri, ince katıları gidermek, müteakip ekipman ve bileşenleri blokaja, hasara karşı korumak ve biyolojik arıtma ve çamur susuzlaştırma aşamalarının süreç verimini arttırmaktır.

A.İ.B.A.A.T.'ye ait sırasıyla Şekil 5.3.'te giriş pompa istasyonu ve kaba ızgara; Şekil 5.4'te ince ızgara görülmektedir.



Şekil 5.3. Giriş pompa istasyonu ve kaba ızgara



Şekil 5.4. İnce ızgara

5.1.2.3. Kum ve yağ tutucu havuz

Kum ve yağ tutucu her biri $176,8 \text{ m}^3$ hacimli iki havuzdan oluşmaktadır. Burada ızgaralardan geçerek gelen atıksuyun yüzeyinde biriken yağların, havuz üzerindeki köprü yardımıyla yüzeyden sıyırılması ve kumdan ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Havuzların dibinde bulunan kum pompaları sayesinde, atıksu içinde biriken kum, ızgara binası içinde bulunan kum ayrıştırıcı üniteye basılmakta ve konteynırlara doldurulmaktadır. Ayrıca kum ve yağ tutucu havuz öncesinde bulunan küçük blowerlar sayesinde kum ve yağ tutucu havuza hava verilerek, atıksu içerisindeki organik maddenin dibe çökmesi engellenmektedir.

A.İ.B.A.A.T.'ye ait havalandırılmalı kum ve yağ tutucu havuz Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu havuz

5.1.2.4. Ön çökeltme havuzu

Ön çökeltme havuzu, her birinin hacmi 972 m^3 olan iki havuzdan oluşmaktadır. Burada oluşan ham çamur, pompalar yardımıyla ön fermantasyon tankına basılmakta ve atıksu havalandırma havuzuna verilmektedir. A.İ.B.A.A.T.'ye ait ön çökeltme havuzu Şekil 5.6 'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Ön çökeltme havuzu

5.1.2.5. Havalandırma havuzu

Havalandırma havuzu, her biri 10.991 m^3 hacimli iki havuzdan oluşmaktadır. Aynı zamanda her bir havuz kendi içinde üç kısma ayrılmaktadır. Bu kısımlar anaerobik, anoksik ve aerobik kısımlardır. İç geri devir pompaları yardımıyla havuzdaki bakteri yoğunluğu sürekli sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Anoksik kısımda denitrifikasyon, aerobik kısımda ise nitrifikasyon işlemleri gerçekleşmektedir. Aerobik(oksijenli) kısma, blower binasındaki blowerlardan havuzun dibindeki difüzörler sayesinde oksijen verilmektedir. Dizayn havalandırma havuzundaki bakteri popülasyonu 4.000 mg/l t olacak şekildedir.

5.1.2.6. Son çökeltme havuzları ve dağıtım yapısı

Son çökeltme havuzları, iki adet olup her birinin hacmi 6.372 m^3 tür. Son çökeltme havuzları, suyun deşarjından önceki son kısımdır. Burada aktif çamur köprülerdeki sıyrıcılarla havuzun dibinden sıyrılarak geri devir pompa istasyonuna verilmekte, su ise savaklanarak çıkış yapısına verilmektedir. Son çökeltme havuzları öncesindeki dağıtım yapısı, havalandırma tankından gelen atıksuyun ikiye ayrılarak son çökeltme havuzlarına verilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda her bir köprü üzerinde $1,7 \text{ kW}$ ve $20 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli yüzey köpük pompaları bulunmaktadır.

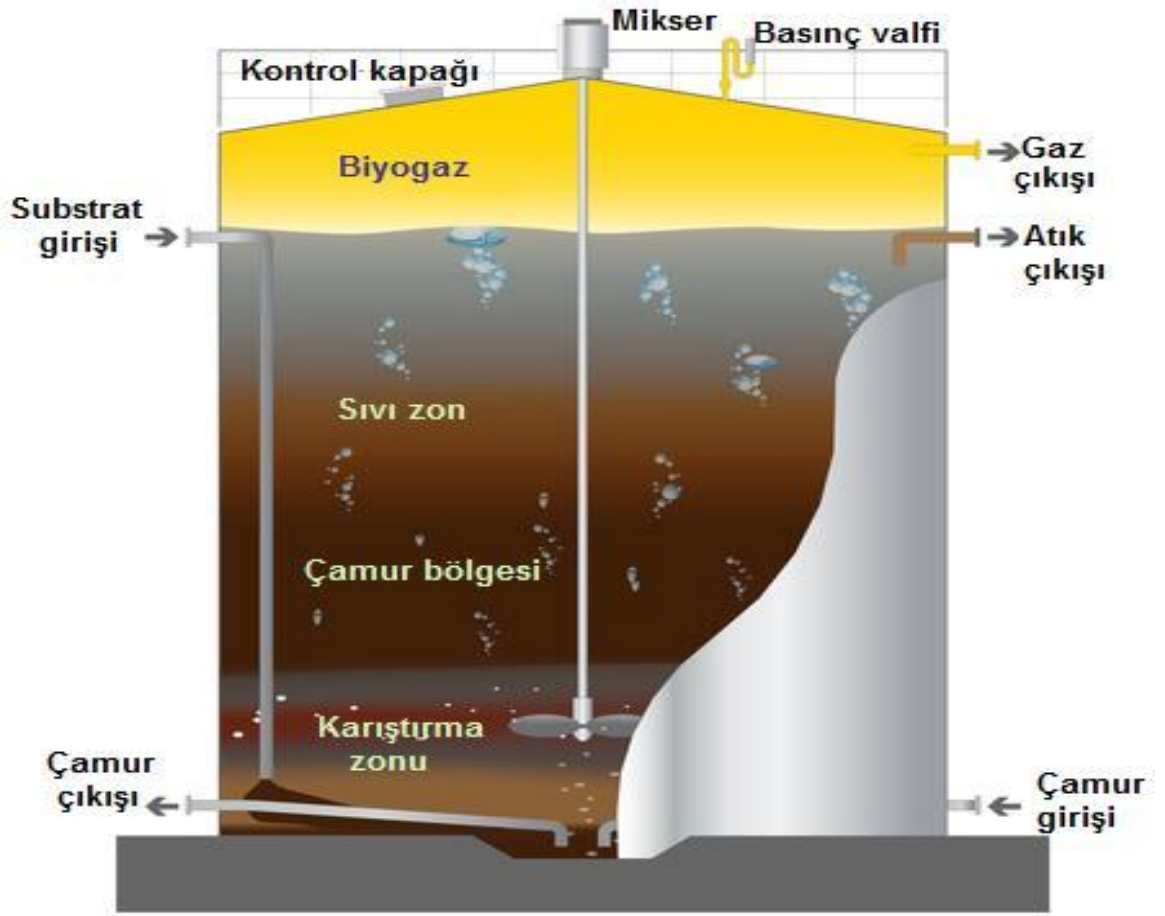
A.İ.B.A.A.T.'ye ait son çökeltme havuzu Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. Son çökeltme havuzu

5.1.2.7. Anaerobik çürütücü tank

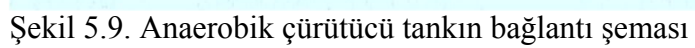
3.900 m³ hacimli bu tankta, çamurun 600 kW kapasiteli ısı eşanjörü yardımıyla ısıtılarak ve aynı zamanda tepesindeki mikser sayesinde karıştırma işlemi gerçekleştirilerek metan gazı oluşumu sağlanmaktadır. A.İ.B.A.A.T.'ye ait anaerobik çürütücü tankın şematik görünümü Şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8. Anaerobik çürütücü tankın şematik görünümü

Çürütücü tankta $3-10 \text{ W/m}^3$ spesifik gücünde pedal tip karıştırıcı bulunmaktadır. Anaerobik çürütücü tankın yüksekliği 20 m olup, çapı 14 m'dir.

Anaerobik çürütücü tankın bağlantı şeması Şekil 5.9'da görülmektedir.



Hidrolik bekletme süresi ortalama 20 gündür. Çürütücünün Performansı % 83,7 olarak tasarlanmıştır. Çürütücü için seçilen sıcaklık 37°C, çürütücü içindeki çamurun kuru madde miktarı % 3,3'tür. Çürütücü çamurundaki normal pH aralığı 6,8 ila 7,2'dir.

Anaerobik çürütücü tanka ait ortalama sıcaklık ve pH değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Anaerobik çürütücü tanka ait ortalama sıcaklık ve pH değerleri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama pH
Ekim-2016	36,5	7,5
Kasım-2016	36,5	7,5
Aralık-2016	35,7	7,1
Ocak-2017	36	7,1
Şubat-2017	35,3	7,3

İlk olarak kazan doğalgaz ile çalıştırılır. Çünkü henüz biyogaz yoktur. Çürütücü içindeki su sıcaklığı en azından 33°C olmalıdır. Suyun ısıtılması çürütücünün doldurulması esnasında veya doldurma prosesi tamamlandıktan sonra yapılabilir. Ön enerji temininin yapılmış ve hazır olması gerekmektedir. Eğer doldurma mobil pompalama ile yapıldıysa, ısıtma çürütücünün 2/3'ü doldurulduktan sonra başlayabilir. Çamur resirkülasyon pompaları, ısıtma ve karışım için devamlı çalıştırılmalıdır. Eklenecek ham çamurun miktarı, çürütücü hacmine ve ham çamurun içeriğine bağlı olarak değişir.

Çürütücü çamur taşkan seviyesine kadar atıksu ile doldurulur. Bu seviye işletme seviyesidir. Tank dolduğunda, içeriği 35° C 'ye kadar mümkün olduğunca hızlı ısıtılır. Devreye alma sırasında biyogaz olmadığından ısıtma amacıyla kazan öncelikle doğalgaz ile beslenir. Çürümüş çamur tank tabanından alınarak çürümüş çamur depolama tankına cazibeyle gönderilir.

Anaerobik çürütücü tankın dış görünümü Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10. Anaerobik çürütücü tankın dış görünümü

5.1.2.8. Desülfürizasyon ünitesi

Desülfürizasyon ünitesi, ortalama günlük çürütülen gaz hacmi üretimi ve birleşik ısı - güç (BIG) birimlerinin taleplerini karşılamak üzere hidrojen sülfürün yeterli oranda azaltılması amacıyla Scrubber tipinde ve kapasitesi 198,9 Nm³/saat olarak tasarlanmıştır. Bu ünite sayesinde gaz oluşumu esnasında meydana gelen sülfür ve bileşeni gazlar içerisindeki sülfürün filtrasyonu sağlanmaktadır.

Korozif özelliğe sahip olması nedeniyle biyogaz muhtevasında mevcut olan hidrojen sülfürün giderilmesi önemlidir. H₂S'nin mevcudiyeti, özellikle basınç düzenleyicilerde, gaz akış ölçerlerinde, vanalarda ve ekipmanın çelik parçalarında korozyona neden olmaktadır. Aynı zamanda H₂S'nin yanma ürünü olan SO₂ su buharı ile birleştiğinde gaz motorlarında korozyona neden olur. Korozyon ve gaz motorlarında aşınma sonucunda yağlama süreleri kısalmakta ve bakım ihtiyaçları artmaktadır.

Biyotemizleyici desülfürizasyon süreci uygun maliyetli ve oldukça verimli bir çözüm sunmaktadır. Herhangi bir kimyasal ve neredeyse hiçbir sarf malzemesi gerektirmez. Tesiste bulunan Desülfürizasyon ünitesi ECOCHIMICA üretici firma tarafından imal edilmiştir.

Desülfürizasyon ünitesine ait resim Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11. Desülfürizasyon ünitesi

5.1.2.9. Koku giderme ünitesi

Koku giderme ünitesi sayesinde ızgara binasında, ön yoğunlaştırıcı - çürümüş çamur depolayıcı - ön fermentasyon tanklarında ve çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma binasında oluşan kokuların giderilmesi sağlanmaktadır.

Koku kontrol ünitesi bünyesinde 15 kW'lık blower, bir scrubber ve biyofiltre haznesinden oluşan iki aşamalı bir sistem mevcuttur. Bu ünite ile tesisin tümünde kokuya sebep olan ünitelerdeki emiş hatları birleştirilerek tek noktada giderim amaçlanmıştır. Koku giderim ünitesi ECOCHIMICA üretici firma tarafından imal edilmiştir.

Koku giderim sistemi bir scrubber kule ve biyofiltre tabakasından oluşmaktadır. Normal şartlar altında tüm emiş hatlarından gelen koku, içerikli hava şartlandırıcı kuleden ve sonrasında biyofiltre tabakasından geçerek koku içeriğinden arındırılmış olarak atmosfere verilir. Kimyasal seviyeleri, enstrüman kalibrasyonları, hava hatlarının çalışıp çalışmadığı günlük kontrol edilmektedir.

Atıksu arıtma tesisindeki koku emisyonları, endüstriyel tesislerden gelen kokulu maddelerden veya tesiste kurulu olan proseslerden kaynaklı olarak oluşabilir.

Kimyasal yıkayıcı ve biyofiltreye ait görüntüler sırasıyla Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te görülmektedir.



Şekil 5.12. Kimyasal yıkayıcı



Şekil 5.13. Biyofiltre

5.1.2.10. Ön yoğunlaştırıcı - çürümüş çamur depolama - ön fermentasyon tankları

Ön fermentasyon tankında ilk çökeltme havuzlarından gelen ham çamur fermente edilerek uçucu doymuş asit üretimi sağlanmakta ve çamur ön yoğunlaştırıcı tanka verilmektedir. Ön fermentasyon tank hacmi 372 m³'tür.

Ön yoğunlaştırıcı tank bir adet olup; çapı 9,6 m, su derinliği 3,5 m, tankın hacmi 253,3 m³'tür. Filtre edilen ve uçucu doymuş asitçe zengin atıksu ise anaerobik tanka verilerek biyolojik atıksu arıtma işlemi sırasında biyolojik fosfor gideriminde etkili rol oynamaktadır.

Çürümüş çamur depolama tankı bir adet olup, hacmi 261 m³; tank çapı 9,6 m; su derinliği ortalama 3,6 m'dir.

5.1.2.11. Biyogaz depolama balonu

Biyogaz depolama balonunda, çürütülmüş çamurdan elde edilen metan gazının depolanması sağlanmaktadır. Hacmi 2.640 m³'tür. Gaz depolama tank tipi, çift membranlı gaz depolama tankı olup tesiste bir adet bulunmaktadır.

Tesise ait biyogaz depolama balonu Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14. Biyogaz depolama balonu

5.1.2.12. Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma binası

Bu bina içerisinde kapasitesi 12 m³/saat olan 2 adet santrifüj tipi mekanik çamur susuzlaştırma ünitesi, kapasitesi 50 m³/saat olan 2 adet bant tipi çamur yoğunlaştırıcı ve polimer madde hazırlama, dozlama ünitesi yer almaktadır. Bu üniteler sayesinde % 6 kadar bir kuru madde içeriği elde edilmiş olmaktadır. Tesiste kullanılan çamur yoğunlaştırıcı ASTİM üretici firma, çamur susuzlaştırıcı ise GEA üretici firma tarafından imal edilmiştir. A.İ.B.A.A.T.'ye ait çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesi Şekil 5.15'te görülmektedir.

İşletmede proses açısından 3 noktada kimyasal kullanımı söz konusudur. Çamur susuzlaştırmada katyonik polielektrolit, biyolojik çamur yoğunlaştırmada katyonik polielektrolit ve kimyasal fosfor gideriminde FeCl₃ kullanımı söz konusudur. Polielektrolitler toz formda ve 25 kg'lık ambalajlarda temin edilmekte olup otomatik poli

hazırlama üniteleri kuru poli besleme haznelerine günlük kontrol ve kayıt altına alınması esasıyla eklenmektedir. Kimyasal fosfor gideriminde FeCl_3 ise 1000 lt'lik tanklarla veya dökme olarak tankerle temin edilerek son çökeltim dağıtım yapısı yanındaki betonarme stok tanklarına alınarak dozaj pompaları ile son çökeltim dağıtım yapısına dozlanmaktadır. Demir 3 Klorür (FeCl_3) evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinde koagulant olarak kullanılmaktadır.

Biyolojik olarak giderilemeyen fosforun kimyasal olarak giderimi amacıyla dozaj hattı (FeCl_3 dozaj pompaları) son çökeltim havuzları dağıtım yapısına dozlanacak şekilde tasarlanmıştır. FeCl_3 dozaj pompaları, proses sonuçlarına göre kimyasal fosfor giderimine ihtiyaç duyulduğunda başlatılır. FeCl_3 dozlama pompaları, Sera Prodos üretici firma; Poli hazırlama ünitesi üretici firma ASTİM tarafından imal edilmiştir. İstenen çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma verimlerini korumak için en önemli parametrelerden biri, Poli tanklarındaki konsantrasyonun en az aylık olarak kontrol edilmesidir.



Şekil 5.15. Çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesi

5.1.2.13. Geri devir pompa istasyonu

Geri devir pompa istasyonunda her birinin kapasitesi $4.980 \text{ m}^3/\text{saat}$ olan 3 santrifüj pompası bulunmaktadır. Burada oluşan aktif çamurun bir kısmı çamur susuzlaştırma ve yoğunlaştırma ünitesine basılırken, bir kısmı ise ön çökeltme havuzunun son kısmına basılmaktadır. Bir kısım aktif çamurun ön çökeltme havuzunun sonuna basılmasındaki amaç sistemdeki gerekli bakteri konsantrasyonu değerini sürekli sağlayabilmektir.

5.1.2.14. Blower binası

Blower binasında her birinin kapasitesi 250 kW ve 108 m³/dakika olan 3 adet blower ünitesi bulunmaktadır. Buradaki amaç havalandırma havuzunun aerobik kısmına oksijen verilerek organik maddenin havuza çökmesini engelleyip, havuzdaki bakterilerin havalanmasını sağlamaktır.

5.1.2.15. Çamur depolama alanı

Bu alan geçici depolama alanı olup, çamur susuzlaştırma ve yoğunlaştırma ünitesinden çıkan çamurun depolanması için hazırlanmıştır. A.İ.B.A.A.T.'ye ait çamur deposu ve gaz depolama tankı Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16. Çamur deposu ve gaz depolama tankı

Çamur depolama alanı dikdörtgen şeklinde olup 1 adettir. Çamur depolama bölgesi yüksekliği 0,9 m; maximum depolama yüksekliği 1,5 m'dir. Depolama alanı uzunluğu 20,5 m; depolama alanı genişliği 9 m iken depolama alanı 185 m² olup depolama hacmi 276,8 m³'tür. Depolama öncesinde çamurun kuru madde miktarı yaklaşık 250 kg/m³'tür.

5.1.2.16. Gaz yakıcı

Tesiste kaplı tip 1 adet gaz yakıcı bulunmaktadır. Gaz yakıcının amacı, sistemde oluşan fazla gazın yakılarak sistemden uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Gaz yakıcının debi

kapasitesi yaklaşık 300 Nm³/saat ve nominal biyogaz basıncı 80 mbar, yüksekliği ise yerden > 2m'dir.

5.1.2.17. Laboratuvar

İdari bina içerisinde bulunan laboratuvarında giriş ve çıkış suları için KOİ, BOİ₅, AKM, TN, TP ölçümleri ve çamurda TKM, AKM, UKM analizlerinin yapılabilmesi için gerekli ekipmanların tümü bulunmaktadır.

5.1.2.18. SCADA kontrol odası

Burada SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) kontrolü sayesinde tesis içerisinde sahada bulunan ekipmanların takibi yapılabilmekte ve bu ekipmanların uzaktan kontrol edilebilmesi sağlanmaktadır. Tesise ait üniteler ve kapasiteleri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Tesise ait üniteler ve kapasiteleri

Ünite Adı	Adedi	Kapasiteleri
Kaba Izgaralar	2	Izgara çubuk aralığı 20 mm
İnce Izgaralar	2	Izgara çubuk aralığı 6 mm
Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu Havuz	2	Her bir tank hacmi 176,8 m ³
Ön Çökeltme Tankı	2	Her bir tank hacmi 972 m ³
Anaerobik Tank kullanarak arıtılmış Biyolojik P giderimi	2	Her bir tank hacmi 1.617 m ³
Havalandırma Havuzu	2	Her bir tank hacmi 10.991 m ³
Son Çökeltme Tankı	2	Her bir tank hacmi 6.372 m ³
Ön Çamur için Prefermentasyon Tankı	1	Her bir tank hacmi 372 m ³
Ön Çamur yoğunlaştırıcı	1	Her bir tank hacmi 253,3 m ³
Anaerobik Çamur Çürütme	1	Her bir tank hacmi 3.900 m ³
Gaz Depolama Tankı	1	Her bir tank hacmi 2.640 m ³
Çürümüş Çamur Depolama Tankı	1	Her bir tank hacmi 261 m ³
Çamur Depolama Alanı	1	Her bir tank hacmi 276,8 m ³

5.2. Metot

Bu tez çalışmasında, A.İ.B.A.A.T.'nin altı aylık (Eylül 2016 - Şubat 2017) günlük giriş-çıkış BOİ₅, KOİ, AKM, TN, TP değerleri, altı aylık çamur debisi ve biyogaz üretim miktarları, dört aylık (Kasım 2016 - Şubat 2017) elektrik üretim miktarları temin edilmiştir.

A.İ.B.A.A.T.'de atıksuda yapılan analiz ve yöntemleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. KOİ, BOİ₅, TN, TP analizlerinde HACH LANGE firmasına ait kitler kullanılarak spektrofotometre cihazında ölçümler yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Tesiste atıksu için yapılan analiz ve yöntemleri

Yapılan Analizler	Analiz Yöntemleri
KOİ	Dikromat reflux metot
BOİ ₅	Respirometrik metot
AKM	Fotometrik metot
TN	Persülfat sindirimi
TP	Asit Persülfat sindirimi

Çamurda yapılan organik madde analizleri; TKM, AKM, UKM standart metotlar kullanılarak yapılmıştır. Çamurda yapılan organik madde analiz ve yöntemleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Çamurda yapılan organik madde analiz ve yöntemleri

Yapılan Analizler	Analiz Yöntemleri
TKM	Standart metot, 2540-D
AKM	Standart metot, 2540-D
UKM	Standart metot, 2540-E

Elde edilen bu veriler kullanılarak, arıtma tesisinin Şubat-2017 giderim değerleri belirlenmiştir. Aylara ait çamur debisi-biyogaz miktarını gösteren grafikler oluşturulmuştur. Aylara ait çamur ve üretilen biyogaz miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon analiz grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca tesiste üretilen biyogazın altı aylık ortalama elementel analiz sonucu ve biyogazdan üretilen elektrik miktarları da çizelgelerle verilmiştir.

Elektrik miktarı tesiste bulunan AKEDAŞ'a ait sayaçlarla tespit edilmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Tesiste 630 kW gücünde iki trafo bulunmaktadır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

A.İ.B.A.A.T.'nin arıtma çamurundan biyogaz üretiminin araştırıldığı bu tez çalışmasında tesise ait altı aylık veriler, Adıyaman Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğüne bağlı AAT'den temin edilmiştir.

6.1. A.İ.B.A.A.T. Üretilen Biyogazın Elementel Analiz Sonuçları

Tesiste üretilen biyogazın Eylül 2016 - Şubat 2017 aylarına ait ortalama elementel analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. A.İ.B.A.A.T. üretilen biyogazın ortalama elementel analiz sonuçları (Gazların dağılım yüzdeleri)

Parametre	Birim	Analiz Sonuçları
CH ₄	%	66,61
CO ₂	%	33,5
O ₂	%	0,25
H ₂	%	0,00
N ₂	%	0,36
CO	%	0,00
H ₂ S	%	0,0003
Net kalorifik değer	MJ/kg	23,1

A.İ.B.A.A.T.'de üretilen biyogazın Eylül 2016 - Şubat 2017 aylarına ait ortalama elementel analiz sonuçları, Bölüm 3 Çizelge 3.1'de biyogazın hacimsel % bileşimindeki değerler ile karşılaştırıldığında, tesiste üretilen biyogaza ait analiz sonuçlarının literatürdeki değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

6.2. Atıksuya Ait Aylık Ortalama Giriş ve Çıkış Değerleri

Tesise ait altı aylık ortalama giriş-çıkış BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri sırasıyla Çizelge 6.2 ve 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.2. A.İ.B.A.A.T. Altı aylık ortalama giriş BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri

AYLAR	BOİ ₅ (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Eylül -2016	155,9	319,3	358,1	39,5	6,3
Ekim -2016	51,7	274,3	387	37,4	4,6
Kasım-2016	47,1	300,8	341,2	53,2	6,5
Aralık-2016	67,5	292,2	233	53,8	6,3
Ocak-2017	102,4	254,3	175	45,8	5,1
Şubat -2017	154,6	409	212,1	43,8	7,1

Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi Ekim, Kasım, Aralık aylarında BOİ₅ değerleri düşük çıkmıştır. Bu değerlerin düşük çıkması, tesise zehirli madde girmiş olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 6.3. A.İ.B.A.A.T. Altı aylık ortalama çıkış BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri

AYLAR	BOİ ₅ (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Eylül -2016	8,91	18,59	15	7,45	0,93
Ekim -2016	2,38	25,51	19	9,18	0,87
Kasım-2016	4,57	32,89	24	9,97	1,15
Aralık-2016	3,17	27,82	27	13,96	0,96
Ocak-2017	15,18	22,35	23	11,17	1,32
Şubat-2017	14,29	26,8	19	10,14	1,3

A.İ.B.A.A.T. Şubat - 2017 giderim değerleri Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4. A.İ.B.A.A.T. Şubat-2017 giderim değerleri (%)

Parametre	Şubat - 2017
AKM	91,04
KOİ	93,45
BOİ ₅	90,76
TN	76,85
TP	81,69

Çizelgede görüldüğü gibi tesise ait Şubat-2017 giderim değerleri oldukça yüksek çıkmıştır.

6.3. A.İ.B.A.A.T.'de Çamurda Yapılan Organik Madde Analiz Sonuçları

Atıksu arıtma çamurunda yapılan organik madde analiz sonuçları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Çamurda yapılan organik madde analiz sonuçları (aylık ortalama değerler)

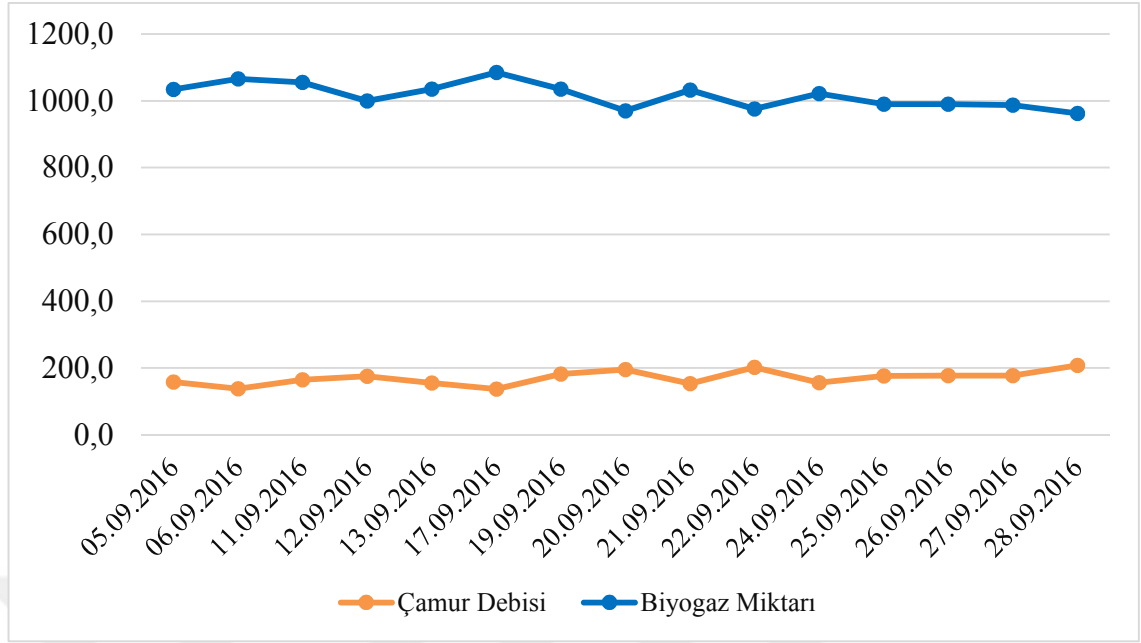
Yapılan Analiz	Sonuç	Birim
TKM	52,6	kg/m ³
AKM	6-7	kg/m ³
UKM	26,35	kg/m ³

6.4. Eylül-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Eylül ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı Çizelge 6.6 ve çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Eylül ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
5.9.2016	158	1.034
6.9.2016	138	1.066
11.9.2016	165	1.055
12.9.2016	175	1.000
13.9.2016	155	1.035
17.9.2016	137	1.085
19.9.2016	182	1.035
20.9.2016	196	970
21.9.2016	153	1.032
22.9.2016	202	976
24.9.2016	156	1.022
25.9.2016	176	990
26.9.2016	177	990
27.9.2016	177	987
28.9.2016	208	962



Şekil 6.1. Eylül ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

Çizelge 6.6’da verilen değerlere göre; üretilen en fazla biyogaz miktarı 1.085 m³, aynı güne ait çamur debisi ise 137 m³ olarak ölçülmüştür. En yüksek çamur debisi 208 m³ olup buna karşılık üretilen gaz miktarı 962 m³’tür.

Eylül ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,7849$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

$$y = -1,5301x + 1276,6$$

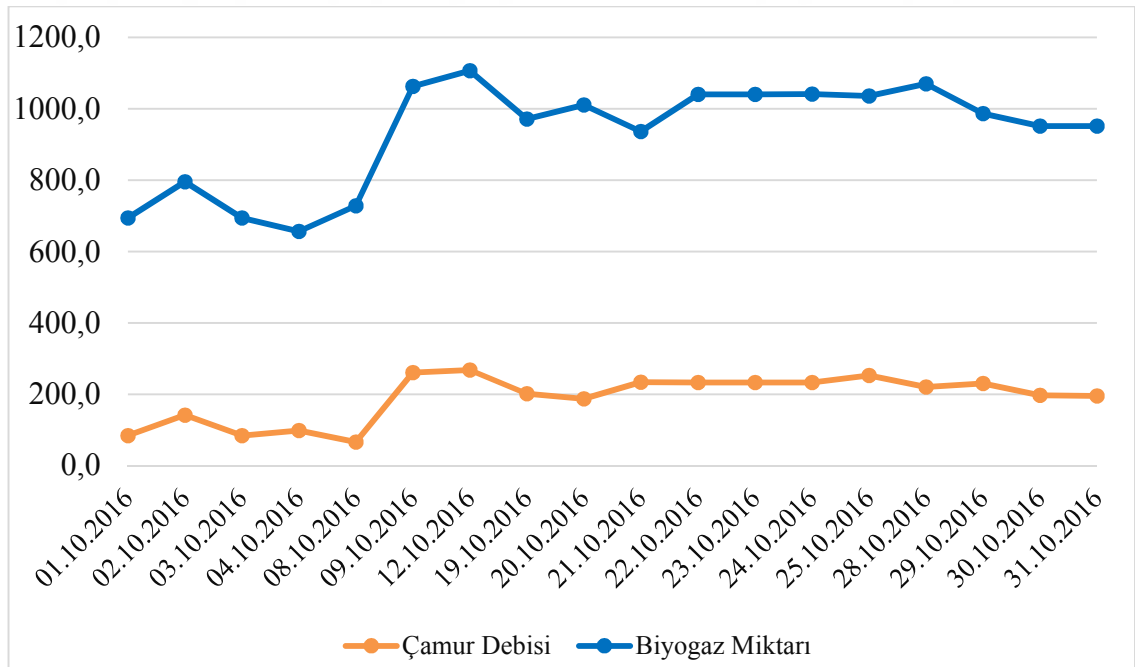
şeklindedir.

6.5. Ekim-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Ekim ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı Çizelge 6.7 ve çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Ekim ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
1.10.2016	84	694
2.10.2016	141	795
3.10.2016	84	694
4.10.2016	98	656
8.10.2016	66	728
9.10.2016	261	1.063
12.10.2016	268	1.107
19.10.2016	201	971
20.10.2016	187	1.011
21.10.2016	234	936
22.10.2016	233	1.040
23.10.2016	233	1.040
24.10.2016	233	1.041
25.10.2016	253	1.036
28.10.2016	220	1.070
29.10.2016	230	986
30.10.2016	197	951
31.10.2016	195	951



Çizelge 6.7’de verilen değerlere göre; en düşük çamur debisi 66 m³ buna karşılık üretilen gaz miktarı 728 m³ olurken; en fazla çamur debisi 268 m³ iken üretilen gaz miktarı 1.107 m³ olmuştur.

Ekim ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,9044$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

$$y = 2,1384x + 525,6$$

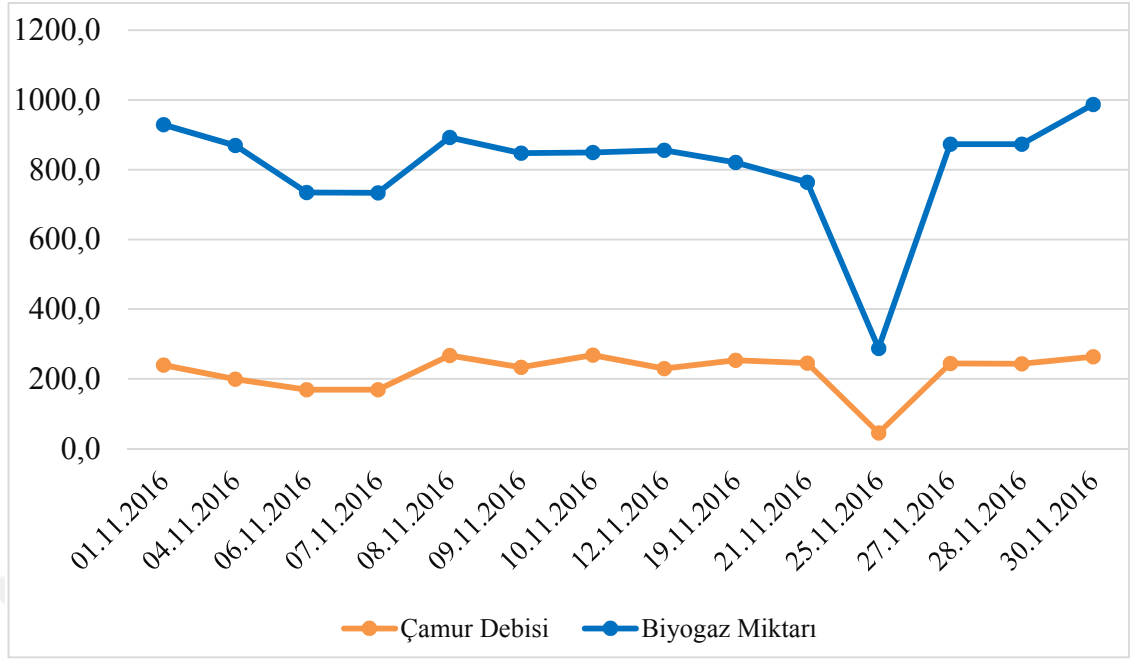
şeklindedir.

6.6. Kasım-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Kasım ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı sırasıyla Çizelge 6.8 ve Şekil 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.8. Kasım ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
1.11.2016	239	929
4.11.2016	199	870
6.11.2016	169	735
7.11.2016	169	734
8.11.2016	267	893
9.11.2016	233	848
10.11.2016	268	849
12.11.2016	229	856
19.11.2016	253	821
21.11.2016	245	764
25.11.2016	45	287
27.11.2016	244	873
28.11.2016	243	873
30.11.2016	263	987



Şekil 6.3. Kasım ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

Çizelge 6.8’de verilen çamur ve biyogaz miktarlarına bakacak olursak; en düşük çamur miktarı 45 m³ olarak ölçülmüş buna karşılık aynı gün 287 m³ biyogaz üretilmiştir. En fazla çamur miktarı 268 m³ olup buna karşılık 849 m³ biyogaz üretilmiştir.

Kasım ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,8301$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

$$y = 2,5338x + 253,59$$

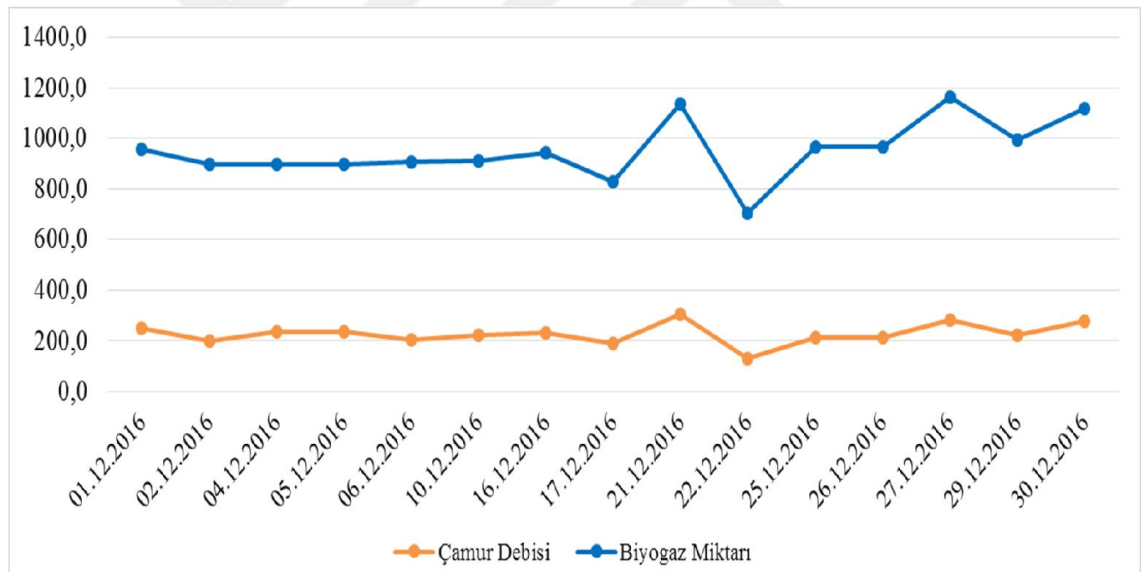
şeklindedir.

6.7. Aralık-2016 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Aralık ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı sırasıyla Çizelge 6.9 ve Şekil 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.9. Aralık ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
1.12.2016	250	957
2.12.2016	201	896
4.12.2016	237	900
5.12.2016	237	899
6.12.2016	203	906
10.12.2016	225	914
16.12.2016	233	943
17.12.2016	189	830
21.12.2016	304	1.136
22.12.2016	131	705
25.12.2016	215	966
26.12.2016	213	966
27.12.2016	281	1.163
29.12.2016	222	996
30.12.2016	279	1.117



Şekil 6.4. Aralık ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

Çizelge 6.9’da verilen değerlere göre; üretilen en fazla biyogaz miktarı 1.163 m³, en az miktar ise 705 m³ olmuştur. En fazla çamur debisi 304 m³ olarak ölçülürken, en az çamur debisi 131 m³ olarak belirlenmiştir.

Aralık ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,8375$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

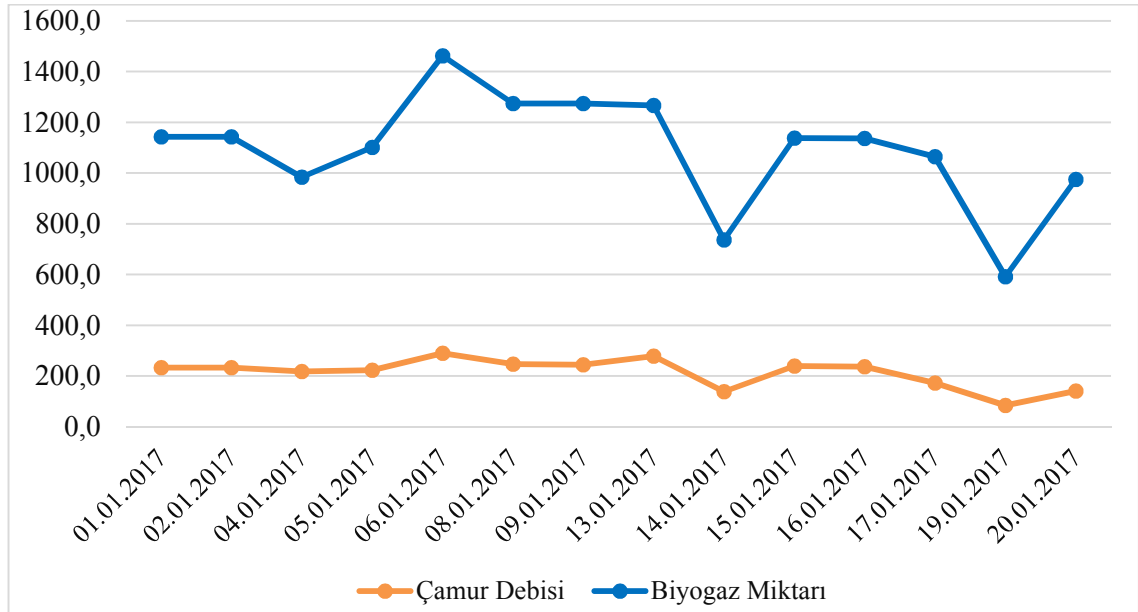
$$y = 2,585x + 363,56 \quad \text{şeklindedir.}$$

6.8. Ocak-2017 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Ocak ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı sırasıyla Çizelge 6.10 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.10. Ocak ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
1.1.2017	233	1.143
2.1.2017	233	1.143
4.1.2017	218	984
5.1.2017	223	1.101
6.1.2017	290	1.462
8.1.2017	247	1.274
9.1.2017	245	1.274
13.1.2017	278	1.266
14.1.2017	139	736
15.1.2017	239	1.138
16.1.2017	237	1.137
17.1.2017	172	1.065
19.1.2017	84	591
20.1.2017	141	975



Şekil 6.5. Ocak ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

Ocak ayında günlere göre ölçülen biyogaz miktarı, önceki aylarda günlere göre ölçülen biyogaz miktarına göre artış göstermiştir. Çizelge 6.10’da verilen değerlere göre; en fazla üretilen biyogaz miktarı 1.462 m³ iken en az üretilen gaz miktarı 591 m³ olmuştur. Ölçülen en fazla çamur debisi 290 m³ en az ise 84 m³ olarak belirlenmiştir.

Ocak ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,8673$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

$$y = 3,591x + 327,95$$

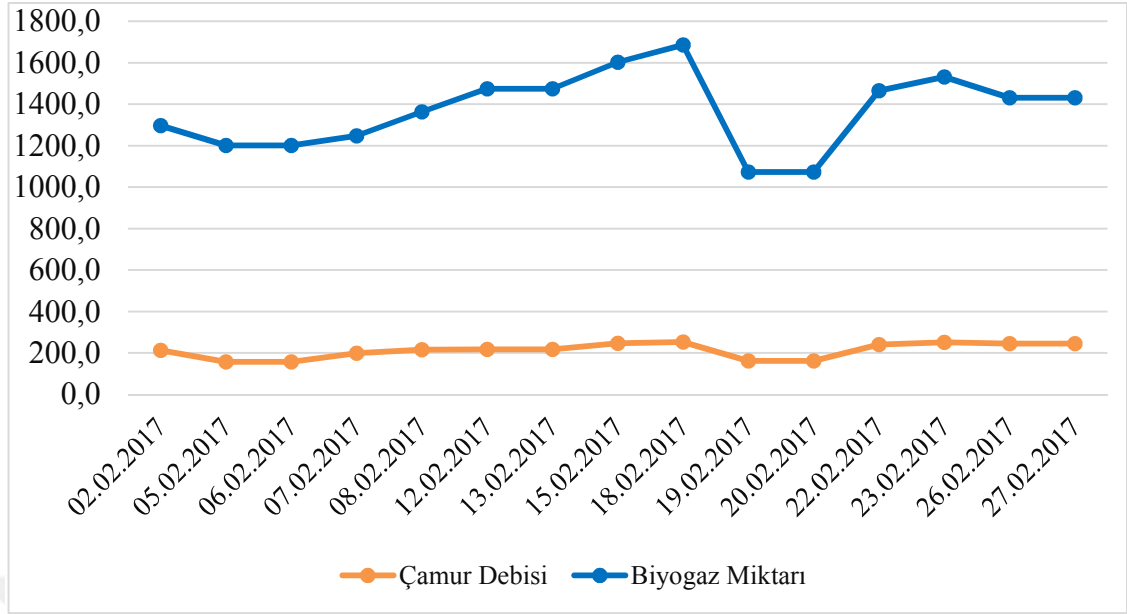
şeklindedir.

6.9. Şubat-2017 Tarihine Ait Tesiste Üretilen Çamur ve Biyogaz Miktarları

Şubat ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı sırasıyla Çizelge 6.11 ve Şekil 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.11. Şubat ayı çamur debisi ve biyogaz miktarı

Tarih	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
2.2.2017	212	1.297
5.2.2017	157,5	1.201,5
6.2.2017	157,5	1.201,5
7.2.2017	199	1.248
8.2.2017	216	1.363
12.2.2017	216,5	1.474,5
13.2.2017	216,5	1.474,5
15.2.2017	247	1.603
18.2.2017	252	1.686
19.2.2017	162	1.073
20.2.2017	162	1.073
22.2.2017	241	1.465
23.2.2017	251	1.532
26.2.2017	244,5	1.431,5
27.2.2017	244,5	1.431,5



Şekil 6.6. Şubat ayı çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

Günlük ölçümler dikkate alınacak olursa, biyogaz üretim miktarının günlük bazda en fazla Şubat ayında olduğunu görmekteyiz. Çizelge 6.11’de verilen değerlere göre; üretilen en fazla biyogaz miktarı 1.686 m³, en az miktar ise 1.073 m³ olmuştur. En fazla çamur debisi 252 m³ olarak ölçülürken, en az çamur debisi 157,5 m³ olarak belirlenmiştir.

Şubat ayına ait çamur debisi ve biyogaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve $R^2 = 0,8174$ olarak bulunmuştur.

Yapılan regresyon analizinde regresyon denklemi;

$$y = 4,5724x + 401,3$$

şeklindedir.

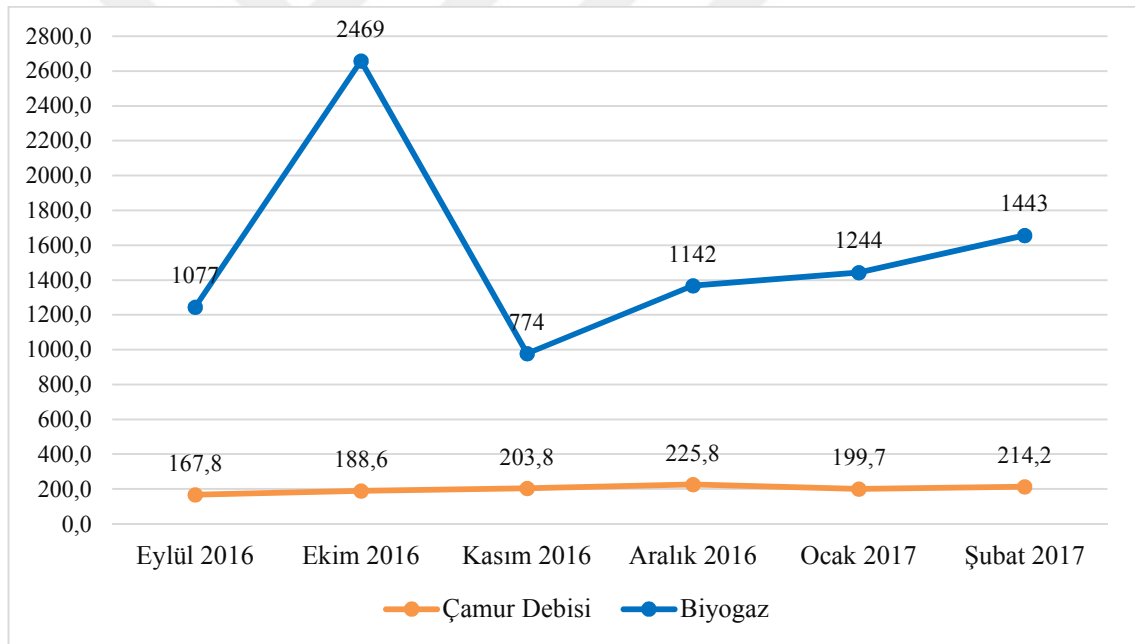
6.10. Aylara Ait Ortalama Çamur ve Biyogaz Miktarları

Aylara ait ortalama çamur debisi ve biyogaz miktarı sırasıyla Çizelge 6.12 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Aylara ait ortalama çamur debisi ve biyogaz miktarı

Aylar	Çamur debisi (m ³ /gün)	Biyogaz miktarı (m ³ /gün)
Eylül - 2016	167,8	1.077
Ekim - 2016	188,6	2.469
Kasım-2016	203,8	774
Aralık- 2016	225,8	1.142
Ocak - 2017	199,7	1.244
Şubat - 2017	214,2	1.443

Çizelge 6.2'nin açıklamasında da bahsedildiği gibi zehirlenmenin etkisi burada görülmektedir. Kasım ayında çamur miktarı yüksek olmasına rağmen biyogaz miktarı düşük çıkmıştır.



Şekil 6.7. Aylara ait ortalama çamur debisi-biyogaz miktarı grafiği

6.11. A.İ.B.A.A.T. Elektrik Üretimi

Tesiste üretilen biyogaz, tesisin elektrik üretiminde ve boiler ısı kazanında yakılarak çürütücü tankın ısıtılmasında kullanılmaktadır. A.İ.B.A.A.T.'de çürütülmüş çamurdan elde edilen gaz, CHP (Combine Heat and Power – Birleşik Isı ve Güç) ünitesinde yakılarak elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Elektrik miktarı, tesiste bulunan AKEDAŞ'a ait sayaçlarla tespit edilmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Tesiste 630 kW gücünde iki trafo bulunmaktadır.

Üretilen yaklaşık her 130 m³ biyogazla saatte 200 kW elektrik enerjisi üretilmektedir. Arıtma çamurundan biyogaz üretilmesi ve üretilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi sayesinde tesisin elektrik ihtiyacının % 30-35'lik kısmı bu yolla sağlanmakta olup, yakın bir gelecekte tesisin ihtiyacı olan elektriğin yaklaşık % 80 kadarını karşılaması beklenmektedir.

Tesiste üretilen elektrik miktarları Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. A.İ.B.A.A.T. üretilen elektrik miktarları

Aylar	Aylık ort. biyogaz miktarı (m ³ /gün)	Üretilen elektrik miktarı (kW/ay)
Kasım – 2016	774	20.122
Aralık – 2016	1.142	46.254
Ocak – 2017	1.244	51.455
Şubat – 2017	1.443	61.162

Tesiste elektrik üretimi Kasım-2016 tarihi itibarıyla başlamış ve sonraki aylarda elektrik üretim miktarı giderek artış göstermiştir.

7. SONUÇLAR

Arıtma çamurlarından biyogaz üretimi son zamanlarda yaygın bir enerji üretim tekniği haline gelmiştir. A.İ.B.A.A.T.'de atıksuların arıtımı sonucunda açığa çıkan arıtma çamurundan biyogaz, biyogazdan da elektrik üretilmesi, mevcut tesisin elektrik ihtiyacının % 30-35'lik kısmını karşılamakta, bu şekilde çamurun ekonomik değerinden faydalanılmaktadır. Aynı zamanda biyogaz üretimi ile atıkların uygun koşullarda kontrollü depolanması da sağlanmaktadır. Enerji konusunda yapılan bilimsel çalışmalar atıkları insanların gözünde birer ekonomik kaynak olarak göstermiştir. Bu durum çalışmaların olumlu etkisini de göstermektedir.

Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- A.İ.B.A.A.T. Eylül-2016; ortalama çamur miktarı 167,8 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 1.077 m³/gün'dür. Tesiste elektrik üretimi Kasım-2016 tarihi itibariyle başladığından Eylül ve Ekim aylarına ait elektrik üretim miktarları yoktur.
- A.İ.B.A.A.T. Ekim-2016; ortalama çamur miktarı 188,6 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 2.469 m³/gün olarak belirlenmiştir.
- A.İ.B.A.A.T. Kasım-2016; ortalama çamur miktarı 203,8 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 774 m³/gün, elektrik üretim miktarı ise 20.122 kW/ay'dır. Kasım ayında çamur miktarı yüksek olmasına rağmen biyogaz miktarı düşük çıkmıştır. Tesiste yaşanan zehirlenmenin etkisi burada görülmektedir.
- A.İ.B.A.A.T. Aralık-2016; ortalama çamur miktarı 225,8 m³/gün, üretilen ortalama biyogaz miktarı 1.142 m³/gün, elektrik üretim miktarı ise 46.254 kW/ay'dır.
- A.İ.B.A.A.T. Ocak-2017; ortalama çamur miktarı 199,7 m³/gün, ortalama biyogaz miktarı 1.244 m³/gün, bu ayda üretilen elektrik miktarı 51.455 kW/ay olarak belirlenmiştir.
- A.İ.B.A.A.T. Şubat-2017; ortalama çamur miktarı 214,2 m³/gün, ortalama biyogaz miktarı 1.443 m³/gün, üretilen elektrik miktarı ise 61.162 kW/ay olarak belirlenmiştir.
- Şubat-2017 giderim değerleri KOİ % 93,45; AKM % 91,04; BOİ₅ % 90,76; TN % 76,85; TP % 81,69 olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan literatür araştırmalarına göre;

Dagnall ve arkadaşlarının 2000 yılında yaptıkları çalışmada, 1 m³ biyogazdan 1,5 kWh elektrik elde edilebileceği sonucuna varmışlardır (Dagnall vd. 2000).

Araştırmanın gerçekleştirildiği A.İ.B.A.A.T.'de ise;

Günlük ortalama 150-200 m³ çamurdan (fazla çamur + primer çamur) yaklaşık olarak ortalama 1.000 - 1.200 m³ biyogaz, üretilen yaklaşık her 130 m³ biyogazla saatte 200 kW elektrik enerjisi üretilmektedir.

İSKİ'den alınan verilere göre;

- Ambarlı İ.B.A.A.T. aylık ortalama debi 280.000 m³/gün olup, tesiste her biri 10.000 m³ hacme sahip 6 adet çamur çürütücü tank bulunmaktadır. Her bir çürütücü tankın çamur debisi 1500 m³/gün olup, tesiste ortalama 13.000 m³/gün biyogaz üretilmektedir.
- Ataköy İ.B.A.A.T. aylık ortalama debi 341.613 m³/gün olup, tesiste her biri 10.000 m³ hacme sahip 6 adet çamur çürütücü tank bulunmaktadır. Her bir çürütücü tankın çamur debisi 2.100 m³/gün olup, tesiste ortalama 17.373 m³/gün biyogaz üretilmektedir.
- Tuzla İ.B.A.A.T. aylık ortalama debi 328.362 m³/gün olup, tesiste 6 adet çamur çürütücü tank bulunmaktadır. Her bir çürütücü tankın çamur debisi 934 m³/gün olup, tesiste ortalama 8.677 m³/gün biyogaz üretilmektedir.

Bu tez çalışmasında çıkan sonuçlar, literatür çalışması ve İSKİ'den alınan veriler ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., (2007). Yenilenebilir enerji kaynakları. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Agarwal, A.K., (2007). Biofuels (Alcohols and Biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines progress. *Energy and Combustion Science*, 33 (3): 233-271.
- Aksu, T., (2008). Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurun bertaraf stratejilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 17-20.
- Aktaş, A., Özer, S., (2012). Biodiesel production from leftover olive cake. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30 (1): 89-96.
- Amon, B., Amon, T., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., Gruber, L. (2007). “Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield”, *Agriculture Ecosystem and Environment*, 118,173-182.
- Anonim (2013). Biyogaz, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 16.06.2013.
- Aydın, S., (2004). Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18-28.
- Berglund M, Börjesson P., (2006). Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 30: 254-266.
- Bilgin, N (2003)., Biyogaz Nedir? Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., (2002). Biyokatıların arazide kullanımı, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Curi, K., Albürek, M., (1989).“Büyükada’da At Atıklarından Biyogaz Üretilmesi Olurluluk Etüdü”, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

- Çanka Kılıç F., (2011). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. Mühendis ve Makine, 52 (617) : 94-106.
- Dagnall, S., Hill, J., Pegg, D., (2000). "Resource Mapping and Analysis of Farm Livestock Manures – Assessing the Opportunities for Biomass to Energy Schemes", Bioresource Technology, 71: 225-234.
- Demir, İ., (1993). "Hayvan Atıklarından Biyogaz Eldesi", Türk Devletleri Arasında 2. İlmi İşbirliği Konferansı, Almatı, Kazakistan, 179-186.
- Demirci, G. ve Türkavcı, L., (2001). "Biyogaz atıklardan enerji", Temiz Enerji Vakfı, Ankara, 9-13.
- Demirer, G.N., Duran, M., Güven, E., Uğurlu, Ö., Ergüder, T.H., Tezel, U., Şen, S., Korkusuz, E.A., Varolan, N., (2001). "Organik atıklardan anaerobik yöntemlerle biyogaz eldesi: Türkiye'de uygulanabilirlik", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 99-105.
- Demirer G.N., (2008). "Organik atıklardan biyogaz eldesi", Haber ODTÜ, 25: 3-5.
- Deniz, Y., (1987). "Türkiye'de biyogaz potansiyeli ve biyogazın sağlayacağı yararlar", T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 38-40.
- Deublein, D., Steinhäuser, A., (2008). "Biogas From Waste and Renewable Resources", Wiley-Vch Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim, 4: 1-20.
- Dönmez, S., (1981). "Biyogaz reaktörlerinin mikrobiyolojisi", Uluslararası Biyogaz Semineri, 191-201.
- Ekinci MS., (2007). Tavuk gübresinden biyogaz üretimi için en uygun koşulların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, (2003). Eskişehir Yolu 7.km No:166 Posta kodu:06520, Çankaya, Ankara.
- Eniş, A., (2002). "Enerji Politikaları ile Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu, 295-324.

- Ferry, J.G., (1993). "Methanogenesis, ecology, physiology, biochemistry and genetics", Chapman & Hall, New York, 25 -33.
- Filibeli A., (2002). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255.
- Fytili, D., Zabaniotou, A., (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 116–140.
- Ghosh, S., (1987). Gasification of concentrated particulate and solid substrate by biphasic anaerobic digestion. Biotech Advances in processing municipal wastes for fuel and chemicals, 303-320.
- Gökçay, C., Demirer, G.N., Ergüder, T.H., Uzal, N.V., Tezel, U., (2002). "Anaerobik arıtım teorik altyapı ve uygulamalar eğitim semineri notları", TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 1-37, 41-45.
- Gökçay, C., Duran, M., Demirer, G., (2001). Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Alt yapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları, 7–10 Kasım, İçel.
- Grady, C.P.L., Daigger, G.T. and Lim, H.C., (1999). Biological Wastewater Treatment, pp. 619, 626, 630, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Guo Guo L., (2010). Potential Of Biogas Production From Livestock Manure In China, Department Of Energy And Environment Division Of Energy Technology, Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden.
- Gül, N., (2006). "Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 5-24.
- Hararcı, S., (2005). Arıtma çamuru nasıl bertaraf edilir? <http://www.bcm.org.tr/pdf/aritma%20%C3%A7amuru%20bertarafı.pdf> Erişim Tarihi: [15.06.2012]
- Ince, B.K. ve Ince, O., (2000). "Changes to bacterial community make-up in a twophase anaerobic digestion system", J.Chem.Technol.Biotechnol., 75: 500-508.

- İlkiliç C, Deviren H., (2011). Biyogaz oluşumunu etkileyen fiziksel kimyasal parametreler. 6. International advanced Technologies symposium, Elazığ, Turkey.
- İnternet: T.C. Adıyaman Belediyesi Resmi Web Sitesi, Arıtma Tesisi <http://adiyaman.bel.tr/icerik/78/593/aritma-tesisi.aspx>.
- İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, (2008). “Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atık/Atık Ham Maddeler ve Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları”, www.eie.gov.tr/biyogaz/atik.html.
- İnternet: Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, (2007). “Biyogaz Nedir?” <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/BIYOGAZ/BIGAZ.HTM>.
- İnternet: U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse, (2002). "Methane (Biogas) from Anaerobic Digesters", <http://www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/ab5.html>.
- İnternet: www.solarenerji.com.
- İSKİ (2017). İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri, İstanbul.
- Jeong, H.S., Kim, Y.H., Yeom, H.S., Song, B.K., Lee, S., (2005). “ Facilitated UASB granule formation using organic-inorganic hybrid polymers”, Process Biochemistry, 40: 89-94.
- Kennedy, K.J., Van den Berg, L., (1982). “Anaerobik Digestion of Piggery Waste Using a Stationary Fixed Film Reactor”, Agricultural Wastes, 4: 151-158.
- Khataee A.R., (2009). Photocatalytic removal of C.I. Basic Red 46 on immobilized TiO₂ nanoparticles: Artificial neural network modeling. Environ. Technol.;30;1155–1168.
- Koçer NC, Öner C, Sugözü İ., (2006). Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Kossmann, W., Pönitz, U., (1999). “Biogas Digest, Biogas Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)”, GATE in Deutsche

- Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany, 4, 9, 14, 20.
- Krogmann, U., Boyles, L.S., Martel, C.J., McComas, A.K., (1997). Biosolids and Sludge Management. Water Env.Res. Vol. 69, Number.4., 534-549.
- Lettinga G., Van Haandel, A.C., (1994). Anaerobic Sewage Treatment, John Wiley and Sons.
- Lukehurst, C.T., (2007). “AD on the move - United Kingdom 2007”, The Future of Biogas in Europe III, Esbjerg, Denmark, 65-72.
- Lusk, P., Moser, M., (1996). "Anaerobic Digestion; Yesterday, Today and Tomorrow", Ninth European Bioenergy Conference, Copenhagen, 284-289.
- Metcalf ve Eddy inc., (1991). Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 3.rd ed. Mc Graw-Hill Inc., New York.
- Meyer-Aurich A, Schattauer A, Hellebrand HJ, Klauss H, Plöchl M, Berg W., (2012). Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. Renewable Energy 37: 277-284.
- Meynell, P.J., (1976). “Methane: Planning a Digester”, Schocken Books, New York,.3.
- Monteggia, L. (1991). The use of a specific methanogenic activity for controlling anaerobic reactors, PhD. Thesis, The University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle, England.
- Onat S., Topaloğlu B., (2004). “Bir Biyogaz Üretim Sistem Modeli”, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 601-608.
- Oviedo, M.D.C., Lpez-Ramirez, J.A., Mrquez, D.S. and Alonso, J.M.Q., (2003). Evaluation of on activated sludge system under starvation conditions, Chemical Engineering Journal 94, 139-146.
- Öncel, S., İkizoğlu, E., Öngen, G., Vardar, F., (2003). “Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesinde Kullanılan Biyogaz Üreteç Tipleri”, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 121-137.

- Özcan, M., Öztürk, S., ve Yıldırım, M. (2011). Türkiye'nin Farklı Kaynak Türlerine Göre Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, s. 243-247, Kocaeli.
- Özcan, S., Aydın, M.E., Tor, A., (2011). Atıksu arıtma çamurlarının ekotoksikolojik ve organik kirleticiler (PAH, PCB) açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi, 109Y179, Tübitak Projesi.
- Öztürk, B., Okumuş, E., (2008). "Biyogaz üretimi ve enerji değerinin yükseltilmesi", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 187-197.
- Öztürk, E., (2007). "Peyniraltı suyunun anaerobik arıtma çamuru reaktöründe arıtımında en uygun koşulların belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 34,48-49,76-79.
- Öztürk, İ., (1999). "Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları", İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 10, 34-44.
- Öztürk, İ., (1999). "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları", Birsen Yayınevi, Eyüp, 1-25, 35-38.
- Öztürk, İ., (2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi Çevre ve Orman Bakanlığı yayınları.
- Öztürk, M., (2005). "Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 5,8-18,21.
- Pöschl M, Ward S, Owende P., (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. Applied Energy 87:3305-3321.
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., (2001). Environmental Biotechnology: Principles and Applications, pp. 570- 596, McGraw -Hill, Inc., New York.
- Salihoğlu, N. K., Pınarlı, V., (2007). Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması, İTÜ Dergisi, 17/1, 3-14.
- Speece, R.E. (1996). "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", ArchePress, Tennessee, 394 s.
- Spinosa, L., (2007). Wastewater sludge: A global overview of the current status and future prospects, IWA Publishing, London, UK.

- Şerit G, Yiğit GS, Gündüz M, Şengün RB, Toraman Ö., (2009). İki Fazlı Biyogaz Üretim Tesislerinde Gaz Üretimine Etki Eden Parametreler. III. Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu, Kocaeli.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. ve Stensel, H.D., (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse, Mc Graw Hill Press, New York U.S.
- Tuluk, C., (2007). “Çeşitli Substratların Anaerobik Şartlar Altında Metan Ve Hidrojene Dönüşüm Potansiyellerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Türker, M., (2003). “Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya’daki eğilimler”, 2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, Ankara, 228-236.
- Türker, M., (2008). “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi”, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir, 260.
- Türker, M., (2008). “Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya’daki eğilimler”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 225-230.
- Ulusoy, Y., Ünal, H. ve Alibaş, K., (2009). “Bursa İli Karacabey İlçesinde Örnek Bir Biyogaz Tesisinin Kurulabilirliği İçin Tarımsal ve Gıda Artıklarının Enerji Potansiyeli”, 25. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı.
- Van Brakel, J., (1980). “The Ignis Fatuus of Biogas Small-Scale Anaerobic Digesters ("Biogas Plants"): A Critical Review of the Pre-1970 Literature”, Delft University Press, 15-18.
- Verstrate W., De Baere, L. And Rozzi, A., (1981). Phase separation in anaerobic digestion: motives and methods. Trib. Cebedeau, 34,367-375.
- Walla C, Schneeberger W., (2008). The optimal size for biogas plants. Biomass and bioenergy 32: 551-557.
- Yadava, L.S., Hesse, P.R., (1981). "The Development and Use of Biogas Technology in Rural Areas of Asia (A Status Report 1981)", Improving Soil Fertility through Organic Recycling, FAO/UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No. 10.

- Yıldız Teknik Üniversitesi, (2004). Biyogaz [Internet], Available from www.yildiz.edu.tr/~kanat/atiksu.html [accessed at 10/2004].
- Yıldız Ş, Saltabaş F, Balahorli V, Sezer K, Yağmur K., (2009). Organik atıklardan biyogaz üretimi projesi-İstanbul örneği, Türkiye’de katı atık yönetimi sempozyumu, TÜRKAY 2009.
- Yılmaz, A.H. ve Atalay, F.S., (2000). “Katı Atıkların Anaerobik Fermentasyonu Üzerine Modelleme Çalışmaları”, 4. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, 77-81.
- Yılmaz, A. H., Atalay, F. S., (2004). Çeşitli Organik Katı Atıkların Anaerobik Fermantasyonu ve Modelleme Çalışmaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, s. 619-626., 26-28 Mayıs 2004.
- Yurtsever, D., (2005). Use of treatment plant sludges as biosolid, Master Thesis, Graduate School of Natural and Applied Science of Dokuz Eylül University, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep Ruşen CAN
Doğum Yeri : Kahta /Adıyaman
Doğum Tarihi : 07.01.1989
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kahta Anadolu Lisesi (2003-2007)
Lisans : Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Ziraat Mühendisliği / Bahçe Bitkileri Bölümü (2008-2012)
Yüksek Lisans : Adıyaman Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı (2017)

Çalıştığı Kurum/Kuruluş ve Yıl

- Kahta Anadolu İmam Hatip Lisesi (Vekil Öğretmenlik - 2013),
- Dehlevi Petrol, Hafriyat, Gıda, İnşaat, Tarım, Hayvancılık, Enerji, Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (Ziraat Mühendisi - 2014),
- Group 85 Tarım, Gıda, İnşaat, Taşımacılık, Özel Eğitim, Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti. (Ziraat Mühendisi - 2015).

Yayınlar

- 1) Türkmenler, H., Pala, M., Can, R., Çağlar, N., (2014). Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanılarak İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı Çıkış Konsantrasyonlarının Tahmini, 2.Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.984-991, Adıyaman.

- 2) Can, R., (2014). Çevre Ahlakı ve Sorumluluk Bilinci, 2. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.1191-1194, Adıyaman.
- 3) Can, R., (2015). Geçmişten Günümüze Kültür, Adıyaman Üniversitesi Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu-2, Adıyaman.
- 4) Türkmenler, H., Can, R., Gümüş, M., (2015). Biyokütle Kaynağı Olarak Sera Atıklarının Değerlendirilmesi, VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 277-280, Adana.

