

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAYVANSAL ARTIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE BENZİNLİ
MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

Mehmet Şerif YEŞİLKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı : Makine Eğitimi

Program : Otomotiv

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ

2013

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAYVANSAL ARTIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE BENZİNLİ
MOTORLARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Şerif YEŞİLKAYA

(091119106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :24.01.2013

Tezin Savunulduğu Tarih :26.02.2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Cengiz ÖNER
Yrd. Doç. Dr. H. Lütfü YÜCEL

2013

ÖNSÖZ

Son yıllarda sanayi ve tarımsal alanların gelişmesiyle birlikte atık miktarları da önemli seviyelerde artış göstermiştir. Bu atıkların doğru parametreler ile değerlendirilmesi yeni enerji kaynaklarının üretimi için önemlidir. Bu atıkların anaerobik ortamda belirli sınır şartlarında fermente edilmesi sonucu biyogaz üretilmektedir.

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Bölümünde hazırlanmıştır. Bu çalışmanın amacı hayvansal artıklardan elde edilen biyogazın otomotiv motorlarında kullanılması ile yakıt maliyetini düşürmek ve dizel motorlarında kullanılabilmesi ile ilgili araştırmalara kaynak teşkil edebilmektir. Yapılan bu çalışmada Biyogazın elde edilişi ve buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak yakılarak, atmosfere yayılan egzoz emisyon gazlarının, farklı yük ve devirlerdeki miktarları ölçülmüştür. Aynı devir ve yükte benzin ile LPG nin yakıt olarak kullanılması sonucu oluşan egzoz emisyon gazlarının oluşma sebepleri araştırılmıştır. Biyogaz, benzin ve LPG gazının emisyon değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmeye çalışılmıştır. Çalışmalarında benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, deney çalışmalarında yardımcı olan arkadaşlarıma, lisans hocalarıma ve yardımlarını her zaman yanımda bildiğim danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mehmet Şerif YEŞİLKAYA
ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLO LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	4
2. BİYOGAZ	5
2.1. Biyogaz Nedir?	5
2.1.1. Biyogazın Önemi	5
2.1.2. Biyogazın Tarihçesi	5
2.1.3. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz	6
2.1.4. Biyogaz ve Oluşumu	8
2.1.4.1. Biyogazın Kimyasal Oluşumu	8
2.1.4.2. Fermentasyon ve Metan Oluşumu	9
2.1.4.2.1. Birinci Kademe	11
2.1.4.2.2. İkinci Kademe	12
2.1.4.2.3. Üçüncü Kademe	13
2.1.4.3. Buswell Eşitliği	13
2.1.5. Biyogazın Bileşenleri Özellikleri Ve Kullanım Alanları	14
2.1.5.1. Biyogazın Teknik Özellikleri	14
2.1.5.2. 1 m ³ Biyogazın Özellikleri	15
2.1.5.3. Biyogazın Avantaj ve Dezavantajları	16
2.1.5.4. Üretilen Biyogaz Miktarının Ölçülmesi	17
2.1.5.5. Biyogazın Depolanması	18
2.1.5.6. Biyogazın içindeki CO ₂ ve H ₂ S Bertaraftı	20

2.1.5.6.1.	Biyogazın İçindeki CO ₂ Bertarafı.....	20
2.1.5.6.2.	Biyogazın İçindeki H ₂ S Bertarafı	20
2.1.5.7.	Biyogazın Kullanımı.....	21
2.1.5.7.1.	Biyogazın Motorlarda Kullanımı.....	21
2.1.5.7.2.	Biyogazın Evsel Cihazlarda Kullanımı	22
2.1.6.	Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	24
2.1.6.1.	Biyogaz Tesisinde Kullanılacak Materyal İle İlgili Faktörler	25
2.1.6.2.	Biyogaz Sistemindeki Üreteçle İlgili Özellikler	25
2.1.6.3.	İşlem Süreci ile İlgili Özellikler	25
2.1.7.	Fermentasyon Esnasında Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler.....	26
2.1.7.1.	Sıcaklık	26
2.1.7.2.	Hammadde Konsantrasyonu	27
2.1.7.3.	Yükleme Oranı.....	28
2.1.7.4.	Alıkoyma (Bekleme) Süresi	28
2.1.7.5.	Reaksiyon Ortamı	28
2.1.7.6.	Bakteriler	28
2.1.7.7.1.	Metan bakterileri için Uygun Eko Sistem	29
2.1.7.7.	C/N Oranı.....	30
2.1.7.8.	pH Değeri.....	30
2.1.7.9.	Karıştırma	32
2.1.7.9.1.	Karıştırmanın Avantajları	32
2.1.7.10.	Gobar (Atık sıvısı) ve Su Oranı	33
2.1.7.11.	Uçucu Asitler	33
2.1.7.12.	Katı İçeriği	33
2.1.7.13.	Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI).....	33
2.1.7.14.	Zehirli Materyaller.....	34
2.1.7.15.	Toksitler.....	34
2.1.8.	Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık Maddeler	35
2.1.8.1.	Hayvansal Atıklar	36
2.1.8.2.	Bitkisel Artıklar	37
2.1.8.3.	Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar.....	38
2.1.8.4.	Gıda Atıklarından Biyogaz Üretimi.....	39
2.1.9.	Biyogaz Üretim Ve Sonrası Bulmaç Kokusu	39

2.1.10.	Biyogaz ve Çevre.....	40
2.1.10.1.	Fotosentez Biyogaz Döngüsü	41
2.1.11.	Biyogaz Üretecinin Bölümleri.....	42
2.1.11.1.	Fermantasyon Tankı	42
2.1.11.2.	Hammadde Giriş Borusu	42
2.1.11.3.	Atık Çıkış Borusu	43
2.1.11.4.	Fermenter.....	43
2.1.11.5.	Oynar Kapak ve Gaz Alma Borusu	43
2.1.11.6.	Isıtma Düzenekleri.....	43
2.1.11.7.	Karıştırma Düzenekleri.....	44
2.1.11.8.	Dolum ve Boşaltım Düzenekleri	44
2.1.11.9.	Gazometre.....	44
2.1.12.	Biyogaz Üretim Sistemleri	45
2.1.12.1.	Biyogaz Tesislerinin Tasarımı Ve Tasarımda Dikkate Alınması Gereken Parametreler.....	45
2.1.12.2.	Beklemeli Sistem	45
2.1.12.3.	Sürekli Yükleme Sistemi.....	46
2.1.13.	Fermentör Besleme Yöntemleri.....	46
2.1.13.1.	Sürekli Fermantasyon	46
2.1.13.2.	Beslemeli Yarı Kesikli Fermantasyon	46
2.1.13.3.	Kesikli Fermantasyon	47
2.1.14.	Biyogaz Üretim Tesislerinde Çıkan Gübrenin İşlenmesi Ve Kalitesi	47
2.2.	Literatür çalışması	48
2.2.1.	Kullanılan Atığın Cinsi, Fermenter Sıcaklığı ve Bekleme Sürelerine Göre Yapılan Çalışmalar	48
2.2.2.	Kullanılan Atığın Karıştırılmasıyla ilgili Çalışmalar	55
2.2.3.	Gaz Yakıtların Motorlarda Kullanılması İle İlgili Yapılan Çalışmalar	58
2.2.4.	Doğalgaz Ve Biyogazın Karşılaştırılması	59
2.2.5.	Doğalgazın Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması	59
3.	MATERYAL ve METOD	63
3.1.	Biyogazın Elde Edilmesi	63
3.1.1.	Deney Donanımı.....	63
3.1.2.	Sıcaklık	65

3.1.3.	Karıştırma Sistemi	67
3.1.4.	Karıştırmanın Avantajları	67
3.1.5.	Atığın Hazırlanması.....	68
3.1.6.	Fermantör (Üreteç)	69
3.1.7.	Veri Ölçümleri	70
3.1.8.	Gaz Depolama	71
3.1.9.	Metan (CH ₄) Ölçümü.....	71
3.1.10.	Gaz basınç ölçümü.....	73
3.1.11.	pH Ölçümü.....	73
3.2.	Deney Düzenineğinin Güvenirliği	74
3.2.2.	Biyogazın Yakılması	74
3.3.	Üretilen Biyogazın Temizlenmesi	75
3.3.1.	Biyogazdaki CO ₂ Gazının Ayırıştırılması	75
3.3.2.	Biyogazdaki H ₂ S‘ün Ayırıştırılması	76
4.	ELDE EDİLEN BİYOGAZIN DENEY MOTORUNDA YAKIT OLARAK KULLANILMASI	78
4.1.	Emisyon Değerlerini ve Harcanan Yakıt Miktarını Öğrenmek İçin Gerekli Donanımlar	78
4.1.1.	Deney Ortamı Ve Çalışma Prensipleri.....	78
4.1.3.	Biyogaz Tüplerinin Deney Cihazına Bağlanması.....	79
4.1.4.	Deney Motorunun Özellikleri	79
4.1.5.	Egzoz Emisyon Cihazının Özellikleri Özellikleri	80
4.1.6.	Harcanan Yakıt Miktarı	81
4.1.7.	Yakıt Tüketiminin Ölçülmesinde Kullanılan Terazide Ölçümün Doğrulanması	82
4.2.	Biyogazın Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması	83
4.2.1.	Biyogazın Motorda Yakılmasıyla Oluşan Egzoz Emisyonları	83
4.2.1.1.	Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	84
4.2.1.1.2	Deneylerde Elde Edilen CO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması.....	86
4.2.1.2.	HC Emisyonu	89
4.2.1.2.1.	Deneylerde Elde Edilen HC Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması.....	90
4.2.1.3.	Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu.....	91
4.2.1.3.	Deneylerde Elde Edilen CO ₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	92

5.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	94
6.	ÖNERİLER.....	96
	KAYNAKLAR.....	97
	ÖZGEÇMİŞ	109

ÖZET

Gelişen teknoloji ve nüfusla birlikte artan enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynakların önemini artırmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de, atıkların değerlendirilmesiyle üretilen biyogazdır.

Biyogaz, biyokütlenin havasız ortamda çeşitli bakteri gruplarının ortak faaliyetleri sonucunda çürütülmesi esnasında ortaya çıkan ve ağırlıklı olara metan ve karbondioksit içeren bir gazdır. Biyogaz ile organik atıkları bertarafı sağlanırken beraberinde enerji de üretilmektedir. Son yıllarda gerek çevresel koruyucu kriterlerin gerekse yenilenebilir enerjiye olan ilgini artmasıyla birlikte biyogaz ve biyogaz teknolojisi giderek yaygınlaşmaktadır. Biyogazın üretiminin verimliliğini etkileyen birçok parametreler (atık cinsi, sıcaklık, karıştırma, pH, bekleme süresi) vardır.

Anaerobik arıtma sonucu elde edilen METAN GAZI biyogaz olarak kazanlarda yakılmakla buhar üretiminde veya gaz motorlarında yakılarak elektrik üretiminde kullanılabilir. Dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda biyogazın yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak araştırılması ve Biyogazın buji ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanıldığı takdirde egzoz emisyon değerleri incelenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik Arıtım, Biyogaz Üretimi, motor yakıtı biyogaz

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTION AND GASOLINE ENGINES AVAILABILITY ANIMAL RESIDUES

Power need, increased with improved technology and population, made renewable resources much more important. One of these renewable energy resources is produced by processing waste product.

Biogas, which contains mainly methane and carbon dioxide gases, is produced during fermentation process of biomass under the anaerobic condition as a result of various bacterial groups' activities. While organic wastes are treated energy can also be produced via biogas production. In recent years, biogas and biogas technology has become widespread in parallel with the increased interest of renewable energy and environmental protection criteria. There are a lot of parameters (type of waste product, temperature, mixing, pH, waiting time etc.) effecting the performance of biogas production.

Methane gas obtained from anaerobic treatment can be combusted as biogas in boiler for steam generation and in gas boiler for power generation. A four-stroke spark ignition engine, the use of biogas as a fuel in an experimental investigation and If biogas is used as fuel in spark ignition engine exhaust emissions have been studied.

Key Words: Anaerobic Digestion, Biogas Production, biogas motor fuel

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.2. Farklı Ürünlerden Metan üretim Oranları.....	10
Şekil 2.3. Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi.....	11
Şekil 2.4. Kompleks organik maddelerin basit organik maddelere dönüşmesi	12
Şekil 2.5. Metanogenik bakteri	13
Şekil 2.6. Biyogaz içindeki CH ₄ ve CO ₂ ’nin yüzdelik oranı	14
Şekil 2.7. Biyogazın LPG ocaklarında yakılması	15
Şekil 2.8. Borulardaki biyogazın hızının ölçülmesi.....	17
Şekil 2.9. Küçük ölçekli biyogaz miktarı ölçüm düzeneği	18
Şekil 2.10. Biyogazın depolanması.....	19
Şekil 2.11. Biyogazı yıkama yöntemi	20
Şekil 2.12. Biyogazın motorlarda kullanımı	22
Şekil 2.13. Biyogazın üretim ve kullanım alanları	24
Şekil 2.14. Günümüzde dünyada kurulu olan tesislerde kullanılan sıcaklık dağılımı	26
Şekil 2.15. Mezofolik, Termofolik ve fizofilik sıcaklıklarda metanogenislerin büyüme oranı ve Termofolik ve mezofolik sıcaklığının zamana göre değişimi.	27
Şekil 2.16. Metan üreten bakterilerin dijital mikroskopta görünümü	29
Şekil 2.17. pH farklı değerlerdeki metan bakterisinin elektronik mikroskopla görüntüleri	31
Şekil 2.18. Hayvansal atıklar	36
Şekil 2.19. Tesiste kullanılan atığın toplam katı oranı.....	37
Şekil 2.20. Bitkisel artıklar	37
Şekil 2.21. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar.....	38
Şekil 2.22. Bakteri ve koku oluşum safhaları	39
Şekil 2.23. İşlenmemiş gübre ile işlenmiş gübrenin çevresel koku analiz resmi.....	40
Şekil 2.24. Biyogaz ve çevre.....	40
Şekil 2.25. Fotosentez Biyogaz Döngüsü	41
Şekil 2.26. Tesis atığının tarımda gübre olarak kullanılması.....	41
Şekil 2.27. Üreteçlerin temel işletim şekilleri.....	46
Şekil 2.28. Gübre işleme şeması	47
Şekil 2.29. Tesis atıklarının işlenmesi	47

Şekil 3.1.	Biyogaz üretim düzeneğinin şematik görünümü	64
Şekil 3.2.	Deney cihazını oluşturan elemanlar.....	64
Şekil 3.3.	Toprağın sıcaklık karakteristiğinin aylara göre değişimi	66
Şekil 4.4.	Bazı illerin 1m derinliklerdeki toprak sıcaklıkları.....	66
Şekil 3.5.	Fermantördeki sıcaklık ve pH ölçümünün yapıldığı kısım ve termometre	67
Şekil 3.6.	Mekanik karıştırma sistemi	68
Şekil 3.7.	Hammadde ekleme deposu ve fermantöre bağlanması	69
Şekil 3.8.	Hammadde ekleme	69
Şekil 3.9.	Aşılama malzemesi.....	69
Şekil 3.10.	Polietilen fermantör tankı	70
Şekil 3.11.	Fermantörün dıştan görünümü.....	70
Şekil 3.12.	Fermantörün kapak ağzının ve içten görünümü	70
Şekil 3.13.	İçi atık ile doldurulmuş fermantör	70
Şekil 3.14.	Ağzı kapatılmış fermantör	70
Şekil 3.15.	Diyaframlı manometre.....	71
Şekil 3.16.	Gazın depoya aktırılmasını sağlayan pvc borular.....	71
Şekil 3.17.	Literatür araştırmasına göre günlük biyogaz miktarı.....	72
Şekil 3.18.	Günlük olarak üretilen biyogaz	72
Şekil 3.19.	pH metre.....	73
Şekil 3.20.	Literatür araştırmasına göre pH miktarı	74
Şekil 3.21.	Fermantördeki günlük pH değerinin ölçülmesi	74
Şekil 3.23.	Deneylerde elde edilen biyogazın yakılması	75
Şekil 4.2.	Biyogaz dolu tüplerin LPG giriş rekoru sökülerek biyogaz hortumunun bağlanması	79
Şekil 4.3.	Deney motoru	79
Şekil 4.4.	Kumanda panosu ve Cussons P8602 marka dinamometre(bremze).....	80
Şekil 4.5.	Egzoz emisyon değerlerini ölçmek için kullanılan sun 1500 cihazının ekranı	81
Şekil 4.6.	Birim zamanda harcanan yakıt miktarı ölçülmesi	82
Şekil 4.7.	Birim zamanda harcanan biyogaz miktarını ölçülmede kullanılan terazide güvenirlilik tespiti	82
Şekil 4.8.	Motor çalışırken harcanan yakıt miktarı.....	82
Şekil 4.9.	Euro emisyon normları	83
Şekil 4.10.	Farklı yük ve devirlerdeki CO emisyon değerleri.....	86

Şekil 4.11. Farklı devir ve yüklerdeki HC emisyon değerleri.....	90
Şekil 4.12. Farklı yük ve devirdeki CO ₂ emisyon değerleri.....	93

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Gelişmekte Olan Ülkelerde Biyogaz Tesisi Sayısı.....	7
Tablo 2.2. Optimum Fermantasyon Koşulları	8
Tablo 2.3. Biyogazın bileşenleri	14
Tablo 2.4. Biyogazın teknik özellikleri.....	16
Tablo 2.5. Basınçlara göre biyogaz depolama sistemler.....	18
Tablo 2.6. Anaerobik Arıtmada Çeşitli Engelleyicilerin Engelleme Seviyesi	35
Tablo 2.7. Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan miktarları	38
Tablo 2.8. Doğalgaz ve biyogazın karşılaştırılması.....	59
Tablo 2.9. Metan gazının özellikleri.	62

KISALTMALAR

KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TK	: Toplam Katı
CH₄	: Metan
CO₂	: Karbondioksit
C/N	: Karbon Azot Oranı
H₂	: Hidrojen
H₂S	: Hidrojen Sülfür
N₂	: Azot
NaCl	: Sodyum Klorür
NH₃	: Amonyak
CO	: Karbonmonosit
HC	: Hidrokarbon
RON	: Araştırma Oktan Sayısı
MOS	: Motor Oktan Sayısı
C/H	: Karbon Hidrojen Oranı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1.Giriş

Enerji temel iki kaynaktan sağlanmaktadır. Bunlar; yenilenemeyen ve yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının sanayi devriminin başlamasından günümüze kadar bilinçsizce tüketilmesi sebep olmuştur. En iyimser hesaplar bile yenilenemeyen enerji kaynaklarının (Petrol, kömür, doğalgaz vb.) yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, dolayısı ile yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme sürecini yavaşlatmak bir zorunluluk olmuştur. Dünyadaki tüm ülkeler bu konuda yoğun çaba sarfetmektedirler[1].

Özellikle 1973 enerji krizinden sonra, ulusal ve uluslar arası enerji problemleri günlük yaşamın bir parçası haline gelmiş alternatif (yenilenebilir) enerji kaynakları üzerine çok yoğun bir şekilde araştırmalara başlanmıştır. Bu yeni enerji kaynaklarının bulunması, enerji teknolojisinin geliştirilmesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çalışmaların yoğunlaştığı alanlar olmuştur. Bu alanlar temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan jeotermal, güneş, rüzgar, hidrojen, biyodizel ve biyogaz enerjileri son yıllarda üzerinde en çok durulan ve araştırılan konuları oluşturmaktadır [2].

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması, mevcut kaynakların sürekli olarak azalmasına neden olmaktadır. Çoğu sınırlı olan kaynakların daha uzun süre insanlığın hizmetinde tutulması için bunların uygun şekilde kullanılması, yenilenmesi veya bu azalan kaynaklar yerine, yeni kaynakların hizmete geçirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde kırsal kesimde yaşayan ve büyük bir bölümü tarımsal üretimle uğraşan nüfusun, enerji ihtiyacının ve gübre açığının giderilmesinde önemli ölçüde katkıda bulunulacağı düşünülen biyogaz üretiminin, alternatif bir enerji potansiyeli olarak kullanılması uygun görülmektedir.

Biyolojik arıtma sisteminin bir alternatifi olan biyogaz üretimi, aslında küçük ölçekli bir anaerobik arıtma sistemidir. Başta hayvan dışkısı olmak üzere, lağım suları, kültür bitkilerinin artıkları, gıda işleme ve kâğıt işleme fabrikalarının artıkları, yabani otlar ve su bitkileri olmak üzere pek çok organik atıklar, biyogaz üretiminde kullanılabilir. Biyogaz üretiminde kullanılan atıkları genel başlıklar halinde şöyle sıralayabiliriz.

Hayvansal Atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk ve domuz gibi hayvanların gübreleri, mezbaha artıkları, hayvansal ürünlerin işlenmesi esasında meydana gelen artıklar.

Bitkisel Atıklar: Hububat, sap ve saman, mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları, fındık kapsülü, yabani otlar, bitkisel ürünlerin işlenmesi esnasında meydana gelen artıklar.

Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar: Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sulardır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen, biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır.

Biyogaz, organik maddelerin fermentasyonu sonucu açığa çıkan ve üretim şekli ile üretilen ham maddeye bağlı olarak meydana gelen renksiz, yanıcı ve karışımında genellikle %60-70 metan, %30-40 CO₂ ve az miktarda hidrojen sülfür, azot, hidrojen ve karbon monoksit bulunan bir gazdır.

Hayvan gübresinin yakılmasının önlenerek tarım topraklarına kazandırılması, kırsal kesime bu enerjinin yerine ikame edeceği bir enerjinin verilmesi ile mümkündür. Bu ikame enerji, yine hayvan gübresinden elde edilebilecek olan biyogazdır.

Atıkların anaerobik fermentasyonu sonucu oluşan biyogaz üretim yöntemi ile hem atıkların çevresel açıdan olumsuz etkisinin azaltılması hem de beraberinde üretilen biyogazın enerji kaynağı olarak kullanılması açısından önemli enerji üretim yöntemidir. Çoklu faydalara sahip bu yöntemin önemi gittikçe artmıştır ve yüksek bir ivmeyle artmaya devam etmektedir. Biyogaz organik yapıdaki atıklardan üretilirirken aynı zamanda mısır, buğday, çimen gibi bazı enerji bitkilerinden de üretilmektedir.

Organik maddelerin anaerobik fermentasyonu sonucunda elde edilen biyogaz, özellikleri nedeniyle doğal gaza benzeyen yanıcı bir gazdır. Doğal gaz veya LPG ile çalışan tüm cihazlarda, küçük modifikasyonlar yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Biyogaz sistemlerinin çekiciliği, çevresel ve sağlıkla ilgili sorunlara yol açan organik atıkları girdi olarak kullanması ve bu atıkları kullanılabilir bir hale dönüştürülmesindendir.

Otomobillerin insanlara sağladığı ulaşım rahatlığı ile hareket özgürlüğü büyüktür. Ancak egzozundan çıkan gazlarla ortam havasını dolayısı ile tüm atmosferi kirleterek, sera etkisi denilen ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan gelen kirliliğin ihmal edilemez ölçüde olduğu bilinmektedir. Özellikle büyük şehirlerde taşıtlardan gelen kirliletiçi emisyonlar, ısınmadan gelenlerden daha fazladır. Taşıtların egzozlarından, özellikle benzin ve dizel motorlu taşıtların egzozundan çıkan karbonmonoksit, hidrokarbon ve azot bileşikleri ve parçacıkların meydana getirdiği çevre sorunları, birçok şehirde ciddi

boyutlara ulaşmıştır. Milyonlarca taşıttan kükürtdioksit, kurşun gibi tehlikeli maddelerin de atmosfere yayıldığını düşünülürse çevreye verilen zararın boyutunu kolaylıkla anlaşılabir. Bu nedenle motorlu taşıtların egsoz gazlarından kaynaklanan hava kirliliği, kalıcı önlemleri gerektiren acil çevre sorunu haline gelmiştir. Ayrıca dünya üzerindeki petrol yataklarının, belirli bölgelerde toplanması ve izlenen politikalar zaman zaman petrol krizlerini ortaya çıkarmıştır. Öte yandan petrolün fosil yakıt olması, kullanım sonucu dünya petrol rezervlerinin gittikçe azalması, petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarının bulunması ve uygulamaya konulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bunun için bulunacak alternatif yakıtın, mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden, doğrudan kullanılması önem taşımaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbonmonoksit, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Kükürtdioksit, kurşun, kurum gibi artıklar da yine motorlu taşıtların etrafa yaydığı zararlı maddelerdendir. Özellikle dizel motorları kükürtdioksit ve kurumun en başta gelen üreticisidir. Karbonmonoksit gazı, kapalı yerlerde insanları öldürebilmekte, azot bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Motorlu taşıtların havayı kirletmelerinin temel sebebi, motorların yeterince verimli çalışamamalarındandır. Pratikte benzin motorlarının verimi %65–75, dizel motorlarınıninki %80–90 arasındadır, bu da yakıtın bir kısmının yanmaması demektir. Böylece havadaki egsoz gazları emisyonu artmakta ve bunun sonucu da hava kirliliği önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca motorlarda kullanılan alternatif yakıtların ekonomikliğide büyük önem taşımaktadır. Özellikle günümüzde artan ekonomik kriz neticesinde yakıtlardan en yüksek verimi almak ve bunun sonucunda da yakıtların ekonomik olması istenmektedir. Ülkemizde taksilerde kullanılan LPG'nin tüm ülkeye yayılması da yakıtın ekonomik oluşundan dolayıdır. Bu sebeple en ekonomik yakıt için çalışmalar devam etmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada hayvansal artıkların belli bir miktar suyla karıştırılması ve havasız bir ortamda bırakılması sonucunda yanıcı bir gaz olan biyogaz elde edilmiştir. Ortamda biriken biyogaz içerisindeki CO_2 ve H_2S 'in belli işlemler ile arındırılması sonucunda, biyogaz içerisinde bulunan metan gazı, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi atölyesinde bulunan deney motorunda biyogazın buji ateşlemeli motorda belirli yük ve devirlerde çalıştırılması, egzoz emisyon değerleri incelenmesi ve aynı motorda yakıt olarak kullanılan benzin ve LPG yakıtının egzoz emisyon değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmesi ele alınmıştır.

2. BİYOGAZ

2.1. Biyogaz Nedir?

Biyogaz, organik materyallerin (gübre, bitkiler, çöp, yemek artığı, kimyasal atıklar, vb.) anaerobik koşullarda biyokimyasal fermentasyon ve mikrobiyolojik faaliyet sonucu parçalanması ile elde edilen, %20 havadan daha hafif olan, ısı değeri 20 MJ/m³ bileşiminde %40–75 metan (CH₄), %25–60 karbondioksit (CO₂), %2 hidrojen sülfür (H₂S) ve azot (N) bulunan yanıcı bir gaz karışımıdır[1].

2.1.1. Biyogazın Önemi

Ülkemizde hayvansal ve bitkisel atıklar, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Ancak atıkların yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atıklardan hem enerji elde edilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir [2].

2.1.2. Biyogazın Tarihçesi

İnsanoğlu 200 yıldan daha fazla bir süredir biyogazı kullanmaktadır. Elektrik kullanımından önce Londra'da fosseptik çukurlardan alınan gaz, sokak aydınlatmasında kullanılmışlar ve gaz lambası ismini vermişlerdir. Daha sonra dünyanın pek çok yerinde ısıtma, aydınlatma ve pişirme amaçlı kullanılmışlardır [1].

Biyogaz çoğu metandan oluşan gaz karışımı 17. yüzyılda bataklıklarda fark edilmiş ve bataklık gazı olarak adlandırılmıştır. Daha sonraları 19. yüzyılda biyogazın, organik atıkların havasız şartlarda bozunmaları ile oluştuğu belirlenmiştir. Biyogaz konusundaki ilkyazılar 1682 yılında Robert Boyle ve Denis Papin ile 1727 yılında Stephen Hales tarafından yazılmıştır. 1895 yıllarında İngilizler biyogaz teknolojisini geliştirerek çok amaçlı kullanmışlardır[3].

1821 yılında Avogadro CH_4 'ü metanın simgesi olarak açıklamıştır. 1887 yılında Popoff, Tappeiner ve Hoppe-Seyle'in selülozun parçalanması ve metan fermentasyonu üzerine birer çalışmaları bulunmaktadır. 1884'de tanınmış bilim adamı bakteriyolog Pastör at gübresinden biyogaz elde etmiş ve bu gazı Paris caddelerinin aydınlatılmasında kullanmıştır. 1955–1972 petrol fiyatlarının düşmesi biyogaza olan ilgiyi azaltmıştır.

1973–1975 yılında başlayan petrol sıkıntısı ve dünyada enerji fiyatlarının yükselmesi biyogaz konusunu tekrar gündeme getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve onların önderliğindeki güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde araştırma, demonstrasyon ve üretim amaçlı ülkelerin kendi koşullarına uygun biyogaz üreteçleri kurulmaya başlanmıştır. Almanya'da 3 yıl içerisinde 58 adet tesis kurulmuştur. Aynı yıl Avrupa Topluluğu ülkelerindeki tesis sayısı da 300'ü bulmuştur. 1985–1990 yılları arasında biyogaz tesisi yapımı yavaşlamıştır. 1990 yılından itibaren özellikle Almanya'da enerji yasasındaki değişiklikler, konfermentasyon teknolojisindeki gelişmeler, gaz motoru ve jeneratör ikilisinin kolay kullanımı, H_2S 'nin gaz içerisinde temizlenebilmesi biyogaz teknolojisinin tekrar kullanılmaya başlanmasına yardımcı olmuştur.

Günümüzde biyogaz teknolojisi enerji üretiminin yanı sıra çevre koruma açısından da büyük öneme sahip olduğu için başta gelişmiş ülkeler olmak üzere biyogaz konusunda büyük gelişmeler göstermektedir[2].

2.1.3. Dünyada ve Türkiye'de Biyogaz

Hayvansal atıklardan yararlanılarak, ilk kez biyogaz üretimi İngiltere'de gerçekleştirilmiş ve elde edilen biyogazla 1985'de Ekseter kenti caddeleri aydınlatılmıştır. Bunu 1900'de Hindistan Bombay'da kurulan biyogaz üretimi izlemiştir. 1900'lü yılların ilk çeyreğinde biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Bazı dünya ülkelerinde biyogaz hakkındaki yaptığı çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Dünya'da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin %80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde kuruludur. Çeşitli ülkelerde kurulu biyogaz tesis dağılımı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Gelişmekte Olan Ülkelerde Biyogaz Tesisi Sayısı

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Nepal	49500
Kore	29.000
Brezilya	2300
Bangladeş	566*

*: Yarıısı Çalışmıyor.

Bangladeş'te kurulu çoğu tesislerin çalışmamasının sebebi, çizim, inşaat ve bakım problemidir. Bangladeş'teki farklı uygulama otoritelerinin olması bu durumu daha da olumsuz etkilemektedir. Bu ülkede mevcut idari ve teknik yapı bu sistemin gelişmesini engellemektedir.

Avrupa da yemek ve gübre artıklarından enerji araştırmaları gün geçtikçe artmaktadır. Danimarka'da 19, Almanya'da 11 ve İsveç'te 10 tane biyogaz üretim tesisi yapımı devam etmektedir [4].

Türkiye bir tarım ve hayvancılık ülkesidir. Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında başlamıştır. 1975 yılından sonra Toprak su Araştırma Enstitüsü ve 1980'li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları uluslararası bazı anlaşmalarla desteklenmiş olmasına karşın 1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle kesilmiştir.

Biyogaz çalışmaları 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'nde başlanmıştır. O yıllarda son derece hevesli bir kadro bu iş için çalışmış, daha sonra 1963–1969 arasında Eskişehir Bölge Toprak su Araştırma Enstitüsü'nde çalışmalar ilerlemiştir. 1982'de Türkiye'de ciddi bir biyogaz projesi başlatılmış ve pilot uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu sırada Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 2,8–3,9 milyar m³ olarak belirtilmiştir. Daha sonra biyogaz, Merkez Toprak su Araştırma Merkezi Ankara'da şimdiki adıyla Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü'nde çalışma alanı olmuştur. O tarihte, her ile 3 tane, bölge merkezlerine 5 adet biyogaz tesisi kurulumu planlanmış ve işletmeye açılmıştır. Bu sırada mevcut özel girişimlere kredi ve teknik yardım sağlanmış olmasına rağmen tesisler işletilememiştir. Çünkü yeterli bir eğitim, üreticilerin danışacağı kurum ya da kişi bulunamamıştır. Bu nedenle biyogaz üretimleri olumlu bir sonuç ile maalesef sonlanmamıştır. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü bu konuya hala önem

vermektedir [5,6,7]. Günümüzde Türkiye'nin bazı Üniversitelerin Teknik Eğitim, Fen, Mühendislik Fakülteleri'nde ve Fen Bilimleri Enstitü'lerinde birçok çalışma yapılmaktadır [7].

2.1.4. Biyogaz ve Oluşumu

2.1.4.1. Biyogazın Kimyasal Oluşumu

Bütün ölü bitki ve hayvansal maddeler bozunmaya uğrar. Bu bozunma veya ayrışma, bakteri adı verilen organizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bazı bakteriler bu bozunmayı havalı ortamda gerçekleştirirler. Bunlara aerobik bakteri adı verilir. Diğer bazı bakteriler ise bu bozunma işlemini havasız ortamda gerçekleştirirler ki bunlara da anaerobik bakteri adı verilir. Bataklıkların dibindeki ölü bitkisel ve hayvansal maddeler anaerobik bir ayrışmaya uğrarlar ve sonunda yüzeyde gaz kabarcıkları (CH_4 , CO_2 ve H_2 gazları) çıkmaya başlar [8].

Tablo 2.2. Optimum Fermantasyon Koşulları [2]

Faz	Proses	Işık	Oksijen	Sıcaklık (°C)	Uçucu asit	PH	Oksidasyon redüksiyon gerilimi
Faz I	Hidroliz ve asit fermantasyonu	Karanlık	Fakultatif	30-40	%2-4	4-4.5	+100/-100
Faz II	Metan fermantasyonu	Karanlık	Obligate	Mesofilik 30-40 Termofilik 50-55	300 mg/l daha az	6.5-7.5	-150/-400

Çevre şartlarının ideal olduğu ve fermantasyon için yeterli miktarda bakteri bulunduğunu varsayarak ne dereceye kadar fermantasyon olacağı reaksiyon süresine bağlıdır, yani belli limitler içinde fermantasyon da buna bağlı olarak azalır.

Fermantasyonun tamamlanabilmesi için gübrenin fermentörün içinde kalması gereken zamana alıkoyma süresi denmektedir. Bu alıkoyma süresi ortamın sıcaklığı ve

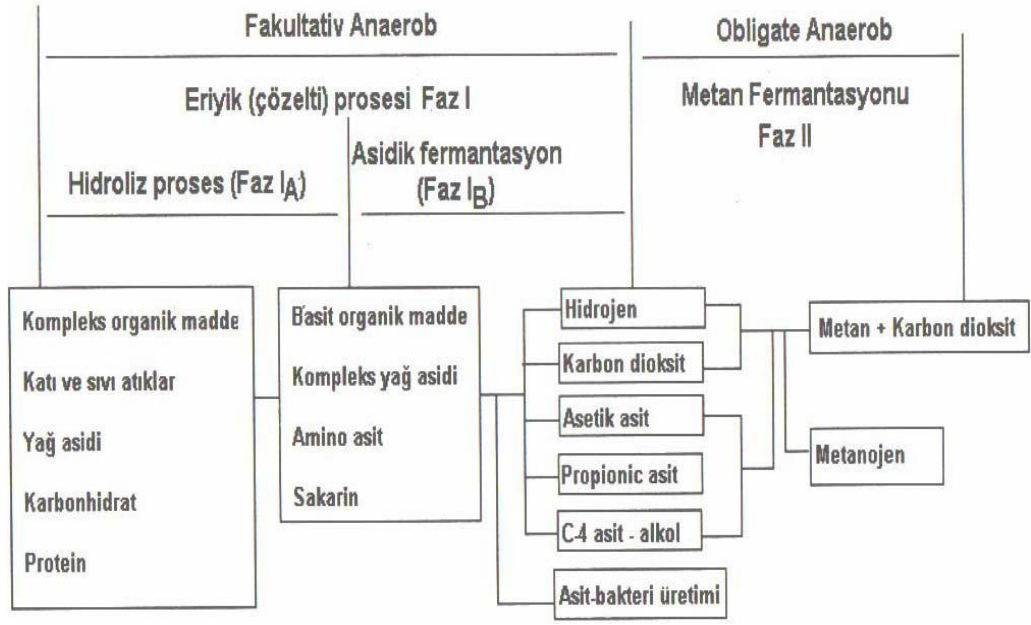
ortamdaki bakteriler için gerekli besin miktarıyla çok yakın ilişkilidir. Pratikte normal yaş sığır gübresi eşit miktarda veya belirli oranlarda su ile karıştırılmak suretiyle optimum katı madde oranı yaklaşık olarak sağlanır. Katı madde oranı değişen iklim şartlarına göre değiştirilmektedir. Yazın gaz üretiminin yüksek olduğu zamanlarda toplam katı madde oranı azaltılır, kışın ise bu oran çoğaltılır. Anaerobik fermantasyonu verimli bir şekilde kontrol edebilmek için bazı parametrelere ihtiyaç vardır. Bunların en önemlileri sıcaklık ve pH'tır. Anaerobik fermantörde meydana gelen reaksiyonlar bir bakteri topluluğunun aktivitesi sonucunda fermantasyon bakterilerinin en verimli şekilde çalışmasını sağlayabilmek için uygun bir sıcaklık sağlanması çok önemlidir.

Belirli limitler çerçevesinde sıcaklığın artması fermantasyon hızının artmasını sağlar. En önemli husus ortam sıcaklık sabit tutabilmektir. Ani sıcaklık değişimleri 1-2°C dahi olsa metan fermantasyonunun kesilmesine ve yağ asitlerinin birikmesine neden olur.

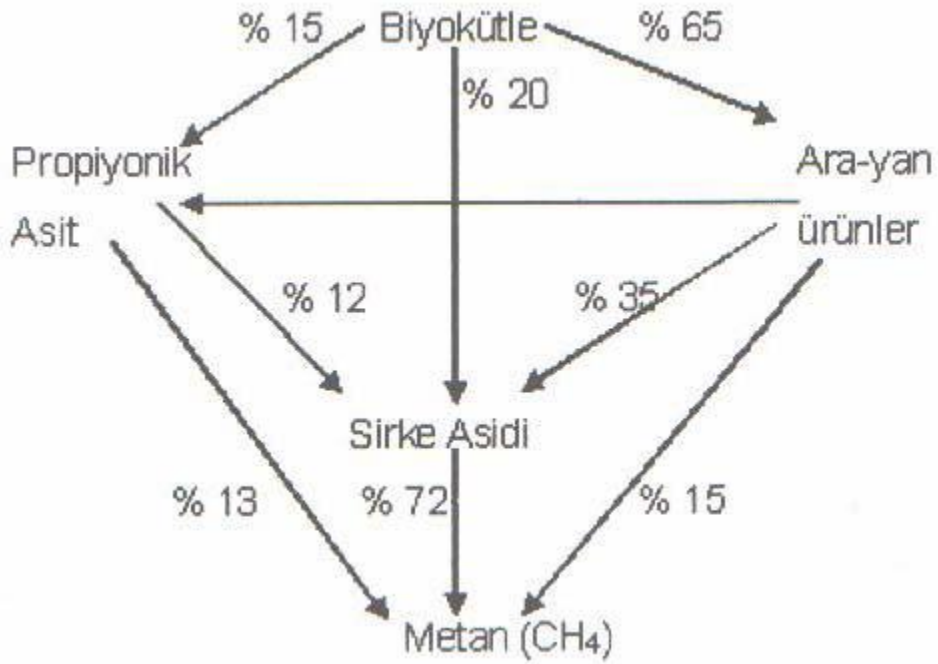
Uçucu asit konsantrasyonunun çok fazla yükselmesi (pH'nın çok düşük olması) amonyak azotu konsantrasyonunun yükselmesi, metan üreten bakterileri öldürür. Bunun yanında, zirai antiseptik maddeler, özellikle toksit olanlar bakterileri yok edebilir. Deterjanlar, ağır metallerde belli bir konsantrasyonun üstündeki bazı tuzlar (NaCl) anaerobik fermantasyonu önleyici etki yaparlar. Bu sebeple hammaddeye, bu gibi zararlı maddelerin herhangi bir şekilde karışmasını kesinlikle önlemek gerekir.

2.1.4.2. Fermentasyon ve Metan Oluşumu

Organik materyallerden metan fermantasyonu oldukça karmaşık, günümüze kadar ayrıntılı incelenmemiş biyokimyasal bir olaydır. Doğadaki en önemli madde dolaşım zincirlerinden birisi olmasına rağmen henüz tam anlamıyla fotosentezde olduğu gibi açıklığa kavuşturulamamıştır [2].



Şekil 2.1. Metan Fermantasyonunun Prensibi

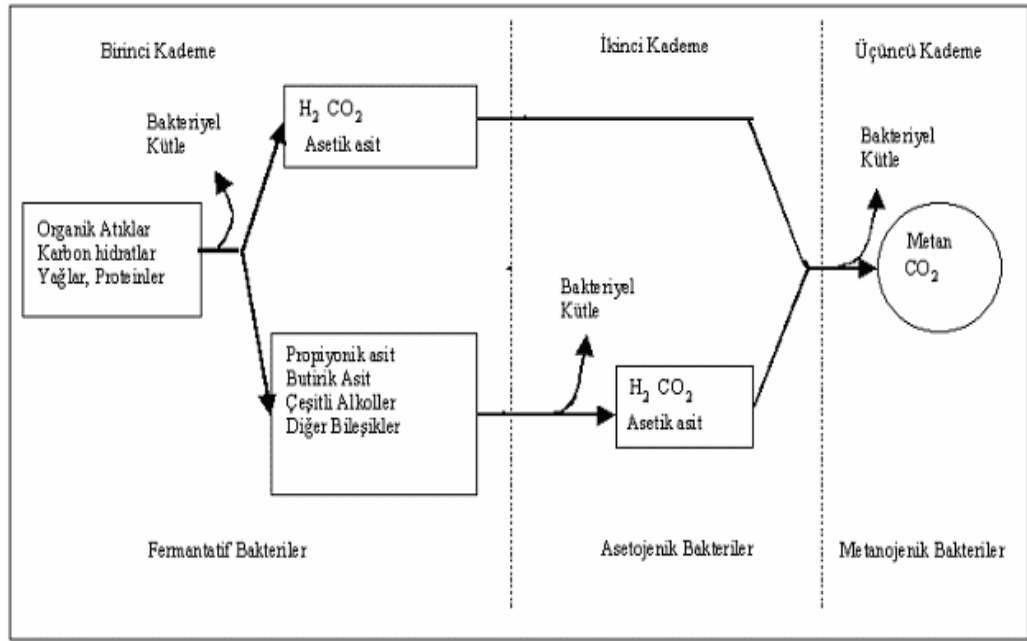


Şekil 2.2. Farklı Ürünlerden Metan üretim Oranları

CO₂ burada H₂ için oksidasyon materyali görevini görmektedir. Aynı zamanda hücreler için de karbon kaynağıdır. Optimum fermentasyon şartları Tablo 2.2 de verilmiştir.

Oksijensiz yaşam çevriminde oluşum sürecinde organik materyallerden metan ve diğer gazları (CO_2 , N_2 , H_2S , O_2 vb.) üreten bakteriler vardır. Biyoatıklar da Salmonella, Listeria, Escherichia coli, Campylobacter, Mycobacteria, Clostridia ve Yersinia gibi birbirinden farklı patojenik bakteri içermektedir [9,10].

Hayvan gübresi içindeki organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar vasıtasıyla sindirilerek metan üretimi 3 kademe gerçekleşmektedir.



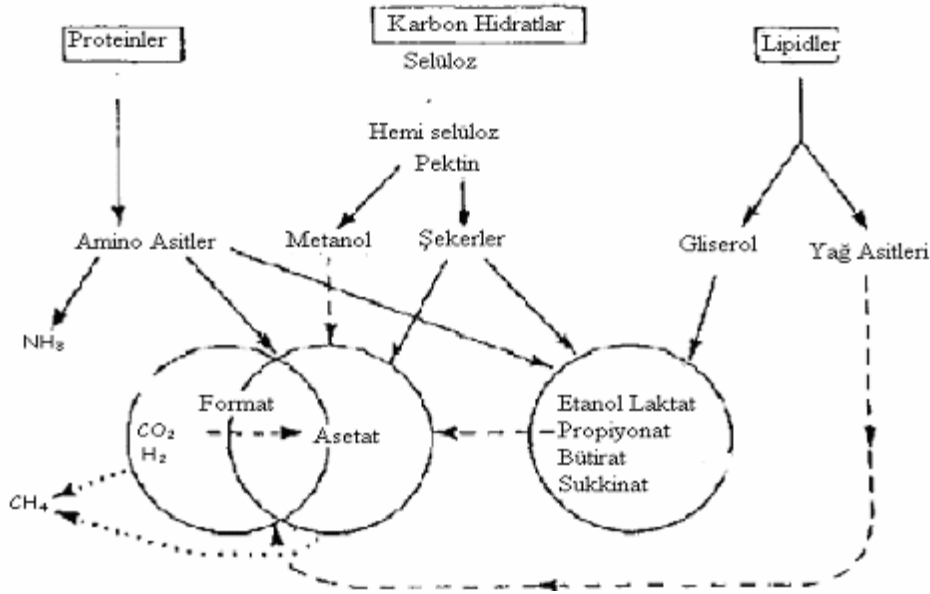
Şekil 2.3. Organik maddelerin anaerobik şartlarda sindirilmesi

2.1.4.2.1. Birinci Kademe

Birinci kademe çamur içindeki çözünür olmayan organik maddeler mikroorganizmaların salgıladığı ekstra selüler enzimlerle çözünür hale dönüştürülür. Bakteriler; uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri, yağları ve lipitleri kısa zincirli yapıya dönüştürürler. Bazı lipitli organik maddeler çözünür hale dönüştürülemez. Dolayısıyla bu maddeler bioreaktörde birikebilir veya reaktörden bozunmadan çıkabilir. Su ve inorganik maddeler bioreaktörde değişmeden birikebilir veya reaktörden çıkabilir. Sindirilmemiş organik maddeler koku problemi oluşturur.

Uzun zincirli polisakkaritler mono sakkaritlere, proteinler peptidlere ve amino grup asitlere dönüşürler. Proteinlerin, karbon hidratların ve lipidlerin daha basit organiklere dönüşümü Şekil 2.4 verilmiştir.

Selüloz ve lignin gibi karmaşık maddeler zor hidrolize olurlar veya hiç hidrolize olmazlar. Bu tür maddelerin bozunma reaksiyon hızı çok düşüktür.



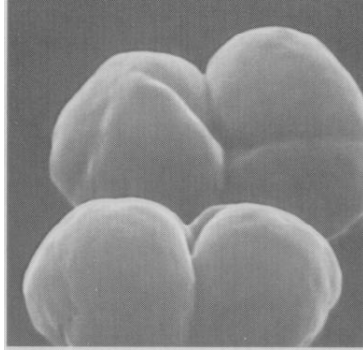
Şekil 2.4. Kompleks organik maddelerin basit organik maddelere dönüşmesi

2.1.4.2.2. İkinci Kademe

Asit oluşturuıcı bakteriler, çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) 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 çözeltildeki bağıli haldeki oksijeni kullanarak sağlarlar. Asit oluşturuıcı bakteriler metan oluşturuıcı bakteriler için anaerobik şartlar oluşturuurlar. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri organik bileşikleri daha düşük molekülülü alkollere, organik asitlere, amino grup asitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve esas miktarda metana dönüştürürler. Havasız reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonu fazla olması istenmez. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH düşmesine neden olur. Buda metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar.

2.1.4.2.3. Üçüncü Kademe

Metan oluşturuıcı bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak veya hidrojen (H₂) ile karbon dioksit (CO₂)'nin sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Havasız şartlarda üretilen metanın yaklaşık %30'u hidrojen gazı ile karbondioksit gazından, %70'i ise asetik asitin parçalanmasından oluşur. Tüm uçucu organik asitler ve çözünen organik bileşikler biyogaza dönüşmez. Bazı organik maddeler arıtılmadan deşarj olur.



Şekil 2.5. Metanogenik bakteri [11]

2.1.4.3. Buswell Eşitliği

Biyogazın içeriğindeki metan(CH₄) ve karbondioksit (CO₂) oranını Buswell eşitliğinden yararlanarak tespit edilebilir.



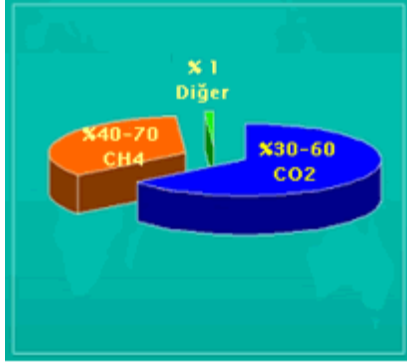
Buswell eşitliğindeki n, a ve b birer sayısal değeri ifade etmektedir. Bunu Polisakkaridlere bir örnek denklem yazılırsa;



Metan üretim süreci yavaştır. Havasız arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilmektedir. Metan oluşturuıcı bakterilerin kullanılabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlı olup bunlar asetik asit, hidrojen (H₂) ve tek karbonlu bileşiklerdir. Sulu ortamlardaki dip çamurları ve evsel çamur, çürütme tesislerindeki CH₄'ün %70'i, asetik asidin metil grubundan, geri kalanı ise CO₂ + H₂'den üretilmektedir. Metan oluşturuıcı bakteriler asidojenik ve asetojenik bakterilerin aksine çevresel şartlara karşı çok hassastırlar [12].

2.1.5. Biyogazın Bileşenleri Özellikleri Ve Kullanım Alanları

Biyogazın bileşimi elde edildiği organik maddenin cinsine ve fermantasyon şekline bağlı olarak değişir.



Şekil 2.6. Biyogaz içindeki CH₄ ve CO₂'nin yüzdelik oranı

Tablo 2.3. Biyogazın bileşenleri[13]

biyogaz bileşenleri		
Metan	CH ₄	40 – 70
Karbon dioksit	CO ₂	30 – 60
Hidrojen	H ₂	5 – 10
Azot	N ₂	1 – 2
Su Buharı	H ₂ O	0.3
Hidrojen sülfür	H ₂ S	Az Miktarda

2.1.5.1. Biyogazın Teknik Özellikleri

Biyogaz da endüstri ve sanayide kullanılan diğer gazlar gibi kendine özgü bir takım özelliklere sahiptir. Biyogaz hidrojen dışında diğer gaz formunda bulunan enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji içeriğine sahiptir. Hava içerisinde bulunduğu durumda tabana çökelmez. Bu nedenle havayla daha hızlı karışır ve havadaki oranı düşer. Bu, ani patlama ve yanma tehlikesini azaltmaktadır. Tutuşma sıcaklığının yüksek olması bu açıdan önemli bir avantaj olarak değerlendirilmelidir. Hava içerisinde yanma hızı (0,25 m/s)

düşüktür. Bunun nedeni CO₂ içermesidir. Yanması için hava içerisinde en az %5 oranında bulunmalıdır. Yanması için 1 m³ biyogaza 5,7 m³ hava gereklidir. Ancak bu oran ideal bir yanmanın sağlanması için %20–30 olarak seçilmektedir.

Biyogazın yanması için gerekli miktarda hava ile karışması ve tutuşma sıcaklığına ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle yanma ortamından geriye doğru alevin ilerleme tehlikesi çok azdır. Biyogazın yanması sonucu su buharı, CO₂, SO₂, azot oksitler, karbon monoksit ve is oluşmaktadır. SO₂'nin nedeni gazda bulunan H₂S'dir. Biyogazdan temizlenmesi durumunda kükürt dioksitin oranı azalır [2].

2.1.5.2. 1 m³ Biyogazın Özellikleri

Normal şartlar altında 1 m³ biyogaz

= 0,66 lt motorin	0,62 litre gazyağı
= 0,75 lt benzin	1,46 kg odun kömürü
= 0,25 m ³ propan	3,47 kg odun
= 0,2 m ³ bütan	12,3 kg tezek
= 0,85 kg kömüre	4,70kWh elektrik enerjisi



Şekil 2.7. Biyogazın LPG ocaklarında yakılması[14]

Yandığı zaman alev rengi LPG gazlarda olduğu gibi mavidir. Normal kullanılan sobalarda yakıldığı zaman %60 verim sağlanmaktadır [15].

Biyogaz üretim şekline göre genellikle nemlidir. Bu nedenle tesisatta biriken suyu zamanla alınması gerekir. Biyogaz içerisindeki metan gazı yanma ve ısı değerleri yönünden diğer gazlara benzemekle birlikte bazı fiziksel özellikleri yönünden propan ve bütan gazlarından farklıdır.

Metan gazı miktarı uzun bekleme sürelerinde yüksektir. Bekleme süresi kısaltılırsa metan içeriği %50'nin altına düşer, bu durumda biyogaz uzun süreli yanmaz. Propan bütan

vb. gazlar oda sıcaklığında, düşük basınçlar da sıvılaştırılabilirken biyogazın sıvılaştırılması çok yüksek basınç ve düşük sıcaklık gerektirdiğinden ekonomik olarak çok masraflıdır. Bu nedenle tüplere doldurulamamakta ve ancak üretildiği yerde kullanılabilmekte veya taşınması borularla yapılabilir. Biyogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir. Metan gazı değeri beslenme materyallerine bağlıdır.

Tablo 2.4. Biyogazın teknik özellikleri [16]

Özellik	Açıklama
Yanma	Yüksek derece
Kullanım alanları	Elektrik enerjisi, Pişirme, ısıtma, soğutma, Kurutma vb.
Yoğunluk	1.2 kg/ m ³ (Havanın yoğunluğu 1.3 kg/ m ³)
Tutuşma sıcaklığı	700°C
Tutuşabilir sıcaklık	CO ₂ içerdiğinden düşüktür
Tutuşma oranı	Hava-gaz karışımını 6/12 biyogaz
Yanma için gerekli hava	Teorik olarak 5.7 m ³ hava/ m ³ biyogaz Pratik olarak % 20–30
Patlama	Biyogaz tek başına yanmaz, çok dikkatli bir şekilde depolanmalıdır hava ile teması veya gaz depolama kısmında sızma yoksa tehlikesi yoktur.
Rengi	Renksiz
Biyogazın ısı değeri ortalama	23000 kJ/ m ³ (4700 – 6000 kcal/m ³)
Kokusu	Metan kokusuzdur fakat diğer gazların içeriğinden dolayı sarımsak kokusuna benzer bir kokusu vardır

2.1.5.3. Biyogazın Avantaj ve Dezavantajları

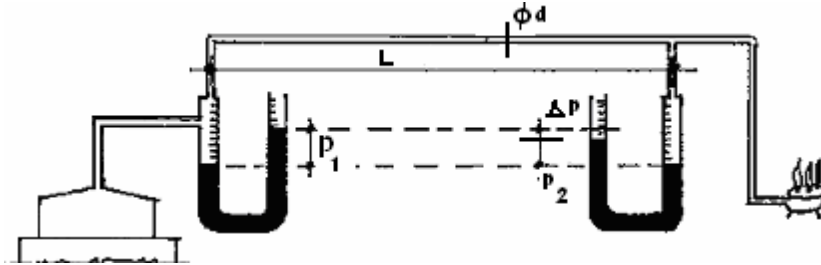
Hayvansal ve bitkisel organik atık/artık maddeler, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Bu tür atıkların özellikle yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldedilmesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkân vermektedir.

- Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır.
- Atık geri kazanımı sağlar.

- Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.
- Hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır.
- Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.
- Biyogaz temiz ve ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır.
- Biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmektedir.

2.1.5.4. Üretilen Biyogaz Miktarının Ölçülmesi

Büyük tesislerde biyogazın depolanacağı yere gazı iletecek olan boruların çaplarını belirlenmesi için borulardan geçen biyogazın hızı şekil 2.8' de gösterilmektedir.



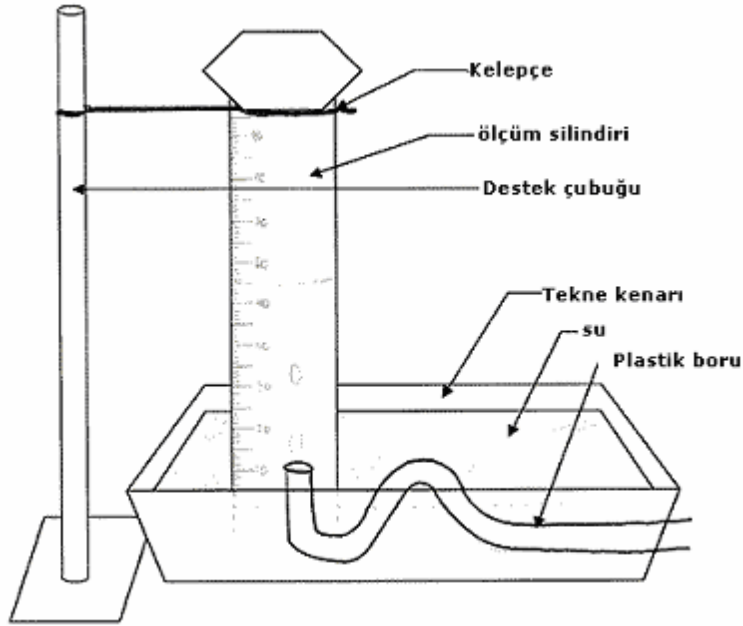
$$Q = c \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot d^5}{S \cdot L}} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2.2)$$

Şekil 2.8. Borulardaki biyogazın hızının ölçülmesi.

P: Basınç(cm), L: Boru uzunluğu(m), d: borunun çapı(cm), c: borudaki sürtünme (çelik galvaniz borular için 2,24), s: havaya bağlı yoğunluk ve Q: gaz akışı(m³/h)[49].

Bir su teknesinin içine daha önce ml ölçüm cinsinde dik konulmuş bir cam tüpün içine bir hortum konularak tüpün içine biyogaz girişi sağlanarak suyun ve biyogazın yer değiştirme yöntemi ile biyogaz miktarı ölçülebilmektedir.

Biyogazın ihtiva etmiş olduğu metan miktarı büyükbaş hayvanların günlük besi değerleri ile orantılı olarak değişebilmektedir.



Şekil 2.9. Küçük ölçekli biyogaz miktarı ölçüm düzeneği [17]

2.1.5.5. Biyogazın Depolanması

Anaerobik arıtma sonucu oluşan biyogaz farklı tip kaplarda depolanır. Bunlar;

1. Su sızdırmaz, yüzebilir gaz tutucu
2. Gaz torbaları
3. Yüksek basınçta depolamak için ayrı gaz tanklarıdır [12].

Biyogazın çoğu metandır ve kolay depolanamayan bir yakıttır. Metan $-82,5^{\circ}\text{C}$ 'de ve 47,5 bar basınçta sıvılaşmaktadır.

Tablo 2.5. Basınçlara göre biyogaz depolama sistemleri[18]

Basınç	Depolama şekli	Kullanılan deponun malzemesi
Düşük (0,138–0,414 bar)	Su Sızdırmaz Gaz Tutucu	Çelik
Düşük	Gaz torbası	Lastik, Plastik, Vinil
Orta basınç (1,05–1,97 bar)	Propan veya bütan tankı	Çelik
Yüksek basınç (200 bar)	Ticari gaz Silindirler	Alaşım

Biyogaz üretimi organik atıkların kontrollü ve uygun koşullarda depolanmasını sağlar. Çiftlik kökenli organik atıkların gübrelerin kontrolsüz depolanması yeraltı yerüstü sularının, toprağın ve havanın kirlenmesine neden olur. Gübrenin içerdiği azotlu bileşenler toprakta depolanır, yıkanır ve gaz halde atmosfere karışır. Azot, nitrat formunda (NO_3^-) yeraltı suyuna karışarak, amonyak halinde (NH_3) azot oksit yağmurlarına neden olarak ve azot oksit (N_2O) yapısında da sera etkisine neden olarak çevreyi kirletir. Gübreden ayrıca metan gazı (CH_4) çıkışı havayı kirletmektedir. Azot oksitler karbondioksitten (CO_2) 150 kat daha fazla ozon tabakası için zarar oluşturmaktadır. Biyogaz üretimi sonrasında organik yapıdaki C/N oranı küçülür; böylece NH_3 , CH_4 ve N_2O ve nitrat kirleticileri azalır.

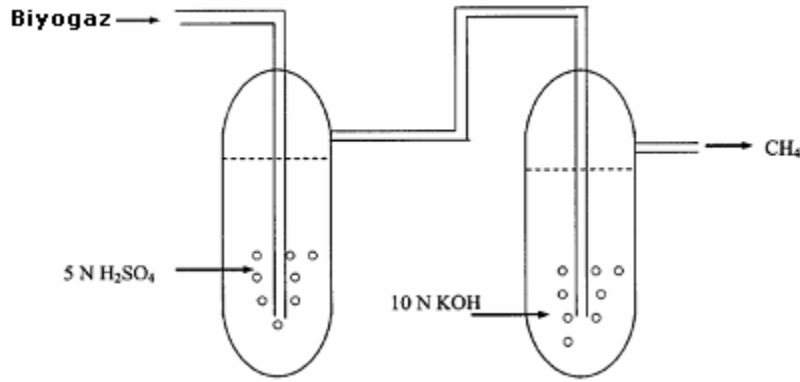


Şekil 2.10. Biyogazın depolanması [5]

2.1.5.6. Biyogazın içindeki CO₂ ve H₂S Bertaraftı

Biyogazın içindeki CO₂ ve H₂S yanmayı olumsuz yöne etkilediği ve biyogazın yanma verimini düşürdüğü için çok değişik yöntemlerle bertaraf edilebilir.

Saf metan elde etmek için, biyogazı yıkama metodu kullanılmaktadır. Üretilen biyogazı belirli miktarlardaki 5N H₂SO₄ ve 10N KOH gibi asit çözeltilerden geçirilerek yapılmaktadır.



Şekil 2.11. Biyogazı yıkama yöntemi [19]

2.1.5.6.1. Biyogazın İçindeki CO₂ Bertaraftı

- Fiziksel soğurma
- Kimyasal soğurma
- Bir katı yüzey üzerinde adsorpsiyon
- İnce zardan geçirme
- Kriyojenik ayırma
- Kimyasal reaksiyon metodu

2.1.5.6.2. Biyogazın İçindeki H₂S Bertaraftı

- Kuru oksidasyon süreci
- Demir oksit adsorpsiyon kullanarak [20]

2.1.5.7. Biyogazın Kullanımı

Biyogazın üretiminin temel amacı çevreye zarar vermeden ısı ve elektrik enerjisi üretimidir. Ancak bunun kadar önemli bir diğer amacı da organik atıkların kontrollü koşullarda depolanmasının sağlanması, arıtma etkisinin bulunması, organik atıklardan kaynaklanan koku sorununu büyük ölçüde çözmesi ve tarımda organik gübre kullanımını kolaylaştırmasıdır. Biyogaz üretiminin amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [21].

Biyogazın evsel amaçla kullanımında verim %80'e ulaşmaktadır. Bu amaçla AB ülkelerinde geliştirilmiş birçok sistem bulunmaktadır. Günümüzde biyogaz büyük oranda elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Gaz motorunun soğutma suyu üreticin ısıtılması için kullanılarak sistemin enerji bilânçosu iyeleştirilmektedir. Özellikle F.Almanya, Danimarka, Hollanda, İsveç ve benzeri ülkelerde yaygındır.

Biyogazın elektrik üretiminde genelde izlenen iki yöntem bulunmaktadır. Birincisinde işletmenin gereksinim duyduğu miktarda enerji üretilmektedir. Bu sistemde gazın depolanabileceği yeterli büyüklükte deponun bulunması gerekir. İkinci sistemde ise üretilen tüm biyogaz elektrik enerjisi için kullanılır. İşletmenin ihtiyacı dışında kalan elektrik enerjisi satılır.

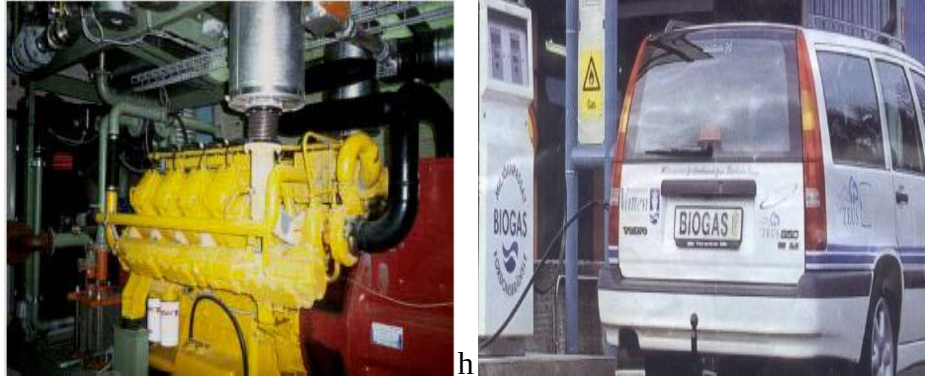
2.1.5.7.1. Biyogazın Motorlarda Kullanımı

Günümüzde biyogaz içten yanmalı motorlarda yakılarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Yapılan küçük ölçekli deneylerde içten yanmalı motorların kapasite oranı 200 kW'tan daha düşüktür ve bunun %25 daha az miktarda elektriğe dönüşmektedir [28].

Büyük motorlar bunun büyük bir kısmını yararlı elektriğe çevirebilir bir motor %38 verimlilikle biyogazı 600–1000 kW arasında yararlanılabilecek elektriğe çevirebilirler [22].

Özel dizayn edilmiş biyogaz motor çeşitleri

- Dört zamanlı dizel motor
- Dört zamanlı ateşlemeli motor
- Çevrimli(modifiye edilmiş) dizel motor
- Çevrimli(modifiye edilmiş) ateşlemeli motordur



Şekil 2.12. Biyogazın motorlarda kullanımı [23]

Birçok ülkede otobüslerde ve diğer taşıma araçlarında dizel motorlara alternatif enerji ve çevreci olarak bakılmaktadır. Biyogazın kullanıldığı motorların gürültü seviyesi dizel kullanılan motorların gürültü seviyesinden düşüktür bu pozitif bir sebeptir, ayrıca egzoz gazının emisyonu dizel motorların egzoz gazının emisyonundan çok daha düşüktür ve n²itrojen oksit emisyonu çok düşüktür [16].

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

Yüksek maliyete rağmen filtre içerisinde, yüksek yoğunlukta çelik kullanılmalıdır. Filtre edilmeyen gaz motorlarda kullanılabilir. Gaz basıncı motor emişinden dolayı düşük olabilir. Motoru çalıştırmak için biyogaz kullanımı pek yaygın değildir. Biyogaz yüksek yanma sıcaklığına sahip olduğundan dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda %100 biyogaz kullanılarak çalışma sağlanabilir. Biyogaz dizel yakıtından daha yavaş yanar bu nedenle motor devri 2000 d/d'dan daha düşük motorlarda kullanılmalıdır [24].

2.1.5.7.2. Biyogazın Evsel Cihazlarda Kullanımı

Biyogaz diğer yanıcı gazların kullanıldığı yerlerde kullanılabilir. Biyogaz hava ile 1/20 oranında karıştırılırsa yüksek patlama meydana gelir. Biyogaz kullanılırken kullanılan aletin ayarlarının iyi olması gereklidir. Gaz basıncı 5-20 cm SS ise pişirme için çok ideal bir basınçtır. Lambalar yaklaşık 10 cmSS'na ihtiyaç duyarlar. Biyogaz kullanılan lambalar düşük verimlidir. Fitilleri uzun süre dayanmaz Biyogazın fitle gelmeden önce hava ile

karıştırılması önemlidir. Biyogaz ünitelerinde hidrojen sülfatın yoğunlaşması ile aşındırıcı asitler oluşur. Bu nedenle su ısıtıcıları, buzdolapları kısmi risk taşırlar. Yanmanın meydana geldiği yerlerin (ocak vb.) dökme çelikten veya yüksek yoğunluktaki emayeden olmalıdır. Biyogazın içerdiği sülfat demir oksit filtre ile giderilebilir.



Biyogazlı tek gözlü ocak



Biyogaz su ısıtıcısı

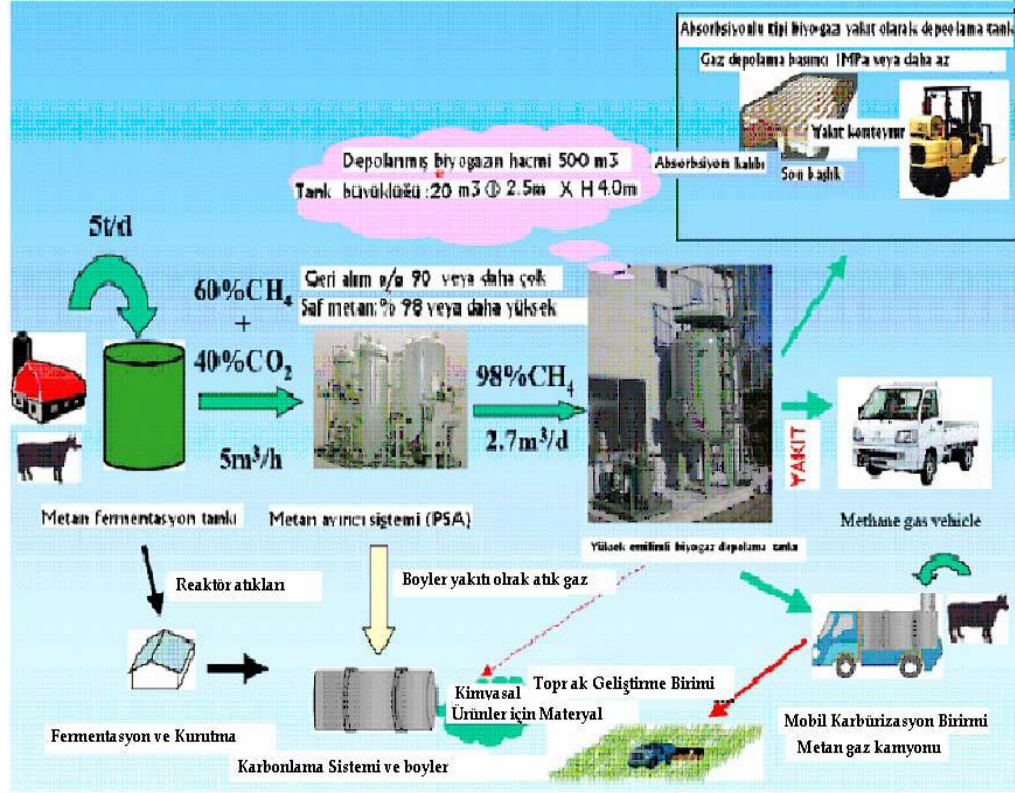


Biyogaz sayacı



Biyogaz lambası

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de elektrik enerjisine çevrilerek de 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.



Şekil 2.13. Biyogazın üretim ve kullanım alanları [25]

Özetle biyogazın kullanımı şu şekilde belirtilir:

- Doğrudan yakarak ısınma ve ısıtma
- Motor yakıtı olarak kullanımı suretiyle ulaşım
- Türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi,
- Yakıt pillerinde hidrojen kaynağı olarak kullanımı,
- Mevcut doğalgaza katılarak maliyetlerin düşürülmesi,
- Kimyasal maddelerin üretimi sırasında biyogaz kullanımı.

2.1.6. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz enerjisinin üretimine etken eden faktörler çeşitlidir. Bunlar biyogaz üretimi sırasında fermentasyonu etkileyerek oluşacak gaz miktarını ve gazın CH₄ miktarını etkilemektedirler.

2.1.6.1. Biyogaz Tesisinde Kullanılacak Materyal İle İlgili Faktörler

Biyogaz farklı atıkların oksijensiz ortamda reaksiyona girmesi ile üretilen gaz olduğu için, üretilen gazın miktarı ve kalitesi doğrudan, tesiste kullanılacak atığın kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından birçok faktöre dikkat edilmelidir.

- Materyalin cinsi ve içeriği
- Kuru madde ve organik kuru madde oranı
- İçerdiği yataklık miktarı
- Partikül büyüklüğü
- Yabancı madde oranı
- Yoğunluğu

2.1.6.2. Biyogaz Sistemindeki Üreteçle İlgili Özellikler

Biyogazın üretim miktarı ve verimliliği açısından atığın işlenecek olan üretecın, atıklardan biyogazın üretim sınır şartlarını sağlaması gerekir.

- Üretecın boyutları ve hacmi
- Üretecın yapıldığı malzeme
- Karıştırma, yükleme ve boşaltma sisteminin özellikleri
- Isıtma sistemi ve yalıtım özellikleri
- Bulunduğu yer

2.1.6.3. İşlem Süreci ile İlgili Özellikler

- Uçucu katı madde (UKM) oranı ve organik kuru madde oranı
- Hidrolik yükleme oranı ve bekleme süresi
- Fermantasyon sıcaklığı
- Kuru madde ve organik kuru madde oranı[2]

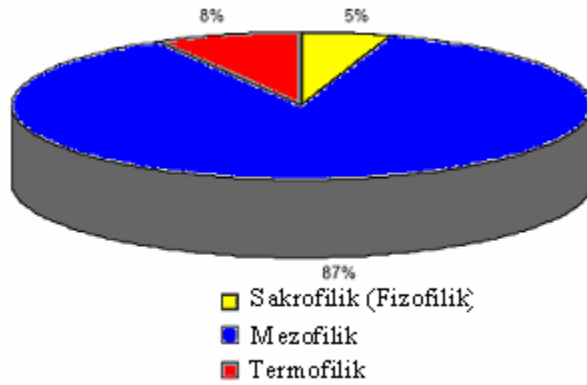
2.1.7. Fermentasyon Esnasında Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

2.1.7.1. Sıcaklık

Metan bakterileri 0°C ile 70°C arasında aktifler, nadir rastlanan bazı cinsleri 90°C ye kadar canlılıklarını sürdürebilirler. En düşük sıcaklığın 3–4°C olması gerektiğine karşılık 0°C’de gaz üretimi olabilmektedir [34].

Temel olarak sıcaklığın yükselmesinin biyokimyasal reaksiyonları hızlandırdığı bilinmektedir. Fermentasyon sırasında oluşan olaylar enzimler tarafından kontrol edilirler veya enzimler katalizör görevi görürler. Enzimlerin etkilerinin veya enzim miktarının sıcaklığa bağımlı olması biyogaz fermentasyonunun sıcaklığa bağımlı olmasına neden olmaktadır.

- Sakrofilik (Fizofilik) bakteriler $\leq 20^{\circ}\text{C}$
- Mezofilik bakteriler 20°C ve 40°C arası
- Termofilik bakteriler $\geq 40^{\circ}\text{C}$



Şekil 2.14. Günümüzde dünyada kurulu olan tesislerde kullanılan sıcaklık dağılımı[26]

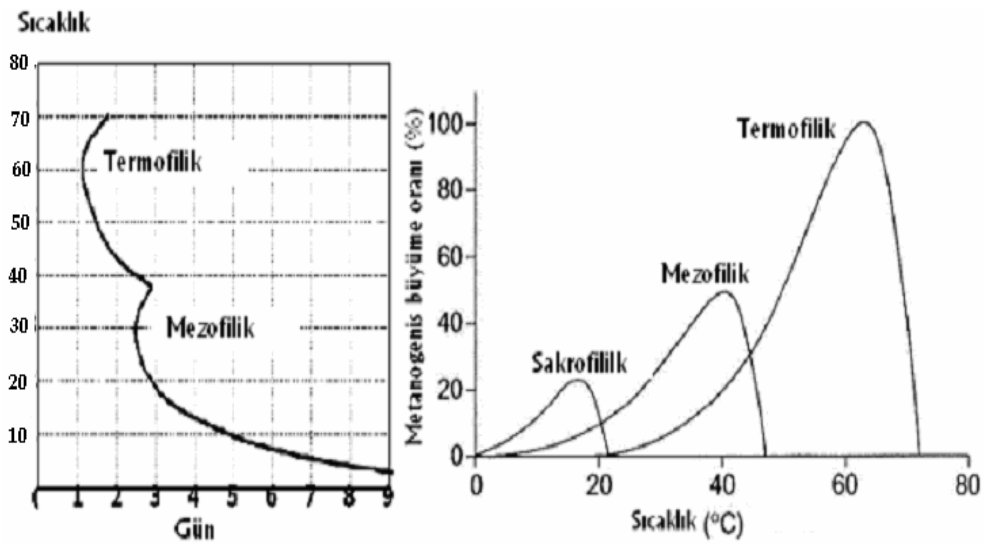
Anaerobik fermentasyon da asit ve metan bakterilerinin sıcaklığa karşı çok hassas oldukları için ani sıcaklık değişimleri de biyogaz üretimi veya fermentasyonun kimyasal veya biyolojik reaksiyonunu etkilemektedir. Özellikle Termofilik koşullarda çalışan biyogaz tesisleri ani sıcaklık değişimlerine karşı daha duyarlıdır. Sıcaklığın yüksek olması amonyak miktarını arttırarak fermentasyonu olumsuz yönde de etkileyebilmektedir [30].

Fizofilik (Sakrofilik) sıcaklık $\pm 2^{\circ}\text{C} / \text{h}$

Mezofilik sıcaklık $\pm 1^{\circ}\text{C} / \text{h}$

Termofilik sıcaklık $\pm 0,5^{\circ}\text{C} / \text{h}$

Metan üreten bakteri için optimum sıcaklık yaklaşık olarak 35°C 'dir. Fermenterin içindeki bulamacın sıcaklığı düştüğü zaman biyogaz üretimi büyük ölçüde yavaşlamaktadır.



Şekil 2.15. Mezofilik, Termofilik ve fizofilik sıcaklıklarda metanogenislerin büyüme oranı ve Termofilik ve mezofilik sıcaklığının zamana göre değişimi [27,28].

2.1.7.2. Hammadde Konsantrasyonu

Biyogaz fermentasyonunun da kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği pek çok faktöre bağlıdır. Günümüzde biyogaz teknolojisinin ulaştığı düzey ve kullanılan materyal çeşitliliği dikkate alınırsa içerdiği kuru maddenin ne denli farklı olacağı açıktır. Bunlardan tavuk gübresi ortalama %22, sığır gübresi %10, koyun gübresi %24 kuru madde içermektedir.

Yüksek kuru madde konsantrasyonlarının gaz üretimini artırdığı ve gerekli olan üreteç hacmini azalttığı yapılan çalışmalarla bilinmektedir. Bunun yanında hammadde özgül gaz üretimini azalttığı da yine çalışmalar sonucu açıklanmıştır.

2.1.7.3. Yükleme Oranı

Yükleme oranı kuru madde içeriği ve bekleme süresi bağımlılığında oluşan bir faktördür. Birim üreteç hacmine günde yüklenen organik kuru madde miktarını tanımlamaktadır. Bekleme süresi ise teorik olarak yüklenen materyalin üreteç içerisinde kalma süresidir. Yükleme oranının artması ile üreteç özgül metan üretim miktarının arttığı bilinmektedir [29].

2.1.7.4. Alıkoyma (Bekleme) Süresi

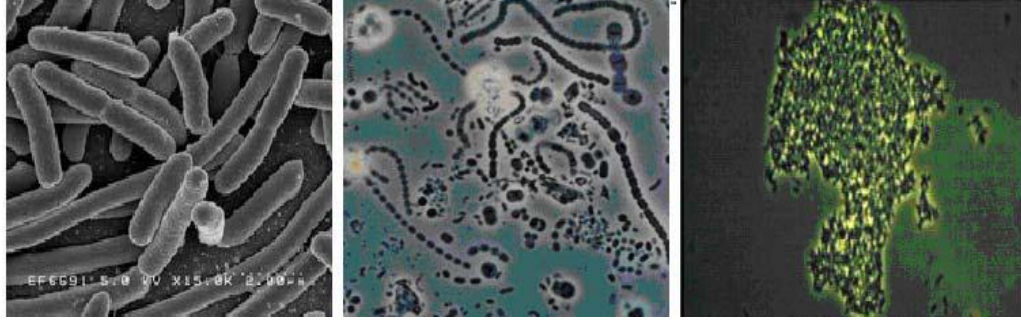
Bulamacın tesiste bekleme süresi doğrudan, kimyasal reaksiyonun meydana geldiği hacmin büyüklüğüne ve tesisin beslenmesine bağlıdır. Uygun sıcaklıktaki bakteriler alıkoyma süresi esnasında bulamacın içindeki besinleri kullanarak metan üreten bakterileri oluştururlar ve bu zaman periyodunda metan üreten bakteriler metanı üretirler.

2.1.7.5. Reaksiyon Ortamı

Biyogazı üreten bakteriler anaerobik olduğundan dolayı, fermantasyonun meydana geldiği ortamın havası boşaltılmalıdır veya havayla irtibatı kesilmelidir.

2.1.7.6. Bakteriler

Methanogenik bakteriler kimyasal reaksiyonu büyük ölçüde etkilemektedirler. Eğer fermantasyonun içindeki bakteriler az ise gaz üretimi de az olur. Fermantasyonun içindeki kimyasal oluşum iki önemli aşamadan meydana gelmektedir. Birincisi bakteriler kompleks organik materyalleri parçalar yani çürütürler, ikincisi parçalanan organik materyalle methanogenik mikroorganizma adı verilen çeşitli bakterileri üretirler. Eğer bu bakteriler kullanılan atığın içindeki hücresel materyallere büyümeden veya olgunlaşmadan reaksiyona girerse metan üretimi olmaz ve reaksiyon durur.



Şekil 2.16. Metan üreten bakterilerin dijital mikroskopta görünümü[38]

Sindirim çukurlarının içindeki asit ve metan oranı sıcaklık, karıştırma ve neme karşı aşırı duyarlı ve hassas organizmalar yaşar. Metanogenesis bakterilerin birçok türü ve çok değişik karakteristikleri vardır. Farklı şekildeki metan bakterileri fizyolojik çok ortak özelliklere sahiptir fakat hücresel yapısı içinde heterojendirler [30].

Metanogenesis bakterilerinin yavaş gelişen kimyasal ve biyolojik haline nazaran fiziksel hassasiyeti aniden değişir. Örneğin: Fermente bölümündeki bulamacın sıcaklığının aniden 28°C düşmesi veya yükselmesi metan üreten bakterilerinin büyümesini ve gaz üretimini önemli derecede etkileyebilir [31].

2.1.7.7.1. Metan bakterileri için Uygun Eko Sistem

Metan bakterilerinin optimal metan gazı üretebilmeleri için aşağıdaki ekolojik parametreler dikkate alınmalıdır:

- Bakteriler için yeterli miktarda tutunma yüzeyinin bulunması,
- Yeni hücrelerin oluşturulması ve inşası için yeterli miktarda azotun bulunması,
- Reaktördeki pH değerinin 7.0 – 7.6 arasında olması
- Metan bakterileri için substrat sirkeasiti cinsinden organik asit olarak konsantrasyonu
- 500 – 1500 mg/l dolayında olması
- Reaktörün sıcaklığının mutlaka $> 30^{\circ}\text{C}$ olması,
- Karanlık ortam, ışık yaşamlarını felce uğratabilmesi,
- Ortamda oksijen kesinlikle bulunmamalı,
- Minimum su miktarı da %50 olması,

- Asitleştirme ve metanlaştırma fazının iç içe olması ve pH'nın asidik sahaya kaymaması gerekir
- Kükürdün de miktarı $> 200 \text{ mg/l}$ olmamalıdır.
- Çürüme kademesinde elde edilen, parçalama ve metabolizma ürünlerini konsantrasyonu metan bakterileri için yeterli düzeyde olmalıdır.
- Substrat'daki besin maddesinin miktarı,
- Besin maddesi bakteri arasındaki temas sıklığı
- N/C oranının yüksek olmaması; (Karbon dengesi = $\text{Co/Fo} = \text{Organik karbon} / \text{organik madde} = 0,53$)

N/C oranı küçük olursa, o zaman N eksikliğinden dolayı mikroorganizmaların gelişmesi engellenir. N/C oranı büyük olursa karbonlu maddenin parçalanması, enerji üretimi az olacağından engellenir. Azotun fazla bulunması, amonyak oluşmasına ve ortamın pH'ının artmasına neden olur. Azot en azından, $7 \text{ mg N} / \text{g organik madde}$ olarak bulunmalıdır.

Substrat içinde ne kadar çok organik madde bulunursa, asit üreten bakteriler de o kadar çabuk gelişirler. Bu da birinci fazda ara ürünlerin yığılmasına ve böylece de çürütme kulesinde (çürütme reaktöründe, depo içinde veya çiftlik biyogaz tesisinde) asit konsantrasyonunun artmasına; pH değerinin düşmesine neden olur [32].

2.1.7.7. C/N Oranı

Karbon ve azot gibi elementler anaerobik bakteriler için temel besinlerdir. Karbon elementi enerji için, azot ise yapı hücresinin inşası (yapımı) için kullanılmaktadır. Bakteriler karbonu azota göre 25–30 kat daha hızlı kullanırlar, bu yüzden C/N oranı, 25–30:1 Eğer karbon azot oranı dengede (uygun) değilse belli miktarlarda üre veya alçı taşı kullanılarak bu oran düşürülüp yükseltilebilir[33,34].

2.1.7.8. pH Değeri

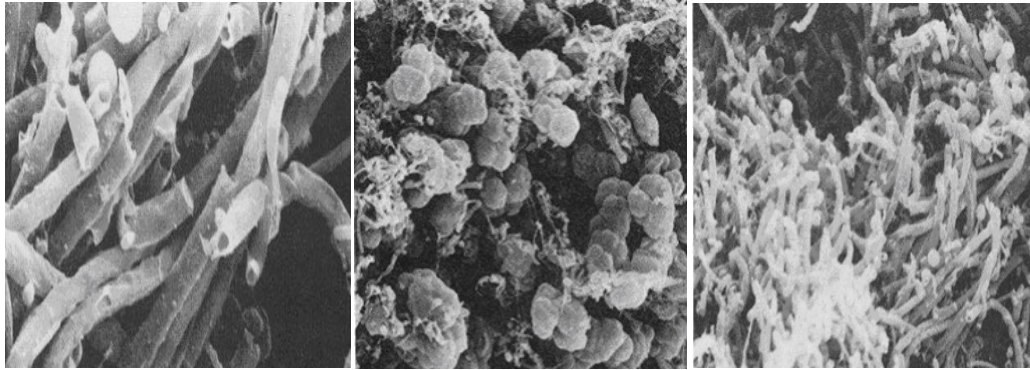
pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltide bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ve daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir [48].

- $\text{pH} < 7$ ise ortam asidik
- $\text{pH} > 7$ ise ortam bazik demektir.

Bütün canlı hücrelerin iç ortam pH'ı 7 civarındadır. Asit üreten bakterilerin 5.5 gibi düşük pH'da faaliyet göstermesine karşın metan üreten bakteriler pH 6.5 olan ortamlarda yaşayamazlar bunlar için en uygun pH 6.8–7.2 arasında veya 6,5–8,5 olabilir fakat 0,5 artma veya azalma sistemin gaz üretimine zarar vermez [33,34].

Başlangıçtaki asit fazı esnasında $\text{pH}=6$ 'ya veya daha aşağıya düşebilir. Bu arada büyük miktarda CO_2 gazı açığa çıkar. 2-3 hafta sonra uçucu asitlerle azotlu bileşiklerin sindirilmesi ve amonyak bileşiklerinin oluşması sırasında asitlik yavaş yavaş azalır. Fermantasyon ilerledikçe daha az CO_2 ve daha fazla CH_4 üretilmeye başlanır ve pH yavaş yavaş 7'ye yükselir.

Eğer sistemin dengesinde, uçucu yağ asitlerinin birikimi sonucu bir bozulma olursa pH da düşme görülür. Bu gibi durumlarda pH ayarlaması yapmak gerekir. Bunun içinde; su ile seyreltme, kireç, yanmış kül ilave etme fermentörden bir miktar çamur boşaltıp yerine bir miktar taze hammadde koyma gibi işlemler faydalı olur, yalnız bu durumda çok homojen bir karıştırma gerekir. Eğer karışımın bazikliği artarsa çok miktarda CO_2 gazı açığa çıkar, bu da karışımın asitliğinin artmasına sebep olur ve bir süre sonra sistem kendini dengeler. Biyogaz fermantasyonu mikro biyolojik işlem olduğundan bazı faktörler bu mikrobik faaliyetler önler [35].



Şekil 2.17. pH farklı değerlerdeki metan bakterisinin elektronik mikroskopla görüntüleri(10 μm)[34]

2.1.7.9. Karıştırma

Biyogaz üretiminde kullanılan atığın fermenterde karıştırılmasının biyogaz üretimine olan etkisi çok önemlidir. Bunlar;

- Metanojenlerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması
- Taze hammaddenin bakteri popülasyonuna homojen olarak karışması
- Çökelmelere ve heterojeniteye engel olunması
- Homojen sıcaklık dağılımının sağlanması
- Bir bakteri popülasyonunun fermenter içinde iyice dağılması
- Fermenter içinde heterojen ölü bölgelerin oluşmaması

Yukarıda sıralanan işlevlerin verimliliğini artırmak için uygun bir karıştırma elemanının seçimi önem kazanmaktadır. Modern biyogaz tesislerinde, daldırılmalı motorlara bağlı mekanik marine tip karıştırıcılar, hidrolik karıştırma sağlayan pompalama sistemleri veya gaz enjeksiyonuyla oluşan pnömatik karıştırma ve mekanik karıştırma sistemleri kullanılmaktadır.

2.1.7.9.1. Karıştırmanın Avantajları

Biyogaz üretilen birçok atık içerisindeki fiziksel özelliklerden dolayı reaksiyon esnasında diğer atıklarla veya bulamaçla bire bir temas etmesi için karıştırma veya çalkalama yapmak gerekir. Fermenterdeki atığın karıştırılmasının veya çalkalamanın birçok avantajları vardır. Bunlar;

- Metanogenisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak.
- Bakteri popülasyon ile taze atığın birbirine karışımı sağlanarak reaksiyonu hızlandırma.
- Fermantasyon esnasında atığın üst yüzeyindeki köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partükülerin fermentörün (reaktörün) taban kısmına çökmesini engeller.
- Fermenterdeki atığın sıcaklık dağılımını eşitleme.
- Bulamacın içindeki bakteri popülasyon yoğunluklarını düzenleme.

- Fermentördeki ölü alanı, karıştırma yöntemi ile kullanılarak fermenterdeki boş alan hacminin fermantasyon üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirir [36].

2.1.7.10. Gobar (Atık sıvısı) ve Su Oranı

Bu oran fermentlerdeki besin materyallerine bağlıdır, yinede fermentlerdeki bulamaçta hiç tabakalaşma (katmanlaşma) olmamalıdır, başka bir deyişle bulamaçla gobarın tam karışımı sağlanmalıdır. Eğer bulamacın en alt kısmı ile en üst kısmının büyük bir farklılık veya büyük bir değişiklik varsa katmanlaşma olabilir. Genellikle gobar su oranı 1/1 olmalıdır veya atığın kıvamına göre su eklenmelidir, eğer suyun miktarı çok olursa gaz üretimi azalır.

Fermentlerdeki bulamaç ne çok katı %14'ten daha büyük, ne çok sıvı %6'dan daha küçük olmalıdır. Fakat toplam katının %8–10 olmalıdır. Eğer domuz veya kümes hayvanı gübresi kullanılırsa toplam katının içeriği %6 olmalıdır.

2.1.7.11. Uçucu Asitler

Uçucuların bileşiminde asetik asit, propionikasit, bütirik asit, vb. asitler bulunmaktadır. Uçucu asitler fermentlerdeki bulamacın gerçek durumunu belirttikleri için pH dan daha önemlidir. Ölçümleri kolay değildir.

2.1.7.12. Katı İçeriği

İşlenecek atığın katı içeriği de önemli etkenlerden bir tanesidir. Örneğin büyük baş hayvanın taze gübresinin katı içeriği %15-24 tür. Bu atığın işlenebilmesi için katı içeriği %8–10 olmalıdır.

2.1.7.13. Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), evsel ve endüstriyel atık suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı gibi ancak ondan farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlar değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Bu parametre ile atıkların bünyesindeki

organik maddeler, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenir [37].

2.1.7.14. Zehirli Materyaller

Bazı atıklar veya hayvan gübreleri özel besin ve kullanılan ilaçlardan dolayı zehirli materyaller (Fenol, Sülfat, sabun, yağ ve antibiyotik) içermektedir, bu kimyasal materyallerle fermentasyonun kimyasal oluşumunu etkilemektedir.

2.1.7.15. Toksitler

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikro organizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50–200 mg/lt. Amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/lt. Amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir. Bakterilerin büyümesinde toksit etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. Anaerobik Arıtmada Çeşitli Engelleyicilerin Engelleme Seviyesi[1]

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/lt)
Sülfat (SO_4^{2-})	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0.05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3.500-5.500
Potasyum (K^{+1})	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2.500-4.500
Magnezyum (Mg^{+2})	1.000-.1.500
Mangan (Mn^{+2})	1.500 üzeri

2.1.8. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık Maddeler

Biyogaz üretimi için organik içerikli maddeler kullanılmaktadır.

- Orman endüstri atıkları
- Zirai atıklar
- Deri ve tekstil endüstri atıkları
- Kâğıt endüstri atıkları
- Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi)
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstri atıklar
- Bahçe atıkları
- Yemek atıkları
- Hayvan gübreleri büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk vb.
- Şeker endüstri atıkları
- Evsel katı atıklar
- Atık su arıtma tesisi atıkları [5]

2.1.8.1. Hayvansal Atıklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahana atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen atıklardır.

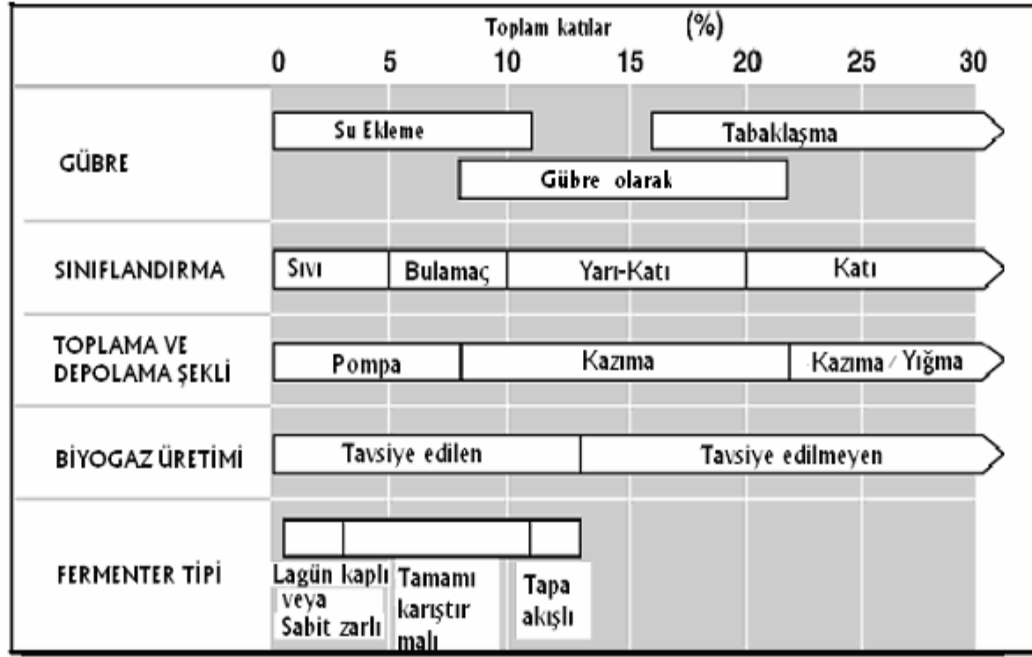


Şekil 2.18. Hayvansal atıklar

Hayvan üretim çiftliklerinde hayvan atıklarının sıhhatli ve çevreye zarar vermemesi açısından gübre toplama mekanizmaları yapılarak depolama yapılmaktadır. Ahırlarda çıkan gübre çeşitleri:

- Ham Gübre
- Sıvı Gübre
- Bulamaç Gübre
- Katı-Sıvı Gübre
- Katı Gübre

Kuru gübrenin katı oranı %20'den daha büyüktür. Bu tür gübreler yükleyici kepçeyle ile toplanarak depolanmaktadır. Bu tür gübrelerin üzerinden çok fazla süre geçtiği için ve gerekli mineral ve yağ asitlerinin tükenmesinden dolayı biyogaz üretimi için elverişli değildir [38].



Şekil 2.19. Tesiste kullanılan atığın toplam katı oranı [38,39]

2.1.8.2. Bitkisel Artıklar

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



Şekil 2.20. Bitkisel artıklar

Bitkisel artıkların (Buğday sapı, Mısır sapı) kullanıldığı biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında proses kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle kırsal kesimlerde bitkisel artıklardan biyogaz üretimi önerilmemektedir.

2.1.8.3. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar Özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır.



Şekil 2.21. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Tablo 2.7. Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan miktarları [14]

KAYNAK	BİYOGAZ VERİMİ (Litre/kg)	METAN ORANI (Hac. %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-62	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

2.1.8.4. Gıda Atıklarından Biyogaz Üretimi

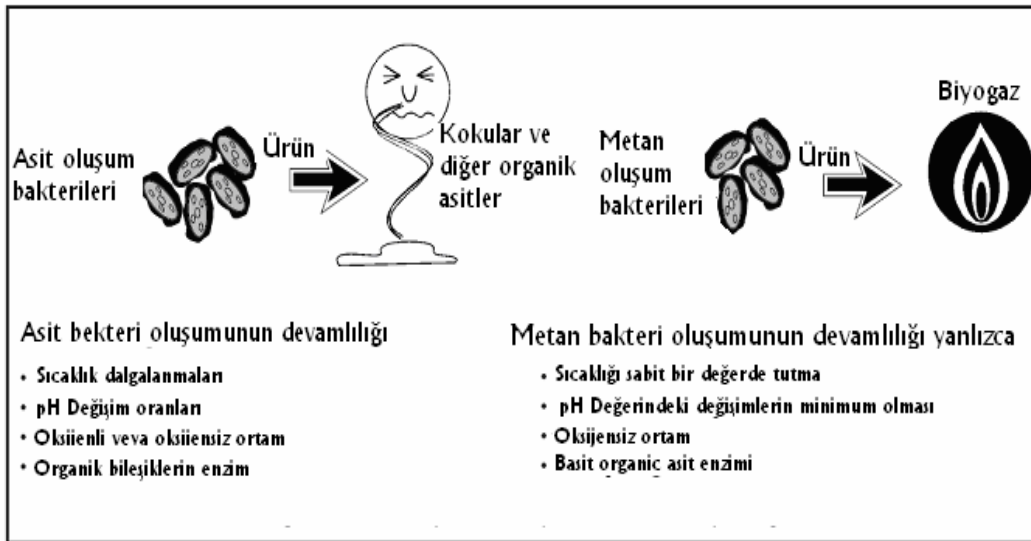
Başta çevre kirliliği kimya sanayi ve diğer sanayilerin yanı sıra gıda sanayinin de bir sonucudur. Çevre kirliliğinin yanı sıra artıklardan elde edilebilecek enerji de ekonomik olarak önemli bir kaynaktır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı, giren değerler ile çıkan değerlerine bakıldığında yine benzer durumları görmek mümkündür. En yüksek verimliliklerde çıkan KOİ değerlerini daha düşük olduğu görülür. Bu da mikroorganizmalar tarafından daha çok kimyasalın biyogaza dönüştüğünü gösterir.

En yüksek verimliliklerin hayvansal dışkıları ile yapılan karışımlardan elde edildiği görülmektedir. En yüksek verimliliğin tavuk gübresinde olduğu ve bunun inek gübresi ile peynir altı suyu karışımından elde edilen biyogaz verimliliği olduğunu söylemek mümkündür [40].

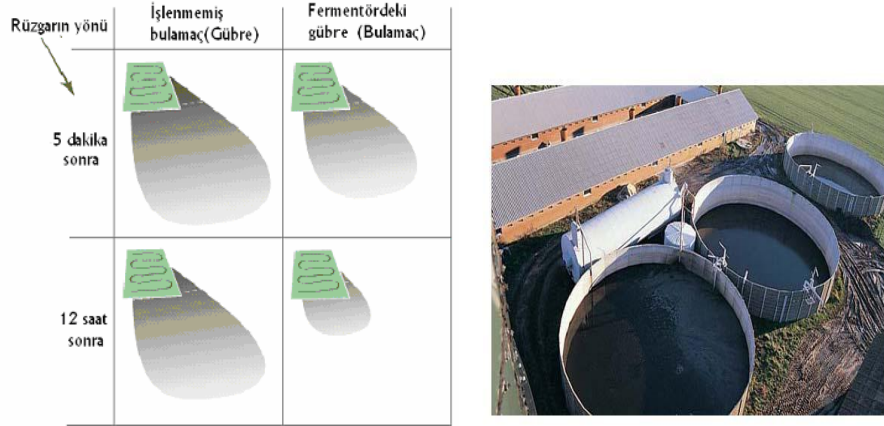
2.1.9. Biyogaz Üretim Ve Sonrası Bulmaç Kokusu

Kırsal bölgelerdeki hayvan, çöp, gıda atıkları ve kimyasal fabrikaların atıkları rahatsız edici acı, ekşi ve keskin bir kokusu vardır. Özellikle biraz bekleyen atığın karıştırılması esnasında dayanılmaz bir koku meydana gelmektedir [47].



Şekil 2.22. Bakteri ve koku oluşum safhaları [47]

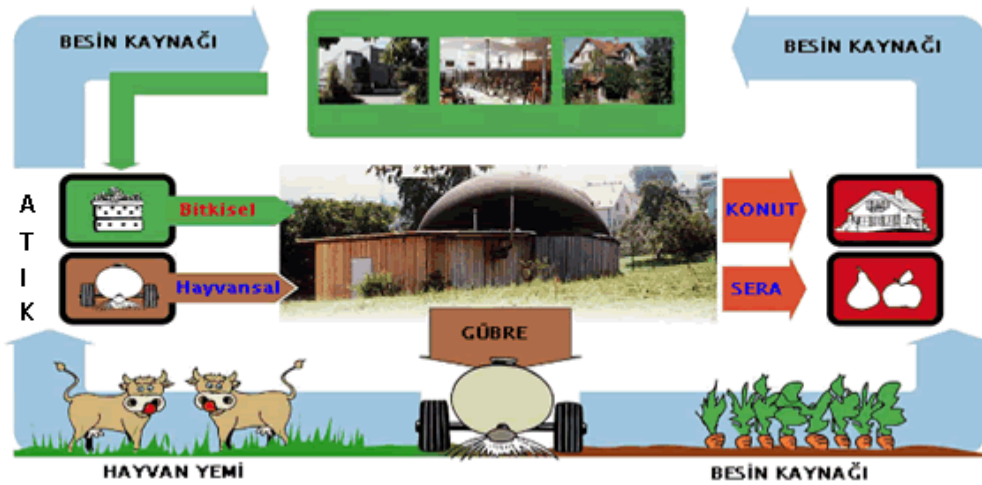
Atıklarda bu koku gaz çıkışı için ayrıştırmanın yapıldığı anda maksimum dereceye kadar çıkmaktadır. Kırsal bölgelerde çevre komşu ve doğaya daha fazla zarar vermemek için gübrelerin anaerobik ortamda işlenerek koku miktarını en aza indirilebilmektedir. Şekil 2.23 'te Normal gübre ile Anaerobik ortamda işlenmiş gübrenin koku yayma oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.23. İşlenmemiş gübre ile işlenmiş gübrenin çevresel koku analiz resmi [41]

2.1.10. Biyogaz ve Çevre

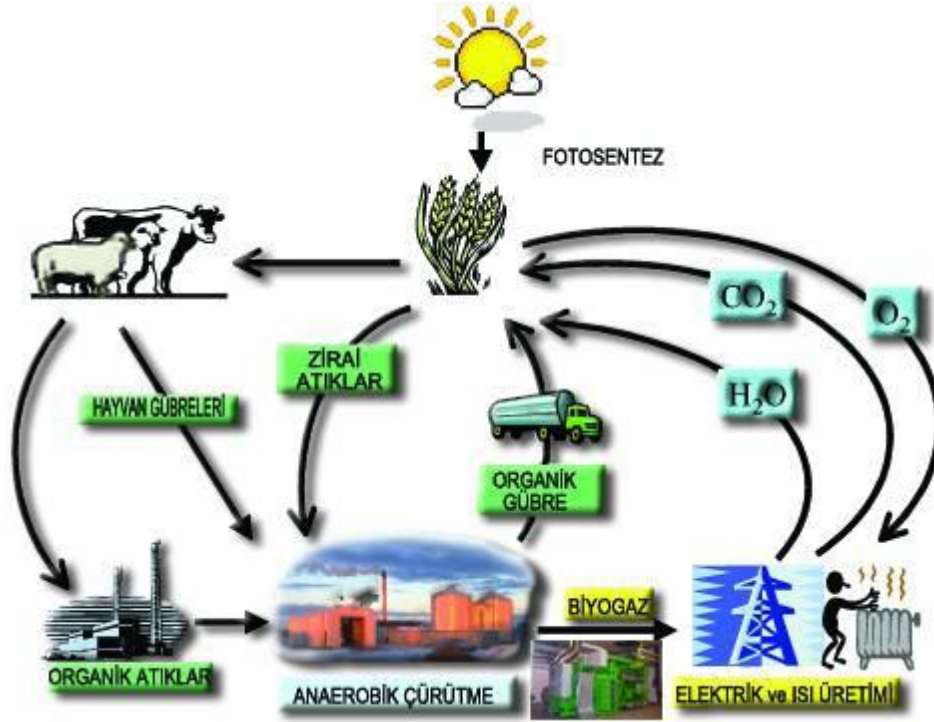
Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları enerji potansiyellerinin yanında çevre ile uyumlu oluşları nedeniyle önemli bir ilgi odağı olmaktadır. Çevresel sorunlar yaratan atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve enerji elde edilmesinde kullanılabilmesini sağlayan biyogaz teknolojisi, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya adaydır [42].



Şekil 2.24. Biyogaz ve çevre [14]

Doğadaki katı atıkların tesislerde fermente edildikten sonra üretilen biyogaz çok farklı alanlarda verimli olarak kullanılmaktadır. Tesislerdeki yüklenen atıkların fermenterden sonra çevreye zararlı faktörlerden arındırıldıktan sonra tarımda çok verimli gübre olara kullanılmaktadır.

2.1.10.1. Fotosentez Biyogaz Döngüsü



Şekil 2.25. Fotosentez Biyogaz Döngüsü [5]



Şekil 2.26. Tesis atığının tarımda gübre olarak kullanılması

2.1.11. Biyogaz Üreticinin Bölümleri

Bir biyogaz üretici, fermentasyonun meydana geldiği ana gövde ve diğer yardımcı bölümlerden oluşur.

2.1.11.1. Fermentasyon Tankı

Biyogaz tesisinin ana yapı elemanıdır. Şu özelliklere sahip olmalıdır.

- Tank duvarları gaz ve sıvı sızdırmaz olmalıdır.
- Tank tümüyle statik yüke karşı dayanıklı olmalıdır.
- Isı yalıtımı iklim koşullarına göre yeterli düzeyde olmalıdır.
- Tank elemanları korozyona dayanıklı olmalıdır.
- Tank dolum ve boşaltım emniyetine sahip ve gerektiğinde tümü ile boşaltılabilir olmalıdır.
- Tank konstrüksiyonu, bakım ve onarım işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesine olanak sağlamalıdır.

Fermentasyon tankı malzemeleri olarak beton, tuğla, çelik, sac, fiber plas, polyester, krom-nikel, alaşımlı çelik saclar kullanılabilmektedir. Statik emniyet ve biyogaz üretimindeki hidrolik koşullara uygunluk açısından yumurta biçimli fermentasyon tankı konstrüksiyonları en iyi sonuçlar vermektedir. Ancak böylesi tankın yapı masrafının fazla oluşu pratikte uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Bu bakımdan uygulamada yatay ve dikey silindirik tankla ile kanal tipi tanklar yaygındır. Basit tesislerde ise kübik biçimli tanklar uygulanmaktadır. Ancak bunlarda bulamacın karıştırılma etkinliği oldukça düşüktür

2.1.11.2. Hammadde Giriş Borusu

Hammaddenin depolandığı ve fermentöre verildiği kısımdır. Hammadde giriş borusunun çapı tesisin büyüklüğüne ve hammadde giriş borusunun eğimine göre değişirse de genellikle 300mm alınır. Hammadde giriş borusu direkt olur veya gübre deposu ile bağlantılı olabilir.

2.1.11.3. Atık Çıkış Borusu

Fermente olmuş gübrenin alındığı kısımdır. Üreteç ana gövdesinin yanında yer alır ve ana gövde ile tabandan 1/2 m yükseklikte bağlantılıdır. Böyle inşa edilmesi henüz fermente olmamış gübrenin dışarı çıkmasını önlemek içindir. Artık çıkış bölmesi seviyesi, hammadde giriş bölmesinin seviyesinden biraz aşağıda tutularak fermente olmuş gübre bileşik kaplar misali ile kendiliğinden dışarı alınabilir.

2.1.11.4. Fermenter

Gübrenin fermentasyona uğratılarak biyogaz üretildiği ana bölümdür. Genelde silindir şeklinde yapılan fermentör gerektiğinde üstü plastik örtü kaplı havuzlar şeklinde yapılabilir. Eğer üreteçte biyogaz için ayrı bir depo yapılmamışsa biyogaz fermentörde su-gübre karışımının üst kısmında toplanır.

2.1.11.5. Oynar Kapak ve Gaz Alma Borusu

Oynar kapak silindirik ve oval kubbeli fermentörlerin kubbesinin üstünde yer alır. Gerektiğinde fermentör temizliğinin yapılması veya bakım onarımında kullanılır. Asıl görevi basınç ayarlamaktır. Gaz alma borusu üretilen biyogazın fermentörden alındığı borudur. Gaz debisi bir vana ile ayarlanabilir.

2.1.11.6. Isıtma Düzenekleri

Mikro organizmaların faaliyetlerini sürdürebilmeleri için fermentasyon ortamının belirli bir sıcaklıkta sabit tutulma zorunluluğu söz konusudur. Fermentasyon bulamacının ısıtılması ya tank içinde ya da tank dışında gerçekleştirilebilir. Tank içinde ısıtma halinde ya bulamaca sıcak su, buhar katılır; ya da sıcak sulu ısı değiştiricilerden yararlanılır. Isı değiştiricilerinin tank içinde yerleştirilmesinde şu öneriler düşünülebilir.

Tank iç yüzeyine döşenen borulu ısı değiştiricilerinde karıştırma düzeni önem kazanır. Tank dışında ısıtma yapıldığı yöntemde ise fermentasyon bulamacının pompalanabilecek akıcılığa sahip olması gerekir. Pompanın ek enerji gereksinimine karşın bu yönde fermentasyon sıcaklığının sağlanması daha emniyetlidir. Ayrıca taze

fermantasyon materyalinin tanka girmeden ısıtılma kolaylığı yanında tank dışında olan ısı değiştiricisinin tamiri ve bakımı da kolaydır. Sıvı gübrenin ısı geçiş katsayısı özellikle düşük hızlarda suyunkinden küçük olduğu için büyük ısı değiştiricisi yüzeylerine ya da uzun ısıtma sürelerine gerek duyulmaktadır. Isı yalıtımı da önemlidir.

2.1.11.7. Karıştırma Düzenekleri

Bulamacın etkin bir biçimde karıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, mekanik, hidrolik, pnömatik karıştırıcılardan yararlanılır. Ancak büyük parçalı ve kabuk bağlamaya meyilli bulamaçlarda pnömatik karıştırma yönteminin uygulanmasında ancak basınçlı biyogaz ile karıştırma beklenen sonucu vermektedir. Karıştırıcının seçiminde fermentasyonda kullanılan materyalin cinsi ve içerdiği katı madde oranı, partikül büyüklüğü göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1.11.8. Dolum ve Boşaltım Düzenekleri

Dolum düzeneğinde; sürekli bir boru vasıtasıyla bulamaç fermentasyon tankının dibine yakın bir seviyeye nakledilir. Böyle bir sistemle dolum işlemi günde birkaç kez aralıklı olarak yapılmaktadır. Hazırlama tankının, bulamacın sabit biçimdeki materyal miktarı ölçme imkânı vardır. Basit sistemlerde bulamaç doğrudan bir kanal vasıtasıyla tank içinde şekillendirilmektedirler. Daha büyük organize tesislerde bulamaç, hayvanların barındığı ahırın zemininin altındaki bir kanaldan alınarak sürekli bir biçimde fermentasyon tankı içine sevk edilebilmektedir.

2.1.11.9. Gazometre

Elde edilen gazın depolanması, fermentasyon tankı içinde sabit basınç sağlanması ve gazın alınması ile doğan dalgalanmaların karşılanması amacıyla gazometre kullanılmaktadır. Gazometre fermentasyon tankının bir parçası olarak tankın üst bölümüne yerleştirilebileceği gibi ayrı bir yerde kurulup, fermentasyon tankı ile bağlantısı bir boru aracılığı ile sağlanmaktadır.

2.1.12. Biyogaz Üretim Sistemleri

2.1.12.1 Biyogaz Tesislerinin Tasarımı Ve Tasarımda Dikkate Alınması Gereken Parametreler

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedirler.

Biyogaz tesislerinin kapasite olarak sınıflandırılması:

- Aile tipi : 6 -12 m³ kapasiteli
- Çiftlik tipi : 50 -100 -150- m³ kapasiteli
- Köy tipi : 100- 200 m³ kapasiteli
- Sanayi ölçekli tesisler : 1000 - 10.000 m³ kapasiteli

Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin'de çok yaygın bir şekilde kullanım yerlerine yakın yerlerde kullanılmaktadır. Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermantör) ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır. Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığının 35 °C civarında olması istenir. Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve yaygın kullanılan sistem, tesisin içine yerleştirilen sıcak sulu serpantinlerden yararlanmaktadır.

Biyogaz teknolojisi büyük oranda kesin kuralları olmayan, tesisin kurulacağı yerin ülkenin, işletmenin özel koşuluna göre farklılıklar olması gereken bir uygulamadır. Örneğin çıkan materyalin depolanacağı ve fermentasyonun devam edeceği depolama olanağı olmayan bir işletmede sürekli yüklemeli bir tesisin yapılması mantıklı olmayacaktır. Bu durumda seçilmesi gerekli tip beklemeli sistemdir.

2.1.12.2. Beklemeli Sistem

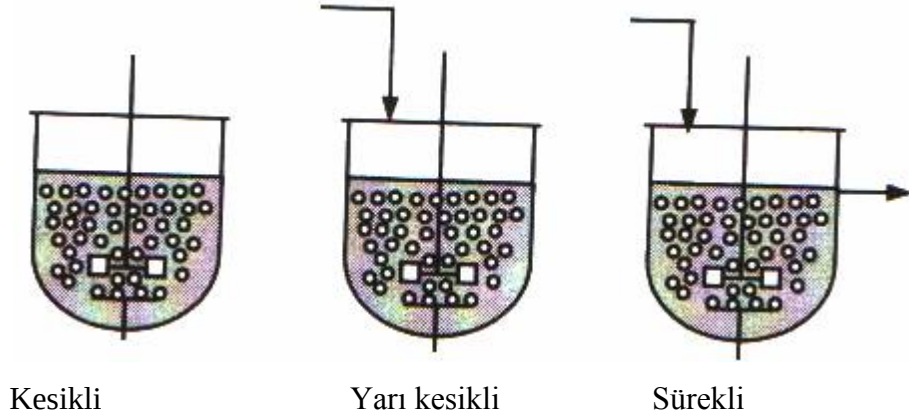
Bu sistemde üreteç aşılama materyali ve taze materyal ile zaman içerisinde yüklenir İşletmede ortaya çıkan materyal düzenli veya düzensiz aralıklarla tesise eklenir [29].

2.1.12.3. Sürekli Yüklemeli Sistem

Bu sistemde üreteç bekleme süresine göre hesaplanan miktarda her gün yüklenir. Yükleme her gün aynı saatte yapılması esastır. Bu gaz üretiminin düzenli olmasını sağlayacaktır [29].

2.1.13. Fermentör Besleme Yöntemleri

Anaerobik fermantasyon, fermentörün yeni materyalle beslenme biçimine göre de çeşitlenmektedir. Bu açıdan anaerobik fermantasyonu 3 grupta incelemek mümkündür.



Şekil 2.27. Üreteçlerin temel işletim şekilleri[43]

2.1.13.1. Sürekli Fermantasyon

Bu fermantasyon biçiminde organik madde fermentöre her gün belirli miktarlarda verilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermentörden alınmaktadır. Bu fermantasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olmaktadır.

2.1.13.2. Beslemeli Yarı Kesikli Fermantasyon

Burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır.

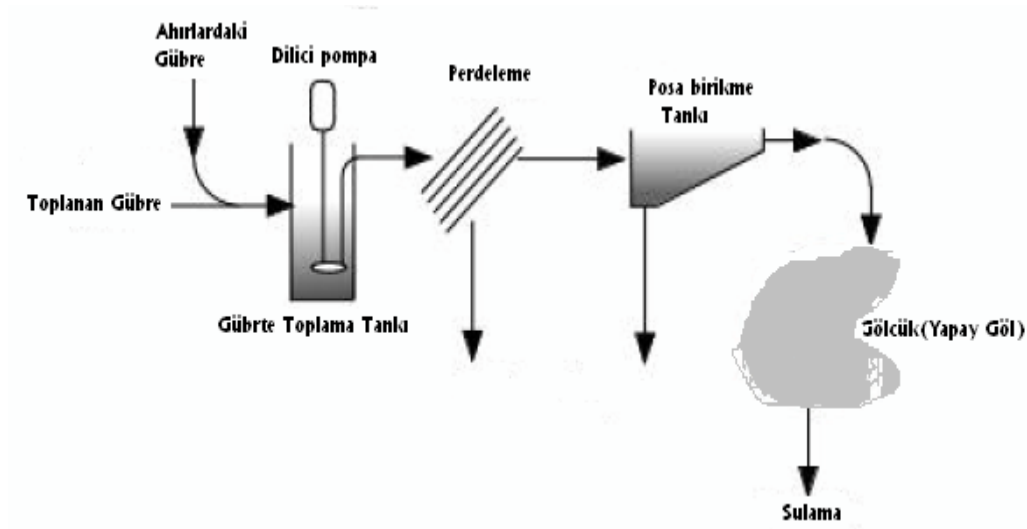
Belirli fermantasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

2.1.13.3. Kesikli Fermantasyon

Burada fermentör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulmakta, fermantasyon süresi sonunda fermentör boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

2.1.14. Biyogaz Üretim Tesislerinde Çıkan Gübrenin İşlenmesi Ve Kalitesi

Biyogaz tesislerinde çıkan gübre anaerobik ortamda fermente edildiği ve bitkilere veya çevreye zararlı maddelerden arındığı için tarımsal alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.28. Gübre işleme şeması [44]



Şekil II.29. Tesis atıklarının işlenmesi [45,46]

Biyogaz üretim tesislerinde çıkan atıkların, belirli aşamalardan geçirildikten sonra özel araçlar ile tarım alanlarına püskürtme yapılarak uygulanır.

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir veya beton toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar.

2.2. Literatür çalışması

Bu çalışmada; imal edilen biyogaz deney cihazı ve fermenterlere belirli oranda su ile karıştırılmış büyükbaş hayvan atığının, sabit sınır şartlarda (sıcaklık, bekleme süresi, karıştırma hızı vb.) özel dizayn edilmiş farklı şekillerdeki karıştırıcılar ile karışım yapılmayan fermenterlerdeki biyogaz üretim oranı incelenmiştir. Biyogaz üretimi birçok parametreye bağlı olduğu için bu konu ile ilgili yapılan literatür taraması birkaç başlık altında toplanmıştır.

2.2.1. Kullanılan Atığın Cinsi, Fermenter Sıcaklığı ve Bekleme Sürelerine Göre Yapılan Çalışmalar

T.Mandal ve arkadaşları; hayvan gübreleri, mutfak atıkları, çürümüş bitkiler ve yaprakları belirli oranlarda birbirine karıştırarak 37°C’de 90 gün bekleme süresi ve magnetik karıştırıcı ile günde iki defa 2–3 dakika karıştırma yaparak, biyogaz üretimini incelemişlerdir [50].

Zuru ve arkadaşları; büyükbaş hayvan, keçi, at ve koyun gübrelerinin bulamaçlarını 31,8 ± 2°C de biyogaz üretim miktarını, katıların ısı ile parçalanma kinetikleri kullanılarak uygulanan dokuz model ile incelemişlerdir [51].

Ivo G.Lalov ve arkadaşları; Kırmızı şarabın damıtılmasından elde edilen “vinasse” maddesini kullanarak devamlı manyetik karıştırıcı ile reaktöre konulan 100 ml taze vinasse maddesini 37°C de ve 27 gün bekletilerek biyogaz üretim miktarını incelemişlerdir [52].

Bouallagui ve arkadaşları; Bir yarı- sürekli karıştırmalı bir sindirim tüpünün içinde meyve ve sebze atıklarını, termofolik (50–60°C), sakrofolik (15–20°C) ve mezofolik (35–

37°C) gibi değişik sıcaklık ortamlarında, biyogaz üretim oranı, enerji balansları, pH ve alıkoyma süresi gibi parametrelerin performansının birbiri ile karşılaştırmasını incelemişlerdir [53,54].

A. Lallai ve arkadaşları; serum şişelerine, 37°C sıcaklıkta ve 70 d/d karıştırma hızı ile domuzların tedavisinde kullanılan ve gübrelere geçen bazı antibiyotiklerin (Amoxicillion trihydrate, Exytretracycline hidroklorür ve Thiamphenicol) oksijensiz ortamda biyogaz üretimine ve metan (CH₄) konsantrasyonuna yaptıkları etkileri incelemişlerdir [55].

Hansen ve arkadaşları; organik katı atıkların termofolik ortamda (55°C), 50 günlük bekleme sürelerinde metan üretim potansiyelleri için laboratuvar ölçekli inceleme yapmışlardır [54].

Buixuan ve preston; polietilen tüplere farklı oranlarda (0.66, 1.3, 2.0, 2.66 kg kuru madde /sıvı hacimli/gün) yüklenen domuz gübresini 25.3–27.3°C sıcaklıklarda ve 30 gün bekleme süresinde biyogaz üretimini incelemişlerdir [55].

B. Pound ve arkadaşları; anaerobik şartlarda büyükbaş hayvan gübresi ile üreli ve üresiz sıkıştırılmış şeker kamışı karışımlarından üretilen biyogaz miktarlarını karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Karışımdaki sıkıştırılmış şeker kamışının yüzdelik oranını arttırdıkları zaman, sırasıyla fermentasyondaki bulamacın pH'ının düştüğü daha sonra biyogaz üretiminin yavaşladığını tespit etmişlerdir. Reaksiyondaki sıkıştırılmış şeker kamışının miktarı %80 olduğu zaman biyogaz üretimi tamamen durmuştur. Sonuç olarak biyogaz üretiminin bulamaçların pH'na miktarları ile doğru orantılı olduğunu saptamışlardır [56].

B. Goel ve arkadaşları; hazır çay üretim fabrikalarındaki kullanılmış çay yapraklarının iki aşamalı oksijensiz sindirimle, gübre ve biyogaz üretimi için bir çalışma yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda reaktörde ortalama olarak %93 kimyasal oksijen ihtiyacını azaltarak 0,48 m³/kg biyogaz üretmişlerdir. Üretilen biyogazın metan (CH₄) içeriğini %73 olarak ölçmüşlerdir [57].

Shalini ve arkadaşları; mutfak çöpu ve büyükbaş hayvan atıklarının karışımlarına sırası ile “Aquasan” ve “Teresan” adı verilen iki farklı mikrobiyal uyarıcıyı kullanarak biyogaz üretimine olan etkilerini incelemişlerdir [58].

N. Kannan ve arkadaşları; %75 eşek-gübre + %25 kümes hayvan gübresi, %75 eşek-gübre + %25 parteniyum (parthenium), %75 eşek-gübre + okalıptus yaprakları (bitki) ve %100 eşek-gübre karışımlarını farklı fermentasyon çukurlarında 42 gün

bekleme süresinde, günlük ve haftalık metan (CH₄), pH, biyogaz kalitesi ve biyogaz analiz ölçümlerini yapmışlardır [59].

Bu çalışmada, Ali R.Tekin ve arkadaşı; 37°C 'de 10 gün bekleme süresinde, 1-1 çalışan anaerobik çukurları kullanarak toprakla çok iyi karıştırılmış suyun içindeki zeytin posası bulamacından biyogaz üretimini araştırmışlardır [60].

Mısra ve arkadaşları; Seramik malzemeden yapılmış üretici, çeşitli kompozit izolasyon malzemeleri ile yalıtarak sıcaklığı sabit tutarak, sıcaklığın biyogaz üretimine olan etkisini incelemişlerdir [61].

G. Güngör, ve arkadaşları; et tavuğu ve büyükbaş hayvan gübresinin anaerobik artırılabilirliği ve biyogaz üretim potansiyelini araştırmışlardır. Bu amaçla tavuk ve büyükbaş hayvan gübresi ile bunların 5 değişik orandaki karışımı (%100 tavuk; %75 tavuk, %25 büyükbaş hayvan; %50 tavuk, %50 büyükbaş hayvan; %25 tavuk, %75 büyükbaş hayvan ve %100 büyükbaş hayvan gübreleri) kullanılarak kesikli anaerobik reaktör deneyleri yapmışlardır [62].

Hilal Yılmaz, A.H. ve arkadaşı; 1 m³ hacmindeki pilot fermenteri kullanarak, çeşitli organik katı atıkların anaerobik fermantasyonla elde edilen biyogaz üretimini incelemişlerdir [63].

San ve arkadaşları; 10, 20 ve 30 gün bekletilen domuz gübresi ve pis su atığın biyogaz üretimine ve sistemdeki gübreye etkilerini incelemişlerdir [64].

Bugutekin A; laboratuvar tipi biyogaz üretim cihazı imal ederek bu cihazda değişik su çeşitleri (Van Gölü suyu, normal su) ile değişik gübre çeşitlerinin (Büyükbaş, Küçükbaş ve Tavuk) birbirleriyle orantılı olarak karıştırarak elde edilen biyogaz miktarlarını karşılaştırmıştır [65,66].

Ceyhan, M; Taze Gaziantep fıstığı kabuğunu, hazırlamış olduğu deney düzeneğinde anaerobik ortamda her gün inceleyerek, bulamacın fermantasyon tankındaki atığın yüksekliğini ve kütlesini matematiksel ve grafiksel olarak incelemiştir [67].

Al-Masri; bazı hayvan atıkları (Koyun, Keçi gübresi) ve tarımsal atıkları (zeytin küspesi) kullanarak, farklı oranlarda sekiz deneysel çalışmada bazı biyokimyasal parametrelerde, 30°C sıcaklık, 40 gün bekleme süresinde, her gün biyogaz üretim miktarındaki değişimleri incelemiştir [68].

Elsamawal: Değişik sezonlarda (aylarda), üç farklı hayvan (Keçi, Büyükbaş hayvan ve Eşek) gübrelerini analiz ederek farklı aylarda, biyogaz üretim miktarlarını tablo üzerinde göstererek karşılaştırma yapmıştır [69].

Ghanem ve arkadaşları: Farklı koşullar altında leachate üretiminin optimizasyonu ile ilgili katı mutfak atıklarını kullanarak anaerobik ortamda sıcaklık 34°C, pH 4 sınır şartlarında biyogaz üretimi için uygulamalı çalışma yapmışlardır [70].

Batzias ve arkadaşları; biyogaz enerji potansiyeli çok yüksek olan bazı çiftlik hayvanlarının (inek, domuz, koyun, keçi ve tavuk) gübrelerinden biyogaz üretimi ile ilgili çalışma yapmışlardır [71].

Desutter ve arkadaşı; 6,1 m derinliğindeki bir göle, 10 farklı ahırda bulunan 10500 adet domuzdan elde edilen atığın toplanması ile meydana gelen karışımdan biyogaz elde etme çalışmaları ve bu elde edilen biyogazı ayrıştırarak metan, karbondioksit ve hidrojen sülfür miktarını ölçümlemleri yapmışlardır [72].

Nguyen Khang ve arkadaşları; iki farklı seviyedeki fiberlerde bulunan gübreye etki eden, dört farklı bekleme süresinin, dört farklı yükleme oranı ve gübrenin ihtiva ettiği biyogaz oranı, kimyasal oksijen ihtiyacı, patojenik bakteri konsantrasyonu üzerinde bir çalışma yapmışlardır [73].

Müler ve arkadaşları; anaerobik ortamda hazırlanan iki farklı atık su deney setlerinden elde edilen verilere göre iki tane birbirinde farklı matematik model ile biyogaz üretim oranını hesaplamak için çalışmışlardır [74].

Varel ve arkadaşı; anaerobik ortamda, devamlı karıştırmalı 3 lt sığır gübresinin fermentasyonu esnasında, fermentasyona belirli aralıklarla Monensin, Lasalocid, Salinomycin ve Avoparcin antibiyotiklerinin karıştırıldığı ve karıştırılmadığı ortamlardan 55°C'de 60 gün bekleme süresince metan üretim miktarını incelemişlerdir [75].

Kearney ve arkadaşları; laboratuvar da anaerobik ortamda büyükbaş hayvan gübresinin içindeki bazı bakterilerin (Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Yersinia enterocolitica, Listeria monocytogenes, ve Campylobacter jejuni) 35°C sıcaklıkta, bekleme süresi 25 gün ve pH 7,6 şartları esnasında metabolik aktivitelerini, günlük üretilen biyogaz miktarı (510–620 ml/gün), üretilen biyogazın metan oran (%42–50) ölçümlemleri yapmışlardır [76].

Erik ve arkadaşları; çapı 12 cm. 2.5 lt lik plexiglass tan yapılmış iki özdeş reaktörde farklı kimyasal atıklardan deney yapmışlardır. Deneylerde birinci reaktörün pH 7.5, ikinci reaktörün pH'ı 6 da sabit tutularak biyogaz üretim miktarlarını ve elektronik mikroskopla reaktörleri incelemişlerdir [77].

Demirekler ve arkadaşı; farklı oranlarda karıştırılmış evsel katı atık (EKA) ve ön çökeltme çamuru (ÖÇÇ) ile beslenen üç laboratuvar ölçekli yarı kesikli anaerobik çürütücünün start-up aşamasındaki performanslarını karşılaştırmışlardır [78].

Scheurer ; %14 kuru madde içeriği olan tavuk gübresini 32°C fermentasyon sıcaklığında yapmış olduğu çalışmalarda, bu sıcaklıkta oluşan biyogazda en düşük CO₂ içeriğinin sağlandığı, organik asit düzeyinin bakteriler için uygun olduğu ve amonyum konsantrasyonunda optimum düzeyde olduğu, sıcaklığın 41°C 'ye yükseltilmesi ile gazdaki CO₂ oranının ve amonyak miktarının arttığı, sirke asidi ve propiyonik asit miktarı da kimyasal reaksiyonu durduracak seviyeye yükseldiğini belirlemiştir [79].

Hammad, ve arkadaşları; 16 m³ kapasiteli kübik biyogaz üreteçte 20 kg büyükbaş hayvan gübresi (50 lt) ve 400 lt su ile karıştırılarak 45 gün bekleme süresinde belirli sıcaklıklarda büyükbaş hayvan, koyun, tavuk, at, zeytin ve arpa gibi hayvansal ve bitkisel atıklardan metan üretim oranını aşağıdaki formül ile hesaplamışlardır [80].

$$\text{CH}_4 (\text{m}^3 / \text{gün}) = \text{Biyogaz} (\text{m}^3 / \text{gün}) / \% \text{CH}_4$$

Alvarez ve arkadaşları; 10 adet laboratuvar ölçekli biyogaz üreteçlerinde deniz seviyesinden yüksek (496–760 mmHg), sıcaklık (11–35 °C), bekleme süresi (20–50 gün), bulamacın gübre içeriği (%10, %20, %50), karıştırma (el ile günde iki dakika) gibi sınır şartlarında lama ve inek gübresinden günlük biyogaz üretimi metan oranını incelemişlerdir [81].

Tongat ve arkadaşları; tavuk, domuz gübrelerini ve mezbahane atıklarını 0,5 l 'lik aspiratör şişelerinde 55°C'de ve 115 gün bekleme süresince biyogaz üretimi, bazı biyokimyasal ve bulamacın içindeki katı oranı gibi parametreleri incelemişlerdir [82].

Tiwari ve arkadaşları; güneş enerjili bir biyogaz tesisinde, bulamacın üreteçte bekleme süresine göre biyogaz üretim miktarının matematik modellemesiyle ilgili çalışma yapmışlardır [83].

El-Masri; 30°C'de 40 gün bekleme süresinde çeşitli hayvan atıkları (koyun, keçi) ve bu atık oranlarına göre dört farklı miktarda zeytin posası karışımlarını, sekiz deney gurubunda biyogaz üretim miktarı ve bazı biyokimyasal parametreleri incelemiştir [84].

Gebauer; tuzlu su balık çiftliğinin atıklarını 35°C 'de mezofilik ortamda 1:1 su ile karıştırmalı laboratuvar ölçekli biyogaz üretecinde, atığın biyogaz üretim oranını, pH, kimyasal oksijen ihtiyacı ve uçucu katı madde oranı gibi parametreleri incelemiştir [85].

Klasson ve arkadaşları; 250 ml fermenterlerde belirli oranlarda büyükbaş hayvan ve fil gübrelarını karıştırarak 35–50°C’de 80 gün bekletildikten sonra, 2 litrelik torbalara depolayarak, biyogaz miktarını ve % CH₄ miktarını incelemişlerdir [86].

Bismas ve arkadaşları; hacmi 10 dm³’lük karıştırmalı anaerobik biyogaz üretecinde belediye atıklarını pH 6,8 ve sıcaklığı 40°C’de sabit tutarak 15. günün sonuna da biyogaz üretim miktarını ve % CH₄ miktarını incelemişlerdir [87].

Kim ve arkadaşları; anaerobik ortamda, yiyecek atıklarının farklı sıcaklık ve farklı bekleme sürelerinde, biyogaz üretim miktarı ve biyogazın içindeki metan üretim performanslarını incelemişlerdir [88].

Sadaka ve arkadaşı; domuz, tavuk ve büyük baş hayvan gübresinin farklı miktarlarda (domuz güb. TK; % 32,5 / %22,1 / %11,9 tavuk güb. TK; % 51,3 / %31,6 / %12,7 büyükbaş hayvan güb. TK; % 43,7 / %26,8 / %13,7) toplam katı madde içeriklerine göre 4 litrelik fermenterlerde 30 gün bekleme süresinde biyogaz üretim miktarları ile ilgili çalışma yapmışlardır [89].

Demirer ve arkadaşları; seyreltilmemiş büyük baş hayvan gübresini, LBR (Leaching bed reactors) reaktöründe belirli oranlarda anaerobik ortamda, tohum ve odun tuzu/talaşı karıştırılarak 35 °C’de biyogaz üretim oranlarını incelemişlerdir [90].

Clemens ve arkadaşları; büyükbaş hayvan gübresi ve büyükbaş hayvan gübresi + patates nişastasını farklı oranlarda ve farklı bekleme sürelerinde biyogaz üretim miktarlarını incelemişlerdir [91].

Vartak ve arkadaşları; büyükbaş hayvan gübresinin anaerobik ortamda Psychrophilic(fizikofolik) sıcaklıkta (10°C) biyogaz üretim performansını incelemişlerdir [92].

T.Mandal ve arkadaşları; büyükbaş hayvan gübresinden üretilen biyogazın kalitesini, alev sıcaklığını ölçmek için prototip bir deney düzeneği kurmuşlardır [93].

H.Shaga ve arkadaşları; biyogazdan hidrojen üretimini içeren çeşitli aşamaları, bunların depolanması, taşınması ve ticari mal olarak pazarlanması ile ilgili çalışma yapmışlardır [94].

Leena; insan, hayvan ve bitki artıklarında bulunan bazı bakterilerin çevre şartlarına bağlı olarak fermentasyon esnasında aktifliklerini % 50 kaybettiklerini incelemişlerdir [95].

M.Grath ve arkadaşı; biyogaz üretiminin en çok anaerobik gölcüğün yüzeyinin üzerinde ve biyogaz aktivitelerinin meydana geldiği küçük gaz kabarcıklarında meydana geldiğini tespit etmişlerdir [96].

Alkhamis arkadaşları; biyogaz üretiminde çok önemli olan mezofilik bakterilerin aktivite ve büyümeleri için fermentlerin yaklaşık 40°C sıcaklık seviyelerinde olması gerektiğini belirterek bu sıcaklık sınır şartını oluşturmak için, bir güneş enerji sistemi ile ısı kontrol ünitesini kullanarak biyogaz reaktörünün dış cephesini ısıtarak biyogaz üretmişlerdir [97].

Zumpancic ve arkadaşı; bir anaerobik fermentasyon çukurundaki atığın termofilik sıcaklıkta ısı ve enerji gereksinimlerini araştırmışlardır [98].

Mark ve arkadaşları; çiftliklerdeki atıkları stabilize etmek ve biyogaz üretimi esnasında açığa çıkan kokuyu minimuma indirmek için çalışma yapmışlardır [99].

Buğutekin,A.; Binark, A.K.; bu çalışmada dünyada ve ülkemizde biyogaz teknolojisinin gelişimi, kullanım alanları, yapılan önemli çalışmalar ve biyogaz konusunda gelişmiş olan ülkeleri incelemiştir [100].

Sözer ve arkadaşı: dünyada yapılan bazı biyogaz çalışmalarının ve bu çalışmalarda maksimum verim elde etmek için fermentasyonda kullanılan materyallerin sınır şartları hakkında çalışma yapmışlardır [101].

Sözer ve arkadaşları; Farklı fermentasyon sıcaklıklarında ve farklı bekleme sürelerinde sığır gübresi ile 46, tavuk gübresi ile 28 çalışmadan yararlanılarak özgül metan üretim miktarları ele alınarak elde edilebilecek metan ve enerji miktarlarını belirlemiştir [102].

Buğutekin, A.; Binark, A.K.; daha önce biyogaz konusunda yapmış olduğu çalışmalar ve deneyleri göz önüne alarak elde edilen verileri daha önce yapılan bir çalışma olan “Biyogaz üretiminin kinetik analizinin modellenmesi” adlı çalışmayı referans alarak deneyleri ve hesaplamaları karşılaştırmıştır [103].

Murphy ve arkadaşları; üretilen biyogazın teknik olarak ısıtma ve elektrik enerjisi olarak kullanma, ekonomik olarak diğer yakıtlarla karşılaştırılması ve çevre kirliliği ile ilgili analiz yapmışlardır [104].

Heber ve arkadaşları; bir kıyı gölüne toplanan domuz gübresinden koku ve gaz emisyonu ölçüm çalışmasını yapmışlardır. Koku konsantrasyonu ölçümlerinde duyumsal eğitilmiş panelistler ve dinamik zorlayıcı koku metre kullanmışlardır. Amonyak (NH₃),

hidrojen sülfat (H_2S), ve karbondioksit (CO_2) konsantrasyonlarını, 50 litrelik tedlar torbalarında biriktirilen koku numunelerinden ölçüm yapmışlardır [105].

Zachariah ve arkadaşları; bir havuzda çok miktarda bekletilen Hindistan cevizi kabuğundaki elyaf bağlarını, bakteriyolojik aşamalarda ve anoksik şartlarda ayrıştırarak biyogaz üretim miktarını, üretilen biyogazın ihtiva ettiği metan (%65), karbondioksit (%30), hidrojen sülfat (%0,07) ve diğer gazların (hava, su buharı vb. % 4,93) yüzdelik oranlarını ve üretilen biyogazın sobada, aydınlatmada ve içten yanmalı motorlarda kullanımı ile ilgili çalışma yapmışlardır [106].

Sterling ve arkadaşları; anaerobik ortamdaki büyük baş hayvan atığının fermentasyonu esnasında üretilen Hidrojenin ve metanın amonyak nitrojeni üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [107].

2.2.2. Kullanılan Atığın Karıştırılmasıyla ilgili Çalışmalar

Chan ve arkadaşları; deniz fosilinin lağım çamuru, pis su ve kentsel katı atıkların kimyasal parametrelerini, gaz üretimindeki toplam gaz miktarı, üretilen toplam biyogazın içindeki CH_4 , CO_2 miktarı ve oranı 11 hafta boyunca tekrar dolaşım ve filtrelemenin aktif metan üretimine geçiş periyodunu kısaltabileceğini, deniz fosilinin lağım çamuru, pis su ve kentsel katı atık karışımı olan arazi doldurma hücresinin metan oluşumunu arttırdığını ve sistemdeki filtrasyon ve tekrar dolaşımın (sirkülasyon) oranının düşük miktarda ve kuvvette olmasının biyogaz üretim verimini artıracakını belirlemişlerdir [108].

Lastela ve arkadaşları; yarı katı organik atıklara farklı bakteriler aşıl原因arak, anaerobik ortamda, ayırma ızgaralı sistem, karış tırmalı, yükleme ünitesine sahip, biyogaz ayraçlı, biyogaz analiz ve arıtma cihazlı kombine deney cihazında çalışma yapmışlardır [109].

Karim ve arkadaşları; Altı tane laboratuvar ölçekli anaerobik sindiricilerin karıştırma düzeneklerini yaparak hava pompası ile biyogaz çevirim oranının ve akış borusu yüksekliğinin performansa etkisini incelemişlerdir. Günlük sindiricilerdeki hayvan gübresinden elde edilen biyogazın ihtiva ettiği metan miktarını 0,40–0,45 lt olarak ölçmüşlerdir. Fakat biyogaz sirkülasyon oranının (karıştırma) yüksek olduğu periyotlarda metan üretiminin azaldığı, tüplerdeki farklı yükseklikteki akış borularının metan üretim miktarına etki etmediğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak biyogazın tekrar dolaşımını sağlayan mekanizmanın sindiricilerin içinde %15 oksijen oluşumuna, tüplerin ince hava

geçirgenliklerinden ve hava pompasının sızıntılarından dolayı reaksiyonları olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir [110].

Süleyman ve arkadaşları; Organik atıkların oksijensiz sindirimi 10 d/d karıştırma yapan ve mezofolik ortam 35-38°C sıcaklıkta bir sistem tasarımı yaparak modelleme yapmışlardır [111].

Khursheed Karim ve arkadaşları, laboratuvar ölçekli dört tane 3,73 lt'lik fermenteri PVC'den imal ederek 35°C'ta 16,2 hidrolik bekleme süresinde fermenterlere yüklenen büyük baş hayvan atıklarını farklı yöntemlerle karıştırarak, karıştırmanın biyogaz üretimine olan etkilerini incelemişlerdir [112].

A. Rodriguez ve arkadaşları; Domuz gübresinin 1mm'lik filtrelerden geçirdikten sonra karıştırmalı ve karıştırmasız (katmanlı) iki pilot fermenterde 35°C'ta ve 60 gün bekleme süresinde birkaç kinetik model uygulayarak birinci aşamada atığın içindeki mikro organizmaların büyüme limitlerini belirlemek, ikinci aşamada karıştırmanın kinetik parametrelere olan etkisini incelemişlerdir [113].

Ong ve arkadaşları; Büyük baş hayvan atığının karıştırmalı ve karıştırmasız bir fermenterde, bulamacın üst, orta ve alt kısımlarındaki biyogaz üretim miktarlarını incelemişlerdir [114].

Khursheed Karim ve arkadaşları, anaerobik laboratuvar ölçekli 3,73 lt'lik fermenterde 35°C'ta hayvan atıklarının sert çarpma ile karıştırma ile ilgili çalışma yapmışlardır [115].

Brole ve arkadaşları; 100 lt kapasiteli yukarı akışlı biyogaz üretim reaktöründe, büyük baş hayvan gübresini karıştırmalı ve karıştırmasız olarak biyogaz üretim miktarı ve % CH₄'nı incelemişlerdir [116].

Keshtakar ve arkadaşları; anaerobik ortamdaki büyükbaş hayvan gübresinin ideal olmayan sürekli karıştırmalı ve akışlı reaktörlerde üretiminin matematik modellemesini yapmışlardır [117].

Vavilin ve arkadaşları; Mezofolik ortamda evsel katı atıkların çok karıştırılması sonucu asitleşme olduğundan metanogenislerin olumsuz yönde etkilendiğini, bu yüzden düşük hızda karıştırılmanın daha olumlu etki sağladığını incelemişlerdir [118].

Janzekovic ve arkadaşları; sıvı gübre içindeki katı madde oranı %5,05-%5,74 olan bulamacı 20 dakika özel bir karıştırıcı ile karıştırıldığı zaman katı maddelerin sıvının içinde dağıldığını, atığın havalandırıldığını, çevreye verdiği kokunun zamanla azaldığını ve kimyasal özellik bakımından daha kaliteli olduğunu belirlemişlerdir [119].

Chen ve arkadaşları; bulamaçların, tüketilen gücün ve karıştırma düzeyine göre reolojik (akış) özelliklerini çok etkilediğini biyogaz üretiminde kullanılan atıkların non-Newton görünmelerine rağmen karıştırma ile bulamaç akış özellikleri arasında ilişkilendirme yapılabileceğini belirlemişlerdir [120].

Sadaka ve arkadaşları 2 adet 4 litrelik fermeterlere katı oranı yüksek sığır gübrelerini günde 2 defa 10 tur karıştırma yaparak, karıştırmanın biyogaz üretimine olan etkilerini incelemişlerdir. Karıştırılmış ve karıştırılmamış atıkların uçucu katı madde oranı sırasıyla %9,6 ve % 7,3, karıştırılmış gübrenin kimyasal oksijen ihtiyacı %37,9'a inmiştir. Karıştırılmış ve karıştırılmamış gübrelerden elde edilen biyogaz miktarları karşılaştırılma yapıldığı zaman, karıştırılmış gübreden %33,3 daha fazla biyogaz üretilmiştir [121].

Patni ve arkadaşları; büyük baş hayvan, domuz gübrelerinin karıştırılması esnasında gübrenin içeriğindeki hidrojen sülfat (H_2S), amonyak (NH_3), karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) konsantrasyonlarındaki değişimleri incelemişlerdir [122].

Severs yapmış olduğu çalışmada gübrenin işlenmesinde kimyasal pıhtılaşmanın etkili olduğu, bunun yanında pıhtılaşmaya hem karıştırma yoğunluğu, hem de karıştırma süresinin de etkili olduğunu, atığın çok hızlı veya yavaş karıştırmanın olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir [123].

Kalia ve arkadaşları; yatay biyogaz üretecinde 20–23°C sıcaklıklarda, 40 kg saf büyük baş hayvan gübresi ile %10 bulamaçla karıştırılmış büyük baş hayvan gübresinden 15 hafta boyunca bu iki sistemden biyogaz üretim sisteminden biyogaz üretim miktarını incelemişlerdir. Bulamacın karıştırıldığı sistemde biyogaz üretiminin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [124].

Amon ve arkadaşları; 35°C sıcaklıkta 60 gün bekleme süresince fermeterlere büyük baş hayvan ve mısır atıklarını her 10 dakikada 10 sn karıştırma yaparak biyogaz üretim oranlarını incelemişlerdir [125].

Keshtkar ve arkadaşları büyük baş hayvan gübresini 35°C, 15 gün bekleme süresinde, ideal olan ve olmayan atığın iki farklı bölgesinde sürekli akışlı karıştırıcının dinamik davranışını belirleyen bir matematik modeli geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ideal olmayan bir karıştırıcının fermenterin performansının azatlığını, ideal karıştırma yapılan reaktörlerde metan verimi, atığın pH, bekleme süresi ve atığın karıştırma derecesine göre doğru orantılı olduğu, tamamı karıştırmalı reaktörün reaksiyon yani bekleme süresini kısalttığını gözlemlenmiştir [126].

2.2.3.Gaz Yakıtların Motorlarda Kullanılması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Onurbaş (1990) çeşitli gaz yakıtları yakacak bir karıştırıcı geliştirmiş, karıştırıcı ile doğalgaz, biyogaz ve LPG'yi, tek silindirli buji ile ateşlemeli motorda sabit devirlerde denemiştir. Biyogaz ve doğalgaz ile yapılan çalışmada elde edilen güç ve moment eğrilerinin, benzin kullanımı ile elde edilen değerlerin sürekli altında kaldığını belirlemiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise doğalgazla çalışmada benzine göre %7-33 arasında bir azalma görülmüştür. Araştırmacı, doğalgaz, biyogaz ve LPG'nin, aynı benzin motoru üzerinde önemli bir değişiklik yapılmadan, karbüratör yerine takılacak uygun bir karıştırıcı aracılığı ile alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Rele and Seppen (1990) normal emişli 4 değişik, doğalgazla çalışan fakir karışım yakan dizel motorunda yaptıkları araştırmada, motor performanslarını ve egzoz gaz emisyonlarını incelemişlerdir. Deneyde kullanılan iki motorun emme manifoldundan türbülanslı, yüksek alev hızlı ve diğer iki motorun türbülansız yanma odasına sahip olduğu, türbülansız yanma odasında, yanma süresinin uzadığını ve bunun da motor performansını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. HC emisyonlarının tam yüklerde hafif yüklerden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle kısmi yüklerde HC emisyonlarının minimum seviyede tutulabilmesi için hava-yakıt oranının doğru ayarlanması, emme ve egzoz supaplarının kurslarının düşük tutulması gerektiği ve bunun için de özel kam mili geliştirildiği belirtilmiştir. Tam yüklerde NOx miktarının en fazla olduğu, fakir karışimli çalışmada ise NOx miktarının yanan karışımın sıcaklığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Biyogaz, yeni bir yakıt olmasının yanında, doğalgaza hem alternatif, hem de katkı olarak değerlendirilmektedir. Biyogazın yoğunluğu doğalgaza göre fazla ancak ısı değeri daha düşüktür. Bundan dolayı biyogaz kullanımı sistem verimlerini olumsuz etkiler. Ancak biyogazın doğalgazdan en önemli üstünlüğü, yenilenebilir olması, rezerv sıkıntısı çekmemesi ve tükenebilir yakıtlardan olmamasıdır.

2.2.4. Doğalgaz Ve Biyogazın Karşılaştırılması

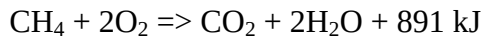
Tablo 2.8. Doğalgaz ve biyogazın karşılaştırılması[127].

ÖZELLİKLER	DOĞAL GAZ	BIYOGAZ
Bileşim, hac. %'si	95 – 98	55 – 65
Mol Ağırlığı, kg/molkg	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/san	0.39	0.25

2.2.5. Doğalgazın Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması

Doğalgazın büyük bölümünü %90-96 CH₄ (metan) gazı oluşturmaktadır. Geri kalan bölümünü ise %2.411 C₂H₆ (etan), %0.736 C₃H₈ (propan), %0.371 C₄H₁₀ (bütan), %0.776 N₂ (azot), %0.164 C₅H₁₂ (pentan) ve % 0.085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır [128].

Bileşenleri belirtilmiş olan doğalgazın yanma prosesinde, bileşen yüzdelere dikkat edildiğinde metanın aşırı yoğunluğu göze çarpmaktadır. Bundan dolayı yanma prosesi metanın yanma prosesi olarak ele alınabilir. Bu durumda yanma sonucu karbondioksit ve su buharı elde edildiği kabul edilebilir.



Yanma prosesi incelendiğinde, bir mol metan ancak iki mol oksijenle yakılabilmektedir. Bu yüzden yanma işleminin gerçekleştiği ortamlarda gerekli havanın bulunması gerekmektedir. Yanma işleminden sonra elde edilecek çıkış sıcaklığı 100°C'ın çok üzerinde olacağından karbondioksit ve su buharı, birlikte hava olarak kabul edilir.

Doğalgazın, Otto motorlarında yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliği oktan sayısının yüksek oluşudur. Ayrıca ısıl değerinin benzin ve alkole göre yüksek olması da bir avantaj sağlamaktadır. Doğalgaz benzine oranla daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerinde tutuşma olanağına sahiptir. Böylece motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egsoz gazları emisyonu açısından yarar sağlanması da mümkün olmaktadır.

Stokiyometrik karışım içindeki yakıtın hacimsel oranının yüksek oluşu (benzin için % 1.65, metan için %9.47) nedeniyle, motorun birim hacmindeki stokiyometrik karışımın ısıl değeri benzine göre %10 mertebesinde daha az olmaktadır. Ayrıca laminar alev hızının da benzin-hava karışımına göre düşük olması, benzin motorlarında, performans açısından

olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak doğalgazın motor performansı üzerindeki bu olumsuz etkisi, sahip olduğu yüksek oktan sayısı avantajlı kullanılarak motorun sıkıştırma oranının artırılması sonucunda giderilebilmektedir [127-128].

Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Yüksek performansa ve düşük emisyonlara sahip bir doğalgaz motorunun yapımı doğru sıkıştırma oranının tespiti ile sağlanmaktadır. Bu oran her motor için değişebilir. Sıkıştırma oranının arttırılmasını motor vurunusu sınırlamaktadır. Doğalgazın yüksek oktan sayısına sahip olması sıkıştırma oranının arttırılabilmesini sağlamaktadır. Genel olarak benzin motorlu taşıtlarda sıkıştırma oran 8:1 ve benzin oktan sayısı 90'dır. Fakat ortalama olarak doğalgaz motorunda sıkıştırma oranı 12:1 ve yakıtın oktan sayısı ROS 130, MOS 105'dir. Oktan sayısı yakıtın kalitesine göre daha da az olabilmektedir. Yüksek oktan sayısı demek; vurununun ortadan kalkması, daha uzun buji ömrü, yağlama yağının daha fazla kullanımı ve soğuk havalarda iyi çalışma demektir. Doğalgaz motorlarında sıkıştırma oranının yüksek tutulması önemlidir. Sıkıştırma oranının arttırılması daha fazla termik verim sağlar. Termik verimin artması yakıt tüketiminde azalma demektir. Sıkıştırma oranında bir değişiklik yapılmadan doğalgazın benzin motorlarında kullanılması durumunda güçte %7'lik kayıp meydana gelecektir. Sıkıştırma oranını arttırılması ile motorda benzin yerine doğalgaz yakılması sonucu oluşacak güç kayıplarının üstesinden gelinebilir. Doğalgaz daha hafif moleküler yapıya sahiptir ve silindire giren havanın %10'u teşkil etmektedir. Hava miktarın azaltılması genellikle güç kaybına neden olurken sıkıştırma oranının arttırılması bu durumu azaltabilir. Ayrıca doğalgazın yanması sonucu oluşan maksimum basınç ve sıcaklıklar benzin motorlarından daha düşük olduğundan, sıkıştırma oranının arttırılması sonucu artacak olan basınç ve sıcaklıklar tehlikeli boyutlara ulaşmayıp, ancak benzin motorlarındaki değerlere gelecektir. Dizel motorlarının yüksek sıkıştırma oranlarında çalışması ve doğalgazın oktan sayısının yüksek olması nedeni ile sıkıştırma oranının yüksek tutulabilmesinden dolayı, eğer dizel motorlarında uygun değişiklikler yapılırsa, doğalgazın dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabileceğine yaygın olarak inanılmaktadır. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından

yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğalgaz, ortam içine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşturulabilmektedir. Bu özelliği nedeni ile doğalgaz, benzin ve dizel motorlarında önemli değişiklik yapılmadan kullanılabilir [129].

Doğalgazın korozyif özellikleri yoktur. Fakat bazen dünyada değişik bölgelerde elde edilen doğalgaz içerisinde nem olabilmekte; bu da motoru aşındırıcı etki göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığın düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bunun yanında doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalar temin edecektir [130].

Doğalgaz tüketimli motorlar, biyogaza nazaran daha iyi konumdadır, zira yakıt nerde ise sabittir ve uçucu gaz içindeki zararlılar daha azdır. Biyogaz şarjlı motorlarda ise durum farklı ve dezavantajlıdır. Arıtma çamuru takviyeli reaktörlerde ayrıca siloksan bulunur, yani motor içinde silis, kuma dönüşür. Bahsedilen elemanlar motorda genellikle ısıdan dolayı egzoz supap yuvasına yerleşirler ve zamanla kalınlaşırlar. Zararları ise piston üst ölü noktaya gelip yeni ateşleme başlangıcında egzoz supabı tam olarak kapanmaz ve bir miktar kızgın havayı silindire kaçıırır, kısa dönemde silindirde ısı artışı, egzoz supap boyunda uzama ve kopma kaçınılmazdır. Böyle durumlar ile karşılaşmamak ve biyogazdaki metan oranının artırılması için biyogaz içerisinde bulunan CO_2 ve H_2S den arıtılması gerekir. Biyogazdaki metan oranının artırılması ile ısı verimi yükseltilebilir ve metan oranı yükseldikçe doğalgaza benzer özellik gösterir.

Tablo 2.9. Metan gazının özellikleri[131].

Kimyasal denklemi		CH ₄
C/H		0,25
Molekül Ağırlığı		16,04
Özgül ağırlığı	Sıvı: kg/dm ³	0,42
	Gaz: kg/dm ³	0,78x10 ⁻³
Isıl değer	Mj/kg	50,8
	Mj/litre	20,8
Stokiyometrik karışım için	Hava yakıt/(kütlesel)	17,2
	Hava yakıt (hacimsel)	9,53
	(Kj/litre)	3,4
Mol _{ürünler} /mol _{reaktanlar}		1,00
Buharlaşma ısısı (Mj/kg)		0,509
Tutuşma sınırları	% hacim	5-15,4
	λ	0,59-2,0
Laminer alev hızı (m/s)		0,37
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)		1954
Difüzyon katsayısı (m ² /s)		0,16
Kaynama nokatası (°C)		-161,3
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)		632
Oktan sayısı	ROS	130
	MOS	105

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Biyogazın Elde Edilmesi

3.1.1. Deney Donanımı

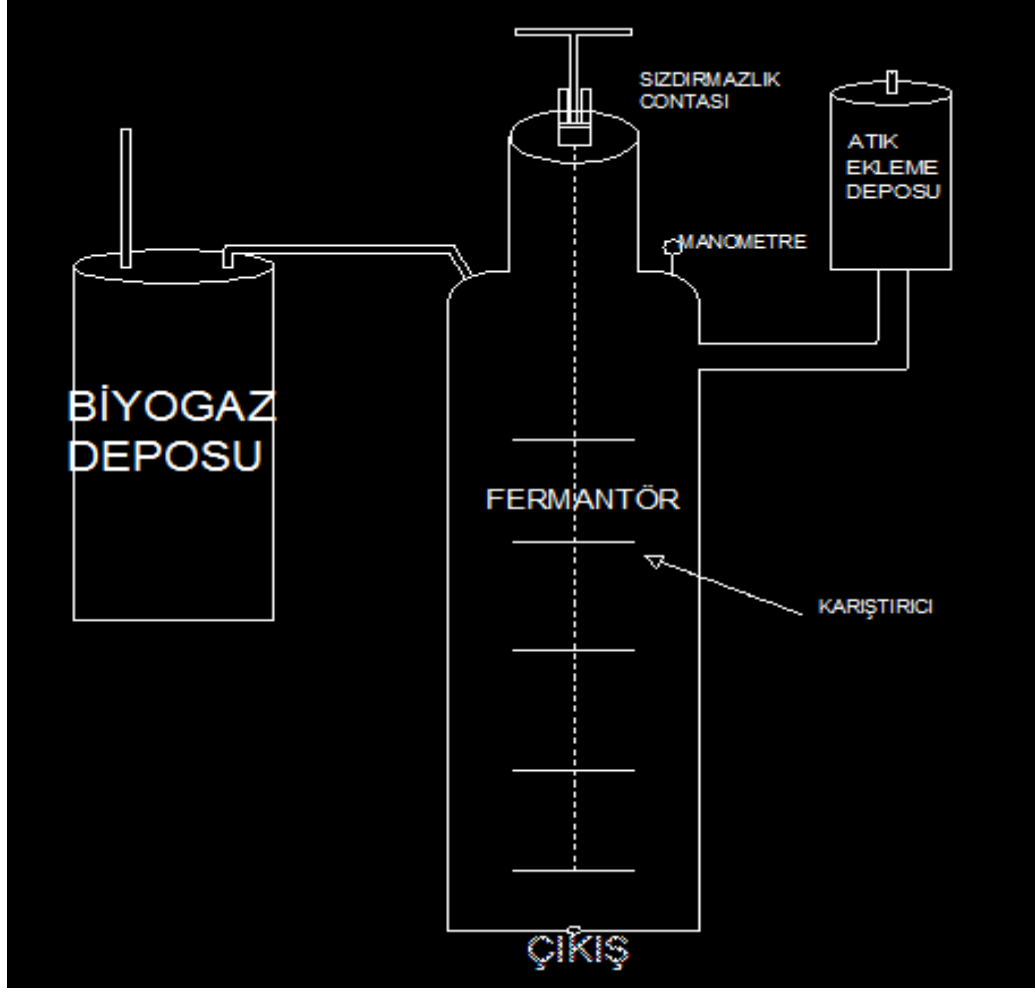
Atıklardan gaz üretiminin gerçekleştirilmesi işlemi çeşitli parametrelerin etkin rol aldığı bir bütündür. Bu faktörler çevresel etkilerden, organizmaların davranışına, kullanılan atıklardan, konsantrasyonlara kadar geniş bir yelpazede incelenebilir. Biyolojik parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar açısından bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanır.

- Sıcaklık,
- Karıştırma
- Hammaddenin cinsi ve miktarı
- Ortam pH'ı
- Partikül büyüklüğü
- Bekleme süresi
- Tesis yapısı
- Kuru madde miktarı
- Kimyasal ve fiziksel özellikler

Bu parametreler göz önüne alınarak, çok geniş literatür taraması yapıldıktan sonra, Elazığ ili, Yarımcı beldesinde biyogaz üretim fermantörü kurulmuştur.

Sistem dört ana kısımdan meydana gelmektedir.

- Ham madde ekleme deposu
- Karıştırma
- Fermanter
- Gaz depolama



Şekil 3.1. Biyogaz üretim düzeneğinin şematik görünümü



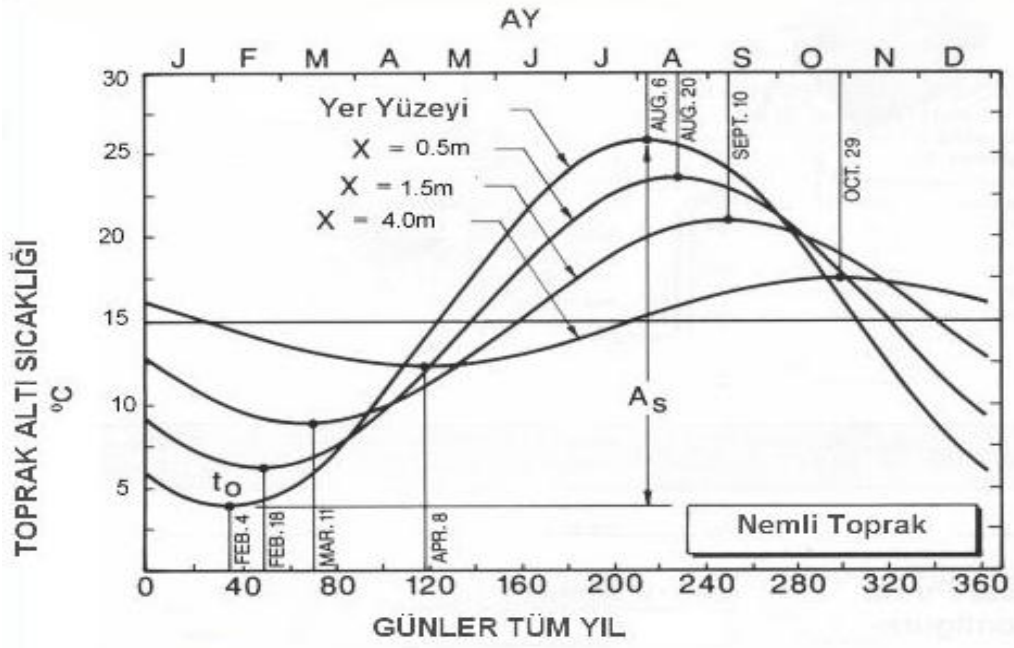
Şekil 3.2. Deney cihazını oluşturan elemanlar

3.1.2. Sıcaklık

Anaerobik mikroorganizmaların üremeleri; viskoziteyi, yüzey gerilimlerini, kütle transferini ve üretim verimini de doğrudan etkiler. Parçalanmanın ilk basamaklarında gerçekleşen hidroliz ve fermentasyon işlemlerinde görev alan bakterilerin farklı sıcaklıklara dayanıklı olması nedeniyle sıcaklığın etkisi net olarak görülme de, daha sonraki basamaklardaki bakterilerin sıcaklığa karşı daha duyarlı olmaları sıcaklıktaki değişimlerin etkilerini arttırmaktadır. Artan sıcaklıklar metan üretimini arttırdığı gibi inhibisyona neden olan amonyak üretimini de tetikler. Fakat 15°C altındaki sıcaklıklarda, mikroorganizmaların adaptasyonları kolay da olsa, gaz üretimi oldukça yavaşlamakta ve üreteç sistemi ekonomik olmaktan çıkmaktadır. Bu nedenlerle optimum sıcaklığın belirlenmesi önem taşır. Günümüzde modern biyogaz üreteç sistemleri mezofilik (20-40°C) ve termofilik (40-70°C) sıcaklık aralıklarında işletilebilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda atıkların parçalanma hızı artar ve sistemdeki bekleme süreleri kısalmış ve böylece daha küçük hacimlerdeki üreteçler kullanılabilir.

Biyogaz üretim sisteminde fermentörün toprağa gömülü olmasından dolayı toprak yüzeyinden 2 metre derinliğe kadar toprak sıcaklığından yararlanarak biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada toprak sıcaklığı ani değişimlerden etkilenmediğinden dolayı fermentör içi sıcaklığı ani olarak değişmez ve bu da fermentördeki bakterilerin (sakrofilik, mezofilik ve termofilik) zarar görmediği için biyogaz üretimi kesintiye uğramadan devam etmektedir. Yapılan fermentör içi sıcaklık ölçüm değerlerinin genelde 30-38°C arasında değişmektedir. Bu değişimin nedeni ise karıştırma yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Farklı derinliklerdeki toprak sıcaklıkları Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Alınan verilere nazaran fermentör içi sıcaklığın gaz üretilmesinde yeterli olduğu ve ek bir ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Toprağın sıcaklık karakteristiğinin aylara göre değişimi

Ölçüm İstasyonu	Haz-Tem-Ağu Ortalaması ¹	Ekim-Mart Ortalaması	Bütün Yıl Ortalaması
Adana	26,7	17,9	21,2
Ankara	20,6	11,0	14,6
Antalya	26,3	17,4	20,5
Bursa	23,7	12,3	16,5
Diyarbakır	24,9	15,2	18,7
Erzurum	14,5	5,3	8,5
İstanbul (Florya)	21,3	13,1	16,0
İzmir	29,0	16,2	20,9
Gaziantep	23,2	13,5	16,9
Kayseri	20,8	10,6	14,3
Konya	19,8	10,8	14,1
Trabzon	20,2	13,0	15,6

Şekil 4.4. Bazı illerin 1m derinlikteki toprak sıcaklıkları



Şekil 3.5.Fermentördeki sıcaklık ve pH ölçümünün yapıldığı kısım ve termometre

3.1.3.Karıştırma Sistemi

İstenilen özellikteki atık konsantrasyonlarına ulaşmak için seyreltme yapılır ve inhibisyona neden olabilecek maddelerin konsantrasyonları zararsız limitlere çekilebilir. Bu özellikle katı içeriği fazla olan atıkların kullanılmasında üreteçte çalışma rahatlığı yaratır. Seyreltme oranının artırılması ile atık maddelerin üreteçlerin tabanlarına çökmesi nedeniyle seyreltme üreteç içinde farklı katmanların oluşmasını engellemek için karıştırma sistemleri kullanılmaktadır. Deney cihazında, üreteçlerin içindeki mile bağlı karıştırıcı kanatları elle üst tarafından sabah, öğle ve akşam dahil olmak üzere günde 9 defa 5 dk aralıklar ile karıştırıcıları döndürmek ve üretecın içindeki hava ortamının anaerobik olması için mekanik karıştırma sisteminden yararlanılmıştır.

3.1.4. Karıştırmanın Avantajları

Biyogaz üretilen birçok atık içerisindeki fiziksel özelliklerden dolayı reaksiyon esnasında diğer atıklarla veya bulamaçla bire bir temas etmesi için karıştırma veya çalkalama yapmak gerekir. Fermentördeki atığın karıştırılmasının veya çalkalamanın birçok avantajları vardır.

Bunlar;

- Metanogenisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak.
- Bakteri popülasyonu ile taze atığın birbirine karışımı sağlanarak reaksiyonu hızlandırmak.

- Fermantasyon esnasında atığın üst yüzeyindeki köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partiküllerin fermentörün (reaktörün) taban kısmına çökmesini engellemek.
- Fermenterdeki atığın sıcaklık dağılımını eşitlemek.
- Bulamacın içindeki bakteri popülasyon yoğunluklarını düzenlemek.
- Fermentördeki ölü alanı, karıştırma yöntemi kullanılarak fermentördeki boş alan hacminin fermantasyon üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek [30].



Şekil 3.6. Mekanik karıştırma sistemi

3.1.5. Atığın Hazırlanması

Besi çiftliğinden alınmış olunan 250 kg atık(inek ve tosun gübresi) 1/2 oranında sulandırılarak, fermentör takviye kabından fermentörün içerisine aktararak deneylere başlanmıştır. Reaktörde bulunan gübre su karışımına 1/30 oranında (11 kg) aşılama malzemesi ilave edilmiştir. Aşılama malzemesi olarak fermantasyona uğramış ve dolayısıyla bünyesinde bakteri barındıran gübre seçilmiştir.



Şekil 3.7. Hammadde ekleme deposu ve fermentöre bağlanması



Şekil 3.8. Hammadde ekleme deposundan fermentöre atığın giriş borusu

Şekil 3.9. Aşılama malzemesi

3.1.6. Fermantör

Gübrenin fermentasyona uğratılarak biyogaz üretildiği ana bölümdür. Günümüzde laboratuvar ölçekli fermentörlerin içindeki atığın reaksiyon esnasında fiziksel ve kimyasal değişikliklerin kolay bir şekilde görsel veya cihazla analizinin yapılabilmesi ve atıkların sistematik olarak anaerobik ortam oluşturma, ısıtma, karıştırma, yüklenebilme, biyogaz sıcaklığının ve pH ölçümlerinin doğru ve düzenli yapılabilmesi için iç çapı 62 cm dış çap 63 cm, yüksekliği 186 cm ve et kalınlığı 0,5 cm şeffaf ve saydam olmayan 500 lt'lik silindirik ploetilen depo kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Polietilen fermentör tankı



Şekil 3.11. Fermentörün dıştan görünümü



Şekil 3.12. Fermentörün kapak ağzının ve içten görünümü



Şekil 3.13. İçi atık ile doldurulmuş fermentör



Şekil 3.14. Ağzı kapatılmış fermentör

3.1.7. Veri Ölçümleri

Deneyler sırasında atıklardan elde edilecek biyogaz miktarını belirlemek için manometreden yararlanılmıştır.

Manometreler transfer sıvısının partikül içerdiği göz önünde tutularak tıkanmalara, aşınmaya karşı dayanımı yüksek metalden diyaframlı tip seçilmiştir.



Şekil 3.15. Diyaframlı manometre



3.1.8. Gaz Depolama

Atıklardan elde edilecek biyogazı depolayıp, yüzdelik metan oranının analizini yapmak için 20 bar basınca dayanıklı, yüksek bariyerli 100 lt'lik polietilen depo kullanılmıştır. Biyogaz reaktörden plastik PVC borular ile yer altına gömülmüş gaz deposuna aktarılmıştır (Şekil. 3.16).

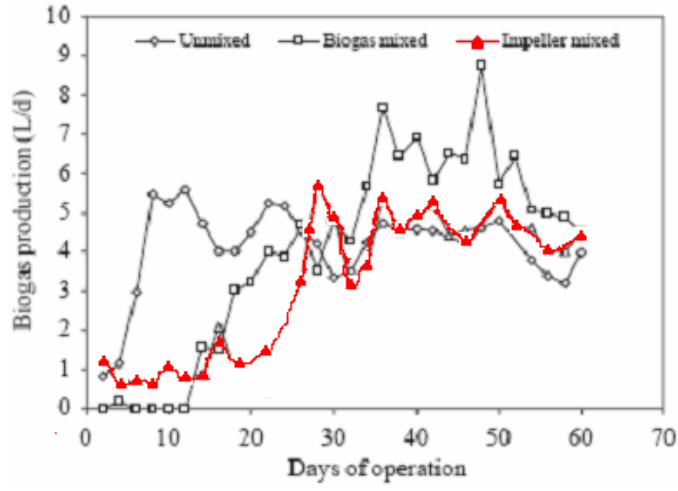


Şekil 3.16. Gazın depoya aktırılmasını sağlayan pvc borular

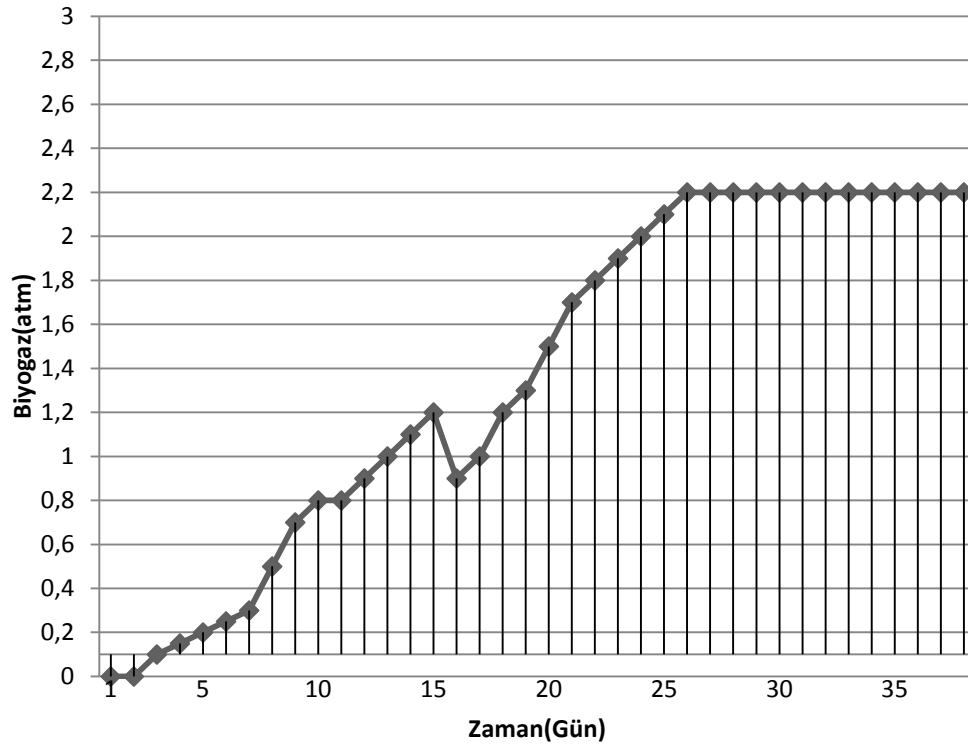
3.1.9. Metan (CH₄) Ölçümü

Günlük olarak üretilen biyogazın %40-70 metan (CH₄) olduğunu ve hesaplamalardan elde edilmiş olunan metan, biyogaz üretimi oranında artar, ancak biyogazın ve fermenter içerisindeki atığın bekletilmesiyle biyogazdaki metan oranının arttığı

bilgisi literatür çalışmalarında tespit edilmiştir veya gaz analiz cihazları ile de biyogaz içersindeki metan gaz analizi yapılabilmektedir.



Şekil 3.17. Literatür araştırmasına göre günlük biyogaz miktarı [132]



Şekil 3.18. Günlük olarak üretilen biyogaz

Her ihtimale karşılık fermenterde üretilen biyogaz basıncını 2.2 atm de emniyet valfi ile sabitlemiş ve bundan sonra depo güvenliği için basınç artışına izin verilmemiştir.

3.1.10. Gaz basınç ölçümü

Biyogazın üretildiği ve kullanıldığı yerin birbirinden uzak olması durumunda, taşıyıcı borularda oluşan basınç kayıplarının da yenilmesi gerekli olmaktadır. Sistem içerisinde ayrı bir gaz basınç ölçme cihazının olmaması durumunda, gerekli basınç reaktör içerisinde biyogaz üretiminden doğal yollarla sağlanabilmektedir. Bu durumda, reaktör içerisinde oluşacak gaz basıncının biyogaz üretimi üzerine etkileri göz önüne alınmalıdır. Reaktör içerisinde oluşacak basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz üretim verimine etkisi söz konusudur. Literatürde konuyla ilgili olarak gaz basıncının 0,75-1,5 kPa mutlak basınç aralığının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağı belirtilmektedir (Arnott, 1985). Fakat özellikle büyük reaktörlerin alt kısmında bulunan metan bakterileri oldukça büyük hidrolik basınç altında faaliyetlerini sürdürebildiğini ve bir performans düşüklüğü meydana gelmediği belirtilmiştir (Chynoweth and Isaacson, 1987).

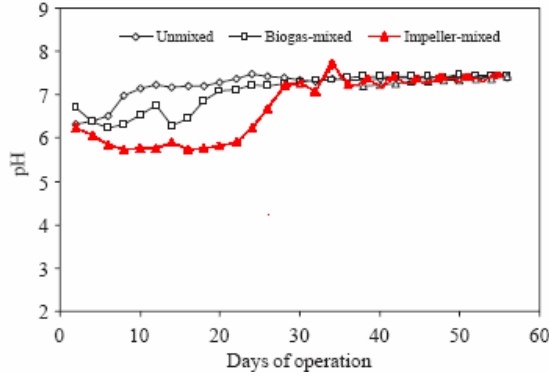
3.1.11. pH Ölçümü

Biyogaz üretilen atıkların günlük pH'ları IQ 1380 model dijital pH metre ile ölçülmüştür.

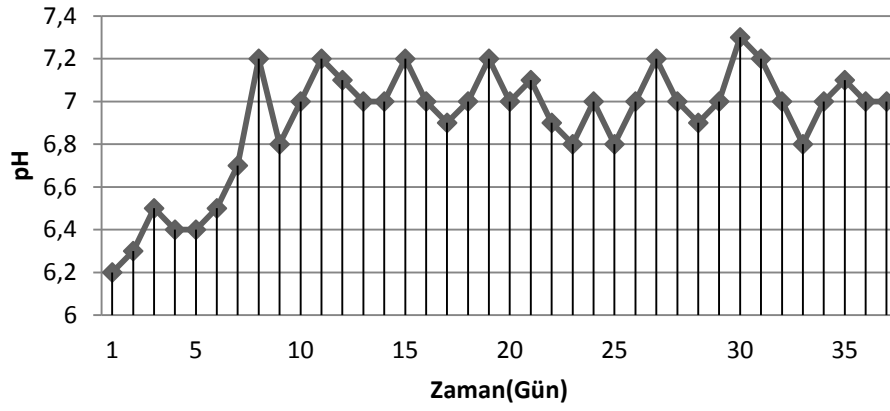
Bu cihazın ölçüm hassasiyeti ± 0.5 'dir.



Şekil 3.19. pH metre



Şekil 3.20. Literatür araştırmasına göre pH miktarı [132]



Şekil 3.21. Fermantördeki günlük pH değerinin ölçülmesi

3.2. Deney Düzenliğinin Güvenirliği

Deneyde kullanılan cihazın, güvenli bir şekilde biyogaz üretiminde sınır şartlarını (sıcaklık, karıştırma ve gaz üretimi ve depolama vb) sağlayıp, sağlamadığını belirlemek için günlük olarak manometredeki değer okunarak tahmini gaz üretimi denklemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.2.2. Biyogazın Yakılması

Deneyler sonucunda elde edilen biyogazın yanıcı özelliği çakmak ile yakılarak yanma özelliği gözlenmiştir (Şekil. 3.23).



Şekil 3.23. Deneylerde elde edilen biyogazın yakılması

3.3. Üretilen Biyogazın Temizlenmesi

3.3.1. Biyogazdaki CO₂ Gazının Ayrıştırılması

Biyogazın içindeki karbondioksitin giderilmesi veya temizlenmesi, biyogazın zenginleştirilmesi anlamına gelmektedir. Biyogaz içindeki CO₂ miktarı, metandan sonra biyogazın en yüksek bileşenini oluşturur. Bu nedenle CO₂ biyogazın enerji seviyesini düşürür ve enerji seyreltici olarak adlandırılır. Biyogazın doğal gaz veya otomobil yakıtı olarak kullanılabilmesi için içindeki CO₂ miktarının belli bir seviyenin altına düşürülmesi gerekmektedir. Biyogazın CO₂ içeriği, su buharıyla birlikte zayıf asit oluşturur ve korozyona neden olur. Ayrıca sıkıştırma sırasında kompresör içinde kuru buz oluşumuna neden olur [133].

Biyogaz reaktörlerinde CO₂ miktarı, kullanılan materyale, bekletme süresine, pH ve sıcaklık seviyesine, reaktör çalışma basıncına, reaktör geometrisine ve tipine bağlı olarak değişmektedir [134]. Biyogaz içerisindeki CO₂ gazının giderilmesinde genellikle dört metot kullanılmaktadır;

- Su ile temizleme,
- Polietilen glikol ile absorblama,
- Karbon moleküler elek kullanma,
- Membranla ayırma.

Biyogaz içindeki CO_2 , H_2S ve NH_3 bu gazlar basınçlı su içine fiziksel absorpsiyonla giderilebilirler. Bu esnada bir miktar metan da su içinde çözünür, fakat metanın su içindeki çözünürlüğü düşük olduğundan kayıp az olur.

3.3.2. Biyogazdaki H_2S 'ün Ayrıştırılması

Kullanılan organik maddeye göre miktarı değişmesine rağmen H_2S daima biyogaz içinde mevcuttur. H_2S korozyona neden olduğundan, kötü koktuğundan ve biyogazın yakılması esnasında SO_2/SO_3 haline dönüştüğünden biyogazdan giderilmesi gerekmektedir. Kapalı bir yerde yakılan gazdan iç ortama H_2S , SO_2 ve SO_3 yayılır. Bilindiği gibi bu gazlar insan ve diğer canlılar için zehirlidirler. Ayrıca H_2S anaerobik proses içerisinde bakteri gelişimini de olumsuz etkilediği için H_2S oluşumunun daha proses içerisinde engellenmesi gerekir [135].

İnorganik sülfür ve sülfat, fermentasyon sırasında H_2S 'e dönüşür. Sülfat indirgeyen bakteriler, asetik ve propiyonik asitten H_2S üretirler. H_2S 'in kaynağı besleme materyalinde bulunan proteinler ve sülfürlü bileşenlerdir. Çok miktarda nitrat ve sülfat içeren atık maddeler anaerobik fermentasyon sırasında, metan evresinden azot ve H_2S üretirler [136-137]. Besleme materyalinin içerdiği sülfat miktarına bağlı olarak biyogaz içerisinde 1500–5000 ppm H_2S bulunmaktadır. H_2S fermente malzemede çözünmüş halde ve gaz halinde bulunur. Yüksek konsantrasyonlarda sistemin inhibe olmasına neden olur [138]. Bu yüzden H_2S miktarı fazla olduğunda ayrı bir kimyasal reaktörde H_2S giderimi daha uygun olmaktadır [139]. H_2S yanıcı ve zehirli bir gazdır. 0,05–500 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda dahi, oluşan çürük yumurta kokusuyla hissedilebilir. Suda çözüldüğünde zayıf asit formuna dönüşür. Yanması sırasında oluşan SO_2 , asit yağmurlarına neden olan yüksek derecede korozif sülfürik asit oluşumuna neden olur. Havada %0,1 oranında bulunması durumunda derhal, %0,05 civarında bulunması durumunda 30 dakikada ölüme sebep olur. H_2S 'in mekân içinde izin verilebilecek sınır değeri 5–20 ppm'dir [138-139]. H_2S korozyona ve kötü kokuya neden olur.

H_2S 'in giderilmesi için kullanılan yöntemler;

- Biyogazın içine O_2 veya hava verilmesi,
- Besleme materyaline demir klorür katılması,
- Demir talaş içerisinde biyogazın geçirilmesi,
- Demir oksit paletlerden biyogazın geçirilmesi,

- Aktif karbon kullanılması,
- Su ile temizleme,
- Sodyum hidroksit ile temizleme,

4.1.3. Biyogaz Tüplerinin Deney Cihazına Bağlanması

LPG tankına bağlı rekor sökölerek biyogaz deposundan ekowat ile doldurulmuş tüpler plastik hortum yardımıyla LPG regölätörüne giden bakır boruya kelepçe yardımıyla bağlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Biyogaz dolu tüplerin LPG giriş rekoru sökölerek biyogaz hortumunun bağlanması

4.1.4. Deney Motorunun Özellikleri

Deney motorunun genel özellikleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Deney motoru

Tablo 4.1. Deney motorunun özellikleri

Motor tipi	4 zamanlı, benzin motoru
Silindir sayısı	4
Silindir çapı x strok(mm)	89 x 95
Silindir hacmi (cm ³)	1600
Sıkıştırma oranı	11:1
Maksimum güç	3000 d/d' da 55 kW
Maksimum moment	2200 d/d'da Nm
Yakıt Sistemi	Çok Noktadan Enjeksiyonlu
LPG Sistemi	Sıralı Çok Nokta Enjeksiyon
Kullanılan Yakıt	Benzin/LPG
Enjektör püskürtme basıncı (bar)	5
Ateşleme sistemi	Elektronik Ateşleme

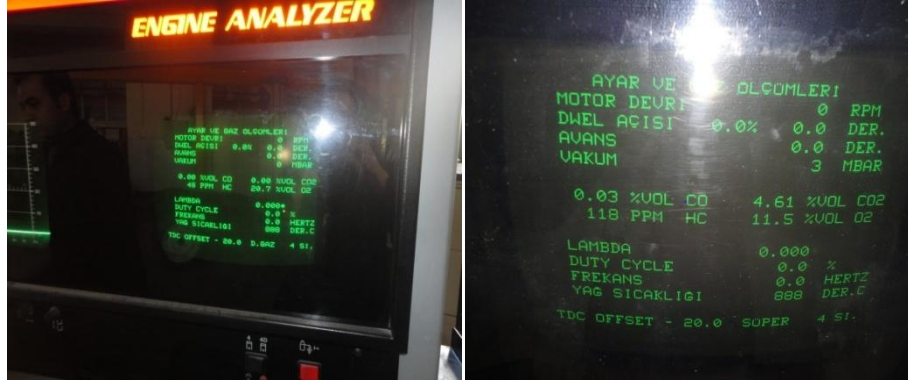
Deney motorunun yüklenmesi için Cussons P8602 marka dinamometre (bremze) kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Kumanda panosu ve Cussons P8602 marka dinamometre(bremze)

4.1.5. Egzoz Emisyon Cihazının Özellikleri

Deneylerde kullanılan gaz analiz cihazı SUN 1500 marka ve dijital göstergeli olup bu cihaz ile CO₂ (%), CO (%), HC (ppm) ve O₂(%) değerleri ölçülebilmektedir. Motor test cihazında bulunan dijital göstergelerden yağ sıcaklığı (°C), egzoz gazı sıcaklığı (°C), emilen hava sıcaklığı (°C) ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümler için Cr-Al ısıl çifti kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Egzoz emisyon değerlerini ölçmek için kullanılan sun 1500 cihazının ekranı

4.1.6. Harcanan Yakıt Miktarı

Tüketilen yakıt miktarı 1/10 gr hassasiyetli dijital terazi yardımıyla ölçülmektedir. Terazinin sıfırlaması yapıldıktan sonra biyogaz tankı teraziye yerleştirilerek gr cinsinden değer alınıp, motor sabit yükte yukarıda belirtilen her devirde 2 dk çalıştırılıp harcanan yakıt miktarı yine gr cinsinden belirlenmektedir. Alınan sonuçlardan matematiksel formül yardımıyla özgül yakıt tüketimi hesaplanabilmektedir.

Özgül yakıt tüketimi formülü;

Burada;

be : Özgül Yakıt Tüketimi (gr/kWh)

my: Tüketilen yakıt (gr)

Pe : Motor Efektif Gücü (kW)

Δt : Ölçüm zaman aralığı (sn)



Şekil 4.6. Birim zamanda harcanan yakıt miktarı ölçülmesi

4.1.7. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesinde Kullanılan Terazide Ölçümün Doğrulanması

Birim zamanda harcanan yakıt miktarını özgül yakıt tüketimi formülünden belirleneceği gibi motor çalışırken harcanan yakıt miktarını terazi yardımıyla da bulunabilir.



Şekil 4.7. Birim zamanda harcanan biyogaz miktarını ölçülmede kullanılan terazide güvenilirlik tespiti



Şekil 4.8. Motor çalışırken harcanan yakıt miktarı

4.2. Biyogazın Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması

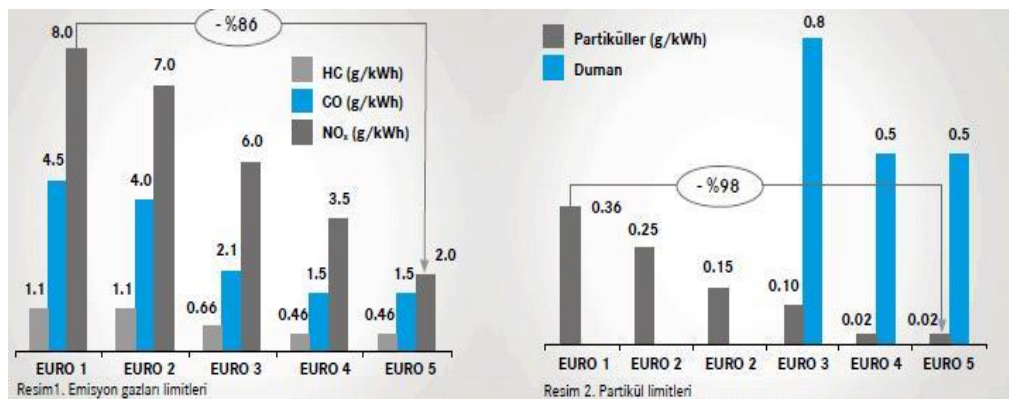
Biyogaz hayvansal bitkisel ve endüstriyel kökenli organik atıkların anaerobik (havasız) ortamda fermentasyonu sonucu açığa çıkan, renksiz, kokusuz, havadan hafif, havaya oranla yoğunluğu $0,83 \text{ g/m}^3$ ve oktan sayısı 110 olan, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımıdır.

Biyogaz CO_2 ve H_2S den arıtılmış olunan biyogaz tıpkı doğal gaz ile çalışan motorlarda olduğu gibi motordan verim alabilmek ve egzoz emisyon değerlerini azaltmak için buji ateşlemeli motorda sorunsuz bir şekilde motorda kullanılmıştır. Burada motor üç farklı devir ve yüklerde çalıştırılmıştır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda gaz yakıtların motorda kullanılmasında motor üzerindeki parçaların değişimi yapılarak başarılmıştır.

4.2.1. Biyogazın Motorda Yakılmasıyla Oluşan Egzoz Emisyonları

Ülkemizde de araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için yeni araçların belirli bir program dahilinde Avrupa emisyon normuna uyması istenmektedir. Trafikteki, mevcut araçların emisyon değerlerinin azaltılması için herhangi bir çalışma yapılmamaktadır.

EURO emisyon normları, üretilen her birim güç için motor tarafından salınabilecek azami kirletici madde düzeyini belirlemektedir. Euro Emisyon Normları bir dizel motorda yakıt yandığında egzoz gazında kirletici maddeler olarak bilinen azot oksitler (NO_x), karbon oksitler (CO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller (ince toz veya kurum) oluşur. Üretici firmalar, araçlarının çıkardığı egzoz gazının EURO normlarına uygun olmasını sağlamak zorundadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Euro emisyon normları

4.2.1.1.Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

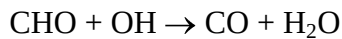
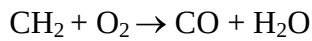
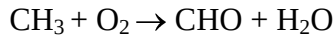
Yakıtların tam olarak yanmamasından oluşan CO renksiz, kokusuz ve havanın ortalama molekül ağırlığına eşit bir gaz olup kaynaklandığı yerin etrafında iyi dağılmayan ve varlığı fark edilemeyen zehirli bir yanma ürünüdür. Atmosferde kolayca yok olmayan bir gaz olan CO emisyonları yanma tesislerinde birçok parametreye bağlı olmakla beraber yakıtın yanması sırasında yanmaya katılan hava miktarı ile değişim göstermektedir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yanma için yeterli oksijenin bulunmaması ve CO'nun CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırmaktadır.

Yanma sistemlerinde yanma reaksiyonlarının hızı, yanma odasına alınan yakıtın enerji seviyesi, yoğunluğu ve egzotermik reaksiyon oluşturan moleküllerin çarpışma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yanma sırasında yeterli havanın bulunmaması ile eksik yanma meydana gelir ve CO miktarında artış olmaktadır[140].

Aşağıdaki denkleme göre yanma olayında,

$C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$ yanma reaksiyonlarında yeterli oksijen varsa, $C + O_2 \rightarrow CO_2$ denklemine göre CO yerine CO₂ oluşur.

Karbonmonoksitin oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların oksijenle oksidasyonundan kaynaklanır. Aşağıdaki reaksiyonlarda görüldüğü gibi çıkan ürünlerin parçalanması ile CO oluşmaktadır.



CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir.

Karbon monoksit, yakıt içindeki karbon tamamen yanmadığında oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık %60'ını,

şehirlerde % 95 kadarına karayolu taşıtları sebep olmaktadır. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek CO konsantrasyonları ile sonuçlanabilmektedir. CO emisyonlarının diğer kaynakları ise endüstri prosesleri ile kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılan yakıtlar teşkil etmektedir [141].

Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıtı ihtiyaç duymasından ve O₂ sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

CO, kana geçerek vücudun organ ve dokularına O₂ dağıtımını azaltır. CO'ye maruz kalmak hasta bireylerin yanı sıra sağlıklı bireyleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Yükseltilmiş CO seviyelerindeki is, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir. EPA'nın halk sağlığı standardına göre hava kalitesi, günün ikinci 8 saatlik zaman dilimi boyunca yapılan ölçümler için max ortalama CO konsantrasyonu milyonda 9'un üstüne çıkmamalıdır[141].

Yüksek Karbonmonoksit (CO) genelde zengin yakıt karışımını (zengin karışım-hava yakıt karışım oranı 14.7 nin altında ve Lambda 1.0' dan düşük) gösterir. Genelde CO yanma verimliliğinin göstergesidir. Bir aracın egzozundaki CO miktarı doğrudan hava-yakıt oranıyla bağlantılıdır. Yüksek CO, tam yanma için ihtiyaç duyulan miktarlardan daha az O₂ temininden kaynaklanır. Bu çok zengin karışım nedeniyle olur- çok fazla yakıt veya yetersiz hava (AFR ölçüm sonuçları optimal 14.7 den düşük olması, Lambda 1.0 dan düşük) Yüksek karbonmonoksit emisyonlarına sebep olabilecek nedenler:

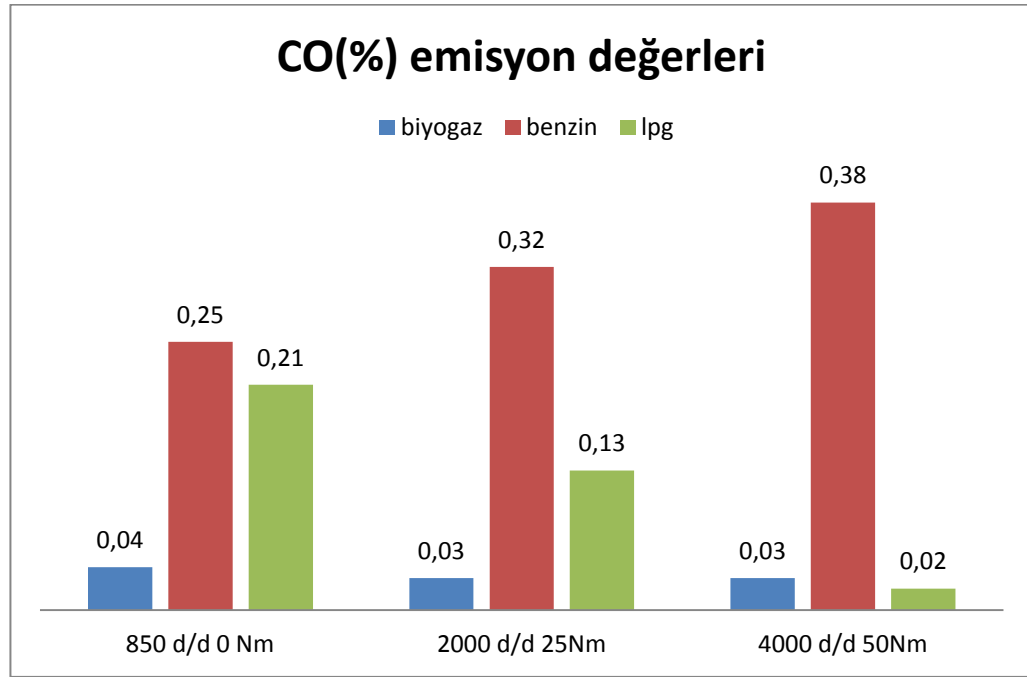
- Düşük rölanti hızı
- Karbüratörlü araçlarda şamandıra devresinde arıza
- Kirli veya tıkalı hava filtreleri
- Aşırı kirli veya bozulmuş yağ
- Çalışmayan PCV valf sistemi
- Yakıt dağıtım sisteminin düzensiz çalışması
- Düzgün çalışmayan termaktör sistemi
- Katalitik Konvertör arızası

Egzoz borusundaki yüksek CO ölçümleri sistemin en az bir bölümünde arıza olduğunun en belirgin göstergesidir, ancak "normal " aralıkta bir CO ölçümü veya CO nun sadece az miktarda yüksek çıkması, kabul edilebilir sistem performansının güvenilir

göstergesi değildir. Doğru düzgün çalışan Doğru düzgün çalışan katalitik konvertörle donatılmış hatalı işleyen bir motorda düşük değerlerde CO ölçümü sıkça görülen bir olaydır.

Biyogazın deney motorunda yakıt olarak kullanılması sonucu elde edilen CO emisyon değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

4.2.1.1.2 Deneylerde Elde Edilen CO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 4.10. Farklı yük ve devirlerdeki CO emisyon değerleri

Deney sonuçlarından elde edilen veriler incelendiğinde biyogaz ile çalışan motorların karbonmonoksit(CO) emisyon değerlerinin benzin ve LPG ile çalışan motorlara göre daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi üretilen biyogazın oktan sayısının yüksek olmasının yanında biyogazın yanabilmesi için gerekli havayakıt oranı ve yanma hızının benzin ve LPG'ye göre farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Biyogazın, LPG ve doğalgazla çalışan cihazlarda kullanılabilmesi için çeşitli modifikasyonlar gereklidir. Hava girişinin ve yanma hızının ayarlanması bunlardan biridir. Biyogaz, doğalgaz veya LPG ile çalışan cihazlarda kullanıldığında, meme çapı büyütülmeli, hava giriş portu küçültülmelidir. Meme çapı doğalgazla çalışanlara göre yaklaşık 1,3 kat artırılmalıdır [142]. Biyogazın yanması için litre başına 5,1 litre hava gerekirken, LPG içerisinde bulunan propan için 23,8 litre butan için 30,9 litre olmaktadır

[143]. Biyogaz için uygun yanma hızı 0.25-0.34 m/s olarak verilmektedir. Ayrıca biyogazın içerisindeki CO₂ gazının yanma ve alev yayılma hızını düşürdüğü söylenmektedir [144].

İçten yanmalı motorlarda, düzensiz yanma sonucunda yanma odasında lokal olarak olan basınç artışlarına, vuruntulu yanma adı verilmektedir. Benzin ve dizel gibi sıvı yakıtları kalitelerine göre sınıflandırabilmek ve vuruntu eğilimini belirlemek için başvurulmuş oktan ve setan sayıları yanında gazlarda da metan sayısı kullanılmaktadır. Metan ve biyogaz vuruntuya karşı dirençlidir. Metanın oktan sayısı 120 dir. İçerisinde %70 metan bulunan bir biyogazın oktan sayısı 130 olmaktadır ve yüksek sıkıştırma oranlarında çalışması gerekmektedir [145].

Oktan sayısı yakıtların kendi kendine tutuşma özelliklerini belirtmektedir. Oktan sayısı arttıkça kendi kendine tutuşma özelliği kötüleşmektedir. Yapılan bir araştırmada değişik oktan sayısına sahip benzin yakıtının farklı gaz keleşi açıklarında yakılmasıyla CO emisyonlarının düşük oktan sayısına sahip yakıtlarda, oktan sayısı yüksek olanlara göre daha az miktarda oluşmaktadır. 95-97-100 oktanlı benzinlerde CO emisyon değerleri sırasıyla 0,39- 0,70-0,82, HC emisyonları 67-80-86 ppm ve NO_x emisyonları da 350-286-147 ppm olarak bulundu. 95 oktanlı benzine göre 97-100 oktanlı benzinlerde %HC değişimleri %16-22 oranında daha fazla olduğu tespit edildi. Burada 95 oktanlı benzinin bütün deney devirlerinde HC ve CO miktarının 97 ve 100 oktanlı benzinlere göre daha düşük olduğu görülmektedir [146].

Yüksek oktanlı yakıtların yanma hızı daha düşüktür. Yanma sonucu oluşan maksimum basınç, daha geç oluşur. Bu da pistonun genişleme strokunda yanmanın hala devam etmesine neden olur. Bu durumda piston genişleme strokuna başladığında yanma tamamlanamadan sönümlene başlayacağından yanmamış CO ve HC emisyonları açığa çıkar. Fakat deneylerde CO oranının düşük çıkması silindir içerisinde fazla miktarda oksijen var olmasından kaynaklanabilir, O₂ yanmadan silindirden atıldığını egzoz emisyon cihazında okunabilmektedir

Deney sonuçlarını incelediğimizde buradaki eksik yanma O₂ nin yokluğundan değil alevin sönmesinden kaynaklanıyor olabildiği için HC oranı yüksek olmaktadır. Ancak alevin ulaşabildiği noktaya kadar silindir içerisinde O₂ var olduğundan CO düşük çıkabilmektedir. Egzoz zamanında yanmış gazlar ile birlikte yanmamış HC da atıldığından HC emisyonu yüksek çıkmaktadır.

Biyogazın yakıt olarak kullanılmasından dolayı oluşan CO emisyon değerlerinin düşük çıkması HC emisyon değerlerine bakıldığında yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise biyogazın alevlenme hızının düşük olmasından kaynaklanabilmektedir. Bu olayı ucu yakılan aynı kalınlıktaki bir çubuk parçası ve buğday sapının yakılmasına benzetilebilir, ikisi aynı anda yakılıp ve aynı anda söndürülürse, buğday sapının aynı sürede daha hızlı yandığı gözlenecektir. Bağ dokusu zayıf olan, yani oktan sayısı düşük olanın yanma hızı daha iyi olabileceği sonucuna varabilir.

Egzoz emisyon cihazında CO, HC, CO₂ ve silindir içerisine alınmış fakat yanmaya işlemine girmeden atmosfere atılan O₂ miktarı bulunmaktadır. Alınan ölçümlerden bir kaçını incelendiğinde çekilen video ve resimlere bakıldığında dışarı atılan O₂ miktarı azaldıkça HC oranı azalmakta ve bununla birlikte az da olsa CO oranı da artmaktadır. Örnek olarak; HC: 302 ppm, CO: 0,13%, CO₂: 6,11%.ve O₂: 11,0% başka bir ölçümde ise; HC: 363 ppm, CO: 0,01%, CO₂: 1,97% ve O₂: 17,4% bu sonuçlarında böyle çıkmış olması gerçektende silindir içerisinde yanmanın başlayıp tekrardan sönmesiyle açıklanabilmektedir. Biyogazın silindir içerisinde yanmasını iki örneği birleştirerek açıklamak gerekirse; 1cm yarıçaplı ve 2cm yarıçaplı iki küreye benzetip, etrafındaki dış bölgeyi de sönme noktası olarak belirlendiğinde sönme noktasında ne kadar fazla oksijen kalmışsa CO emisyonu o kadar yüksek olabilmektedir. Başka bir şekilde açıklamak gerekirse benzinli motorda emme zamanından silindir içerisine yakıt ile hava karışımı birlikte alınmakta yani silindir içerisinde homojen bir karışım meydana gelmektedir. Bu homojen karışım buji kıvılcımı ile ateşleme yapıldığından yanma bir noktada başlar ve diğer uca ulaşmadan yanma yarım kalır. Yanmanın yarıda kesilmesinin nedeni olarak biyogazın alevlenme hızının düşük olması etkilemektedir. Eğer burada biyogazın oktan sayısının yüksek oluşundan dolayı sıkıştırma oranı artırılırsa yanma sönmeden silindir içerisine alınan yakıt, silindir içerisinde bulunan hava miktarına bağlı olarak yanma ileri düzeylere kadar gerçekleşebilir. Biyogaz ile çalışabilecek uygun bir motor tasarlanıp içerisindeki karışım tam olarak ayarlanabilirse, alev sönmesi gerçekleşmeden yanma sağlanırsa motor içerisine giren yakıt tam yandığında CO emisyon miktarı azalır.

4.2.1.2. HC Emisyonu

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1.5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır.

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır [147,148].

Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları motordan dışarı atılan yanmamış gazlardır ve bu gazların oluşumu aşağıdaki gibidir.

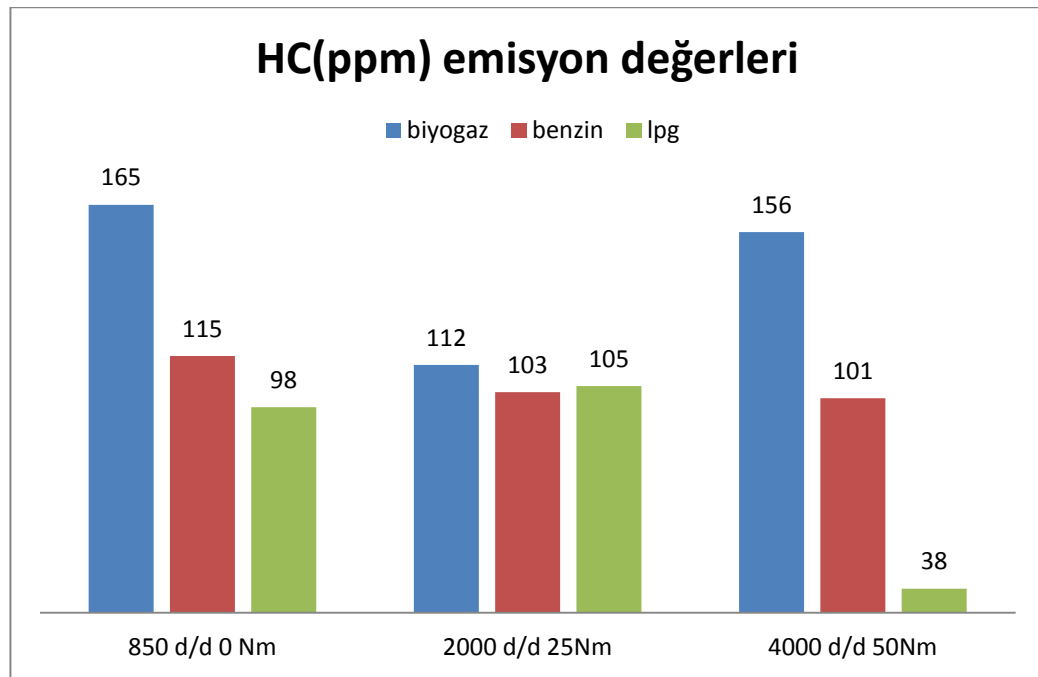
- Supab bindirmesi esnasındaki gaz kaçakları,
- Silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması,
- Kötü yanma sonrasında yanmamış gazların mevcudiyeti,
- Tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi ve
- Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar vb sebeplerden kaynaklanır.
- Karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunamadığından HC emisyonları artacaktır. Karışım fakirleştikçe ise belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılacak ve böylelikle de yine HC emisyonları artacaktır.

Motor freni ve hız kesme (yavaşlama) esnasında gaz keleşbeği tamamen kapalı konumdadır ve rölanti kanalından silindir içine bir miktar yakıt emildiği halde bunu yakacak yeterli hava giremez. Böylelikle düşük kompresyon ve zengin bir karışım

meydana gelir. Düşük sıkıştırma ve yetersiz oksijen, eksik yanmaya sonuç olarak da HC emisyonlarının artmasına neden olur [149].

Artıklardan elde edilmiş olunan biyogazın deney motorunda farklı devir ve yüklerde yakıt olarak kullanılması sonucu elde edilen HC miktarları, aynı motorda farklı devir ve yüklerde benzin ve LPG yakıtı ile çalıştırılması sonucu elde edilen değerler Şekil 4.11'deki gibidir.

4.2.1.2.1. Deneylerde Elde Edilen HC Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 4.11. Farklı devir ve yüklerdeki HC emisyon değerleri

Yapılan deneyler sonucun HC oranın benzin ve LPG ile çalışan motora göre yüksek olduğu görülmektedir. Deneyler sonucunda HC değerinin yüksek çıkması motorda tam yanmanın olmamasından kaynaklandığını düşündürmektedir. Bir başka sebep ise silindir içerisinde yanma başladıktan sonra alev sönebilmektedir.

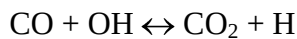
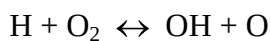
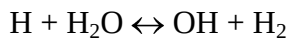
Yanma odasının yüzey sıcaklığı malzemenin dayanma sınırı nedeniyle, benzin motorlarında 250°C'yi aşmamalıdır. Ancak bu kadar düşük sıcaklıklarda yanmanın yüzeye kadar ilerlemesi mümkün olmamakta ve alev yüzeye yakın bölgelerde sönmektedir. Sözü geçen alev, sönm bölgesinde yanma tamamlanamadığı için egzozdan tam yanmamış yakıt HC atılmaktadır [150].

CO₂ deęerinin dūřuk olması bu sonucu doęrulamaktadır. Dięer yandan CO deęerinin de dūřuk çıkması oksijenin var olduęu bōlgeye kadar yanma gerçekleřmekte, fakta alevin sōnmesinden dolayı az miktarda olsa CO emisyonu oluřmaktadır. Sonuç deęerlerinin bu řekilde olmasının dięer bir sebebi ise ūzerinde çalıřılmıř olunan motorun benzin ve LPG yakıtına ūzgū olarak tasarlandıęından kaynaklanmış olduęunu dūřündürmektedir. Normal olarak sadece doęal gaz ile çalıřan motorda HC oranı dūřuk miktarda çıkılmaktadır. Bu sonucunda deney motoruyla ilgili olabileceęi ūzerine dūřündürmektedir, deney motoru her ne kadar gaz ile çalıřabilecek parçalar ūzerinde olsa da elektronik kontrol ūnitesine sahip olmasından dolayı deney motoru LPG gazına uyarlanmışır. Bařka bir neden ise biyogazın oktan sayısı etkili olabilmektedir.

4.2.1.3.Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

CO₂ gazı būyūk ūlde motorlu tařıtların egzoz emisyonları ile beraber bitkiler ile canlıların solunum sonucunda ve enerji ūretim tesislerinde yanmıř gaz olarak atmosfere girmektedir. Motorlu tařıtlar, enerji ūretim tesisleri ve ısınma amaçlı kullanılan sistemlerde yanmanın kalitesini yanmaya katılan hava/yakıt oranı belirlemekte ve bu oran CO ile CO₂ ūretimini ūnemli ūlde etkilemektedir. CO'nin oluřması ile CO₂'in oluřması arasında ūnemli bir iliřki bulunmaktadır. Yakıtın yanması sırasında yeterli hava deęerine ulařılmazsa eksik yanma sonucu CO emisyon seviyesi yūkselmektedir. CO'nin maksimum seviyede oluřması CO₂ miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Buna karřılık; yanma yeteri kadar iyi olmadıęı için yūksek sıcaklıęa ulařılmaz ve dolayısıyla azot oksitler azalmaktadır. Eęer yakıtı gōre hava miktarı stokiyometrik orandan fazla ise bunun tersi gōrūlmektedir[151].

Karbonmonoksitin CO₂'e dōnūřmesinde OH kōkū ūnemli rol oynar ve bu kōk ařaęıdaki reaksiyonla oluřur ve OH kōkū karbonmonoksitle tekrar reaksiyona girerek CO₂'e dōnūřūr.

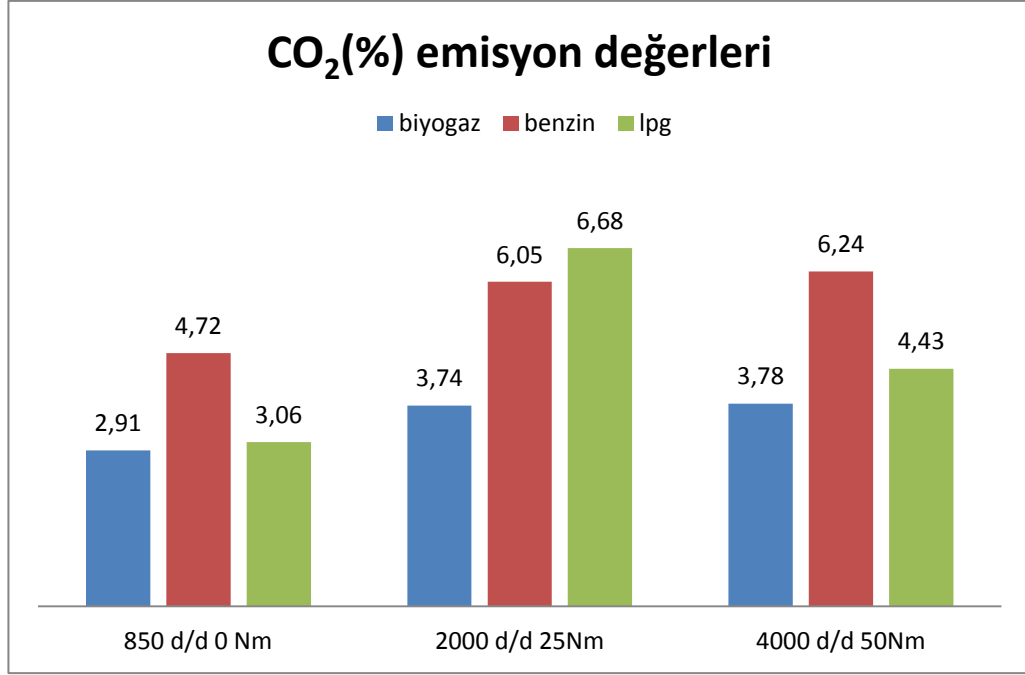


Yanma işlemlerinde tam yanma olmadığı durumlarda bölgesel eksik yanmalar meydana gelir ve CO oluşumu artar, buna bağlı olarak da CO₂ gazı da düşmektedir. Yakma tesislerinde gönderilen havanın türbülanslı oluşu yanma kalitesini iyileştirir. Türbülans artıkça CO miktarı düşmekte ve CO₂ miktarı da yükselmektedir. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe, oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artar. Oksijenin parçalanarak CO₂ oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi, yanma odası sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

CO₂'in çevre açısından olumsuz yanı, küresel ısınmaya neden olmasıdır. Küresel ısınma, atmosferde CO₂ ve başka gazların bulunması nedeniyle ortaya çıkan “sera etkisinin sonucudur. Bu gazlar, güneşin yer tarafından yansıtılan kızıl ötesi ışınlarını atmosferde tutarak sıcaklığın artmasına sebep olurlar. Küresel ısınma ekosistemleri etkiler. Bunun sonucunda bazı türler tamamen ortadan kalkabilir. Besin zincirinde yer alan bu türlerin ortadan kalkması tüm türlerin varlığını tehlikeye sokar. Bazı meteorolojik olayların küresel ısınma sonucu ortaya çıktığı belirlenmiştir. Isınma sonucu buz kütlelerinin erimesi sonucunda deniz seviyesi yükselerek kıyı bölgelerindeki yaşamı olumsuz etkilenmektedir.

4.2.1.3. Deneylerde Elde Edilen CO₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Deney motorunda belirli yük ve devirlerde biyogaz, benzin ve LPG'nin yakıt olarak kullanılması sonucunda egzoz emisyonlarında atmosfere atılan CO₂ değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı yük ve devirdeki CO₂ emisyon değerleri

CO₂ emisyon değerlerinin biyogazın yakıt olarak kullanılmasıyla aynı motorda benzin ve LPG yakıtlarına göre daha az miktarda olması istenen bir değerdir. Ancak biyogaz ile çalışan motordaki HC emisyon değerlerinin benzin ve LPG yakıtına göre yüksek çıkması tam yanma gerçekleşmemiş olmasından kaynaklı olabilmektedir. Burada tam yanma olmamasından kasıt alevin sönmesinin etkisidir. Sonuçta silindir içerisinde yanıcı olarak bulunan biyogaz içerisindeki CH₄ gazı tam olarak yanmamıştır. Tam olarak yanma gerçekleşmiş olsaydı HC oranının azılıp, CO₂ oranının ise aynı miktarda artması gerekir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada, motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıt çeşitlerinden biyogazın hayvansal atıklardan elde edilişi ve motorlarda kullanım sonucu atmosfere yaydığı egzoz emisyon değerleri incelenmiştir.

Bu çalışmada hayvansal atıklardan biyogaz elde edilmesinde biyogaz üretmini etkileyen sıcaklık faktörünün toprak sıcaklığı ile ani değişimlerden etkilenmeden biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilmiş olunan biyogaz içerisindeki yanmayan CO₂ ve aşındırıcı özelliği bulunan H₂S'den arındırılarak çelik tüplere 3 bar basınçta doldurulup 4 zamanlı büji ateşlemeli, LPG ye dönüştürülmüş motorda yakıt olarak kullanılmıştır. Biyogazın, belirli yük ve devirlerde motorda yakılmasıya egzoz emisyon (CO, HC ve CO₂) değerleri ölçülmüştür. Ancak bu değerlere karşılık motor performans değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Biyogazın yeterli olmayışı ve deney motorunun dört silindirli oluşu yakıt sarfiyatını artırmaktadır. Yakıtın taşıma ve depolama sorunu olduğu için yeterli yakıt deney motoruna getirilememiştir. Bunun için motor performans değerlerine bakılamamıştır.

Yapılan emisyon değerlendirme testlerinde motorun rölanti devirlerinde biyogaz için %0.04, benzin için %0.25 ve LPG için %0.21 değerinde CO; biyogaz için 265 ppm, benzin için 115 ppm ve LPG için 98 ppm değerinde HC ve biyogaz için %2.91, benzin için %3.74 ve LPG için %3.78 değerinde CO₂ değerleri elde edilmiştir.

Yapılan emisyon değerlendirme testlerinde motorun 2000 d/d biyogaz için %0.03, benzin için %0.32 ve LPG için %0.13 değerinde CO; biyogaz için 107-118 ppm, benzin için 103 ppm ve LPG için 105 ppm değerinde HC ve biyogaz için %4.6-4.83, benzin için %6.05 ve LPG için %6.24 değerinde CO₂ değerleri elde edilmiştir.

Yapılan emisyon değerlendirme testlerinde motorun 4000 d/d biyogaz için %0.03, benzin için %0.38 ve LPG için %0.02 değerinde CO; biyogaz için 153-160 ppm, benzin için 101 ppm ve LPG için 38 ppm değerinde HC ve biyogaz için %3.02-3.11, benzin için %6.68 ve LPG için %4.43 değerinde CO₂ değerleri elde edilmiştir. Buna göre motorun iki devrinde de CO miktarı benzin ve LPG'ye göre daha az 4000 d/d'da LPG için daha az görünmektedir. HC emisyon miktarı motorun her üç devrinde de biyogaz yakıtı için diğer iki yakıttan daha fazla çıkmaktadır. Bu durum alevin sönmesi olayına bağlanabilir. CO₂ miktarı biyogaz için motorun her devrinde diğer iki yakıtı göre düşük çıkmaktadır. Ancak

yüksek olmasının sebebi HC emisyonlarının yüksek olmasından kaynaklanabilir. Çünkü HC'lar yanmaya iştirak etmemiştir.

Taşıtlarda kullanılabilecek alternatif yakıt tiplerinden en uygununu seçebilmek için çeşitli kriterlerden faydalanılabilir ve bu kriterlere dayanılarak hangi alternatif yakıtın hangi ortamlarda daha uygun veya avantajlı olduğu bulunabilir. Bunlar kirletici emisyonlar ile motor performans değerleridir

Biyogaz ile çalışan bir motor daha düşük miktarda çevreye karbonmonoksit(CO) salınımı yapmaktadır. Bu da biyogazın çevreyi daha az miktarda kirlettiği için ne kadar çevreci bir gaz olduğu gözlerden kaçmamaktadır. Ancak dikkat edilirse LPG ile çalışan bir motorda yüksek devirlere çıktıkça CO salınımı azalmaktadır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken yüksek devirlere çıktıkça yakıt tüketiminin artışı söz konusu olduğunda yüksek devirlerde araç kullanmaktan sürücüler kaçınmaktadırlar. Biyogazın artıklardan üretildiği düşünüldüğünde sadece maliyet olarak biyogaz tesisinin maliyeti önemlidir. Yapılan çalışmalar ise kısa dönemde biyogaz tesisleri kendini amorti etmektedir.

6. ÖNERİLER

Biyogazın motorlarda yakıt olarak kullanılmadan önce mutlaka daha iyi bir yanma verimi için, biyogaz içerisindeki CO_2 temizlenmelidir. Biyogaz içerisinde bulunan H_2S nin de arındırılmalı aksi halde H_2S , O_2 ile reaksiyona girerek H_2SO_4 meydana getirilerek asitin aşındırıcı özelliğinin varlığıyla motordaki metal malzemelere zarar verebilmektedir.

Biyogazın oktan sayısı yüksek oluşundan dolayı yanmaya karşı direnç göstermektedir. Oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle biyogaz yakıtı ile çalışabilecek özel motorlar tasarlanarak sıkıştırma oranının artırılması sağlanarak daha fazla ısı verim alınabilir. Emme zamanında silindir içerisine fazla miktarda hava alınmasıyla tam yanma gerçekleşebilir. Belki burada fakir karışım meydana gelip ısı verim azalabilmekte bunun içinde elektronik ateşleme sistemi ve yakıt hava karışımını oranlı bir şekilde ayarlayabilecek elektronik kontrol ünitesi sağlandığı takdirde tam yanma ile birlikte daha fazla ısı verim alınabilir ve çevreyi kirleten egzoz emisyon miktarı azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]“A Renewable Energy Project Kit Build your own biogas generator Teach Build Learn”
Reneweable Energy The Pembina Institute **2002.**
- [2]Acaroğlu, M.:“Alternatif Enerji Kaynakları” Ders kitabı Atlas yayın dağıtım, İstanbul,
Temmuz, **2003.**
- [3]McCabe, J: Eckenfelder, w.eds : “Biological Treatment of Sewage and Industrial
Wastes”Two volumes.New York:Reinhold publishing, **1997.**
- [4]Wellinger, R.: A.(Eds.), “Hygienic and Environmental Aspects of Anaerobic
Digestion:Legislation and Experiences in Europe”, Stuttgart-Hohenheim,pp. 73– 79.
1999.
- [5]Karaosmanoğlu, F.:“Biyogaz Nedir?” İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği
Bölümü Maslak/ İstanbul, **2004.**
- [6]Ortenblad, H. (Ed.):“Anaerobic Digestion: Making Energy and Solving Modern Waste
Problems”, pp. 5–7.**2000.**
- [7]Buğutekin, A., Binark, A.K., “Dünyada ve Ülkemizde Biyogaz Çalışmaları” IV. Ulusal
Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri kitabı ,İstanbul, Sh 593-600, 26-28 Mayıs **2004.**
- [8]Türkiye Çevre Sorunları Vakfı. “Türkiye’nin Çevre Sorunları”, Ankara, Ağustos **1983.**
- [9]Dudley, D.J., Guentzel, M.N., Ibarra, M.J., Moore, B.E., Sagik, B.P., “Enumeration of
potentially pathogenic bacteria from sewage sludges”. Appl. Environ. Microbiology
39 (1), 118–126, **1980.**
- [10]Larsen, H.E., “Bakteriologiske risici ved anvendelse af husdyrgødning og affald”.
Rev. DanskVet. Tidsskrift. 78 (15), 763–766 (in Danish, with English summary),
1995.
- [11]Lusk,P.: “Methane Recovery from Animal Manures The Current Opportunities
Casebook” National Renewable Energy Laboratory, September **1998.**
- [12]Öztürk,M.:“Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi”Çevre ve Orman Bakanlığı,
Ankara,**2005.**
- [13]“Energy and environmental technology A system approach to biogas technology”
(FAO/CMS), **1996.**
- [14]Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Eskişehir yolu 7. km No:166 Posta
kodu:06520, Çankaya-ANKARA **2003.**

- [15]Sathianathan, M. A. “Biogas Achievements and Challenges”. Association of Voluntary Agencies of Rural Development, New Delhi, India. **1975.**
- [16]Salah M. Al-Azzam “Biogas a source of energy” National Energy Research center ÜRDÜN **2003.**
- [17]Essay,N.:“An Investigation of the Link Between Bovine Diet and Their Excreta Methan Emissions”American Museum of Natural History ,**2002.**
- [18]Kapdi, S.S.; Vijay, V.K.; Rajesh, S.K.; Prasad, R.:“Biogas scrubbing, compression and storage:perspective and prospectus in Indian context” Renewable Energy, vol. 30, pp.1195–1202, **2005.**
- [19]Mahmood Alimahmood “ CO2 Capture and Bioconversion to Biogas in an Anaerobic System using UASB Reactor” Department of Building, Civil Environmental Engineering, Degree of Master of Applied Science at Concordia University, Canada, March **2004.**
- [20]Kapdi, S.S.; Vijay, V.K.; Rajesh, S.K.; Prasad, R.:“Biogas scrubbing, compression and storage:perspective and prospectus in Indian context” Renewable Energy, vol. 30, pp.1195–1202, **2005.**
- [21]“Minnesota’s Potential for Electricity Production Using Manure Biogas Resources”, Minnesota Department of Commerce State Energy Office, April, **2003.**
- [22]Gunnerson, C. G. and D. V. Stuckey “Integrated Resource Recovery-Anaerobic Digestion-Principles and Practices for Biogas systems”. World Bank Technical Paper No. 49. **1986.**
- [23]“Information and Advisory Service on Appropriate Technology”, Biogas Digest, Biogas Basic, Volume I , **2002.**
- [24]Çeken, B. H.,“Biyogaz üretim sistemi tasarımı ve uygulaması” A.K.Ü Fen Bilimler Ens. Yüksek Lisans Tezi Haziran **1997.**
- [25]Seki,K.,“How to use biogas absorptive storage of digester gas”Energy Technology Laboratories Energy Conversion TBU,Osaka Gas Co.,Ltd.,**2002.**
- [26]Boyd,R.:“Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk” University of East Anglia, **2000.**
- [27]Williams,D.,J.:“Anaerobic kinetic study of swine slurry”Master of Environmental Science The University of Oklahoma, Norman, **2004.**

- [28]Rise,A.,“Review of Current Status of Anaerobic Digestion Technology for Treatment of Municipal Solid Waste” Institute of Science and Technology Research and Development Chiang Mai University, November, **1998**.
- [29]Yaldız,O.,“ Biyogaz Teknolojisi” Akdeniz Üniversitesi, Yayın No:78 Antalya, **2004**.
- [30]Alexander, M. “Introduction to Soil Microbiology”.John Wiley & Sons, Inc. Pp 227-231. **1961**.
- [31]Lagrange,B.“Biomethane2: Principles - Techniques Utilization”.EDISUD, La Calade, 13100 Aix-en- Provence, France. **1979**.
- [32]Özmerzi,A.:“Gıda atıklarından biyogaz (Metan) üretimi” Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü ANTALYA 20-22 Eylül **1994**.
- [33]Yılmaz,G.; Cengiz ve M. Ali Bilginoğlu. 1988. “Çevre Sorunları ve Ekonomi (III)”, Verimlilik Dergisi, sayı 3-4, Mart-, Milli Produktivite Merkez Yayınları, Ankara, Nisan **1988**.
- [34]Brummeler, E.T.; Hulshoff, W.L.; Doling, j.; Lettinga, G.; Zehender, J.B.:“Methanogenesis in an Upflow Anaerobik Sludge Blanket Reactor at pH 6 on an Acetate Propionate Mixture” Applied and Environmental Microbiyology, Vol:49, No:6, 1985.[47] Taşcı, A.:“Copten Hammaddeye”, Bilim ve Teknik Dergisi (BTD), sayı 253, TÜBİTAK Yayınları, Ankara, **1988**.
- [35]Taşcı, A.:“Copten Hammaddeye”, Bilim ve Teknik Dergisi (BTD), sayı 253,TÜBİTAK Yayınları, Ankara, **1988**.
- [36]“Information and Advisory Service on Appropriate Technology, Biogas Digest”, Biogas Basic, Volume I,**2002**.
- [37]Samsunlu, Ahmet.:“Çevre Mühendisliği Kimyası” İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü,Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi yayınları, İstanbul, 1999.
- [38]“Documents, Tools and Resources” AgSTAR Handbook and Software Handbook Table of Contents”, U.S.Environmental Protection Agency, **2002**.
- [39]“Managing Manure with Biogas Recovery Systems Improved Performance at Competitive Costs United States”,Environmental Protection Agency, Winter **2002**.
- [40]Erdin, E.:“ Kırsal Alanlarda Oluşan Organik Atıklar ve Bunlardan Biyogaz Üretimi” Enerji ve Çevre Sempozyumu Mersin üniversitesi, 13-15 Nisan **1994**.
- [41]The Danish Agricultural Advisory centre, “Centralised Biogas plants, a contribution to sustainable agriculture”, January **2000**.

- [42]Öncel, S; İkizoğlu, E.: Öngen, Gaye; Vardar Sukan, FaziletE. Ü. Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Bornova – İzmir, **2001**.
- [43]Türker, M.;“Biyolojik Proseslerin kinetiği ve modellenmesi” Su Vakfı Yayınları, Kocaeli, **2005**.
- [44]Dennis,A.,Burke,P.,E.;“Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook” Environmental Energy Company, june, **2001**.
- [45] Birkomse,T.:“Biogas production - agriculture, environment and energy” The Danish Agricultural Advisory Centre,2003.
- [46]Holm,J.B.N.;“Center of biotechnonology and bioenergy” Bioenergy department,SDU, A.Alborge University, **2000**.
- [47] Graves,R.E.:“Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction from Manure” College of Agricultural Sciences, Agricultural and Biological Engineering,**2001**.
- [48]Wang,J.A.;“Overseas market manager” Shenzhen Puxin Science& Technology Co. Ltd, Shenzhen, P. R. China, **2004**.
- [49]“Managing Manure with Biogas Recovery Systems Improved Performance at Competitive Costs United States”,Environmental Protection Agency, Winter **2002**.
- [50] Mandal, T.; Mandal, N.K.: “Comperative study of biogas production from different waste materials”, Energy Conversion and Managment, vol.38, pp. 679-683, **1997**.
- [51]Zuru,A.A.;Dangoggo,S.M.;Birnin–Yauri,U.A.;Tambuwal,A.D.:“Adoption of thermogravimetric kinetic models for kinetic analysis of biogas production”, Renewable Eenegy , 29, pp. 97-107, **2004**.
- [52]Lalov,I.G.;Krysteva,M.A.; Phelouzat,J.L.:“Improvement of Biogas production from vinasse via covalently immobilized methanogens”, Bioresource Technology,79, pp.83-85,**2001**.
- [53]Bouallagui, H.;BenCheikh,R.;Marouani,L.;Hamdi,M.:“Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester”,Bioresource Technology, 86,pp.85-89, **2003**.
- [54]Bouallagui,H.;Haouari,O.;Touhami,Y.;BenCheikh,R.;Marouani,L.;Hamdi,M.:“Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste”,Process Biochemistry, 39,pp.2143-2148,**2004**.

- [55] Lallia, A.; Mura, G.; Onnis, N.: "The effect of certain antibiotics on biogas production in the anaerobic digestion of pig waste slurry", *Bioresource Technology*, 82, pp. 205-208, **2002**.
- [56] Hansen, T.L.; Schmidt, E.J.; Angelidaki, I.; Marca, E.; Janse, J.C.; Mosbak, H.; Christensen, T. H.: "Method for determination of methane potentials of solid organic waste", *Waste Management*, 24, pp. 393-400, **2004**.
- [57] Xuan An, B.; Preston, T.R.: "Gas production from pig manure fed at different loading rates to polyethylene tubular biodigesters", *Livestock Research for Rural Development* Volum 11, Number 1, **1999**.
- [58] Pound, B.; Done, F.; Preston, T.R.: "Biogas production from mixtures of cattle slurry and pressed sugar cane stalk, with and without urea.", CEDIPCA, CEAGANA, Aptd 1256 Santo Domingo, Dominican Republic, *Trop. Anim. Prod.*, pp. 1-6 **1981**.
- [59] Goel, B.; Pant, D.C.; Kishore, V.V.N.: "Two-Phase anaerobic digestion of spent tea leaves for biogas and manure generation" *Bioresource Technology* 80, pp. 153-156, **2001**.
- [60] Shalina, S.; Kumar, S.; Jain, M.C.; Kumar, D.: "Increased biogas production using microbial stimulants" *Bioresource Technology* 78, pp. 313-316, **2001**.
- [61] Kannan, N.; Guruswamy, T.; Kumar, V.: "Design, Development and Evaluation of Biogas Plant using Donkey-dung and Selected Biomaterials as Feedstock", *College of Agricultural Engineering, Raichur. IE (I) Journal. AG*, Vol: 84, June, **2003**.
- [62] Tekin, A.R.; Dalgıç, A.C.: "Biogas production from olive pomace", *Resources, Conservation and Recycling* 30, pp. 301-303, **2000**.
- [63] Çeken, H.B.: "Biyogaz üretim sistemi tasarımı ve uygulaması", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Makine Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, **1997**.
- [64] Güngör, G.; Göksel, N.; Demirel, A.B.: "Et tavuğu ve büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyeli", ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, **1998**.
- [65] Yılmaz, A.H.; Atalay, F.S.: "Çeşitli organik atıkların anaerobik fermentasyonu ve modelleme çalışmaları", 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs Ankara, **2004**.
- [66] Thy, S.; Preston, T.R.; Ly, J.: "Effect of retention time on gas production and fertilizer value of biodigester effluent", *University of Tropical Agriculture Foundation Chamcar Daung, Cambodia*, **2003**.
- [67] Buğutekin, A.: "Yöresel Kaynaklarla Biyogaz Üretimi için Deneysel Çalışma", Binark, A.K.; yönetiminde, Y. Lisans Tezi, M.Ü.F.B.E., İstanbul, **2003**.

- [68]Buğutekin, A., Binark, A.K., “Biyogaz Üretiminde Alternatifler” 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu bildiri kitabı, Gazi Ü.,Ankara, Cilt 4,Sh.146-157,18-20 Ağustos ,**2003**.
- [69]Ceyhan,M.;“A study on biogas production from agricultural product and pistachionut peels”,Uskaner,Y.A.; Yönetiminde Lisans Tezi Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Edirne **1995**.
- [70]Al-Masri,M.R.:“Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes”,Bioresource Technology 77, pp.97-100, **2001**.
- [71]Khalil,Maki,E.:“Seasonal Variation and Production of Biogas from Three Types of Animal Dung”,Academic Research Library,Ahfad Journal, Vol:20,No:2, pp.18-25,December, **2003**.
- [72]Ghanem,I.I.I;Guowei,Gu;Jinfu,Z.:“Leachate production and disposal of kitchen food solid waste by dry fermentation for biogas generation”,Renewable Energy,23,pp:673-684,**2001**.
- [73]Bazias, F.A.;Sidiras,D.K.;Spyrou,E.K.:“Evaluating livestock manures for biogas production:a GIS based method”, Renewable Energy,30,pp:1161-1176,**2005**.
- [74]Desutter,T.M.;Ham,M.J.:“Lagoon-Biogas Emissions and Carbon Balance Estimates of a Swine Production Facility”, Journal of Environmental Quality,34, pg :198 ,Jan/Feb, **2005**.
- [75]Khang,N.D.;Tuan,L.M.;Preston,T.R.:“The effect of fibre level in feedstock, loading rate and retention time on the rate of biogas production in plug-flow and liquid displacement biodigesters”, Proceedings Biodigester Workshop, March, **2002**.
- [76]Müller ,T.G. ; Noykova, N.; Gyllenberg , M.; Timmer, J.:“Parameter identification in dynamical models of anaerobic waste water treatment”,Mathematical Biosciences 177&178. pp. 147–160, **2002**.
- [77]Varel,V.H.; Hashimoto,A.G.:“Methane Production by Fermentor Cultures Acclimated to Waste from Cattle Fed Monensin, Lasalocid, Salinomycin, or Avoparcin”,Applied and Environmental Microbiology, Vol. 44, No. 6, p 1415- 1420, Dec, **1982**.
- [78]Kearney,T.F.;Larkin,M.J.;Levett,P.N.:“Metabolic Activity of Pathogenic Bacteria during Semicontinuous Anaerobic Digestion Applied”,Applied and Environmental Microbiology, Vol. 60, No.10, p 3647-3652, Oct.**1994**.

- [79]Brummeler Ten, E.;Hulshoff A.J.B.:“Methanogenesis in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor at pH 6 on an Acetate-Propionate Mixture”Applied and Environmetal Microbiology,Vol. 49, No. 6,p. 1472-1477, June **1985**.
- [80]Demirekler, E.;Anderson,G.K.:“Eysel Katı Atıkların Anaerobik ortamda Ön Çökeltme çamuru ile Çürütülmesi”Turk J Engin Environ Sci,TÜBİTAK 24, pp.335- 341, **2000**.
- [81]Scheurer,E.:“Ütersucgungen zum anaeroben Abbau von Hühnerflüssigmist Dissertation”,Universitaet Hohenheim, **1986**.
- [82]Hammad, M.;Badarneh, D.;Tahboub, K.:“Evaluating variable organic waste to produce methane” Energy Conversion and Management, vol. 40, pp.1463-1475, **1999**.
- [83]Alvarez, R.; Saul, V.; Lide, L.:“Biogas production from llama and cow manure at high altitude” Biomass and Bioenergy, vol.30, pp. 66–75,**2006**.
- [84]Intrachandra, N.;Tongta, S.; Meeyoo, V.:“Biogas Production from Co-digestion of Animal Wastes” Department of Chemical Engineering Mahanakorn University of Technology, Nongchok, Bangkok, Thailand, **2000**.
- [85]Tıwari, G.n.; Umsan, J.A.;Chandra, A.:“Determination of period for biogas production” Energy Conversion and Management, vol.37, No.2,pp.199-203, **1996**.
- [86]Al-Masri, M.R.:“Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes” Bioresource Technology ,vol.77 ,pp.97-100, **2001**.
- [87]Gebauer, R.:“Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production” Bioresource Technology ,vol.93 ,pp.155-167, **2004**.
- [88]Klasson, K.T.; Nghiem, N.P.; Appolon, N.:“Energy Production From Zoo Animal Wastes”Oak Ridge National Laboratory is managed by UTBattelle, LLC, for the U.S. Department of Energy,February, **2003**.
- [89]Biswas, J.; Chowdhury, R.; Bhattacharya,P.:“Kinetic studies of biogas generation using municipal waste as feed stock” Enzyme and Microbial Technology, vol.38, pp. 493–503, **2006**.
- [90]Kim, J.K.;Oh, B.R.;Chun, Y.N.; Kim, S.W.:“Effect of Temperature and Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Food Waste” Journal of Bioscience and Bioengineering, v.102, No.4, pp. 328-332, **2006**.
- [91]Sadaka, S.; Engler, C.R.:“Effect of Initial Total Solids on Compostion of Raw Manure with Biogas Recovery” Compost Science and Utilization, No:4, Vol:11, pp.361-369, **2003**.

- [92]Demirer,G.N.; Chen,S.:“Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors” Waste Management, **2007**.
- [93]Clemens, J.; Trimbom,M.; Weiland, P.; Amon, B.:“Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry” Agriculture, Ecosystems and Environment, V.112, pp.171–177, **2006**.
- [94]Vartak, D.R.;Engler, C.R.; McFarland, M.J.; Ricke, S.C.:“Attached-film media performance of in pshchrophilic anaerobic treatment of dairy cattle wastewater” Bioresource Technology, v. 62 , pp.79-84, **1997**.
- [95]Mandal,T.;Kiran Babu,A.;Mandal,N.K.:“Determination of the quality of biogas by flame temperature measurement”,Energy Conversion & Management, 40 , pp1225-1228, **1999**.
- [96]Shaga, H.; Shinda,K.; Hagiwara,K.; Tsutsumi,A.; Sakurai,M.; Yoshida, K.; Bilge,E.:“Large-scale hydrogen prduction from biogas”, Int.J. Hydrogen Energy, Vol:23, No:8, pp. 634-640, **1998**.
- [97]Sahalstörn,L.:“A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants”, Bioresource Technology, 87,pp.161-166,**2003**.
- [98]Mcgeath,R.j.;Mason,I.G.:“An Observational Method for the Assessment of Biogas Production from an AnaerobicWaste Stabilisation Pond treating Farm Dairy Wastewater”,Biosystems Engineering 87 (4), pp.471–478, **2004**.
- [99]Alkhamis,T.M;El-Khazalı,R.;Kabalan,M.M.;Alhusein,A.:“Heating of a biogas a solar energy system with temperature control unit”, Solar Energy Vol. 69, No: 3,pp. 239–247, **2000**.
- [100]Zupancic,G.D.;Ros,M.:“Heat and energy requirements in thermophilic anaerobic sludge digestion”, Renewable Energy 28, pp.2255–2267,**2003**.
- [101]Moser,M.A.;Mattocks,R.P.;Gettier,S.;Roos,K.:“Keeping the Neighbors Happy - Reducing Odor while Making Biogas”, Animal Production Systems and the Environment, Ames, IA, July 19-22, **1998**.
- [102]Buğutekin, A., Binark, A.K., “Dünyada ve Ülkemizde Biyogaz Çalışmaları” IV.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri kitabı ,İstanbul, Sh 593-600, 26-28 Mayıs **2004**.
- [103]Sözer,S.; Yaldız,O.:“Bazı bitkisel atıkların biyogaz teknolojisi ile değerlendirilmesi” 5.Ulasal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs Ankara, **2004**.

- [104]Sözer,S.;Yaldız,O.:“Ülkemizde hayvansal atıkların biyogaz teknolojisi ile değerlendirilmesi”4.Ulasal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim,**2002**.
- [105]Buğutekin, A., Binark, A.K., “Models for Kinetic Analysis of Biogas production” 8.Uluslar Arası Yanma sempozyumu 2004 8-9 Eylül Ankara **2004**.
- [106]J.D.;McKeogh,E.;Kiely,G.:“Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation”,Applied Energy,77.pp:407-427,**2004**.
- [107]Heber,A.J.;Lim, T.T.;Ni, J.Q.:“Odor and Gas Emissions from Anaerobic Treatment of Swine Waste”, Midwest Express Center Milwaukee, Wisconsin July 9-12, **2000**.
- [108]Zachariah,E.J.;Muralidharan,V.:“Bigas recovery from coconut husk retting”,Pacific and Asian Journal of Energy, 12,(2).pp:181-185, Dec. **2002**.
- [109]Sterling,M.C.; Lacey, R.E.; Engler, C.R.; Ricke,S.C.:“Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure” Bioresource Technology, v. 77, pp 9-18, **2001**.
- [110]Chan,G.Y.S.; Chu,L.B.; Wong,M.H.:“Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment”, Environmental pollution, 118, pp.393-399,**2002**.
- [111]Lastela,G.;Testa,C.;Cornacchia,G.;Notornicola,M.;Voltasio,F.;Sharma,V.:“Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification”,Energy Conversion and Management 43, pp. 63-75,**2002**.
- [112]Karim,K.;Thomas,Klasson,K.;Hoffmann,R.;Drescher,S.R.;Depaoli,W.D.;Al-Dahhan,M. H.:“Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing”, Bioresource Technology, vol:96,pp. 1607-1612, **2005**.
- [113]Onat, S.;Topaloğlu,B.:“Bir biyogaz üretim sistem modeli” 5.Ulasal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs Ankara, **2004**.
- [114]Karim, K.; Hoffman, R.; Klasson, K.T.; Al-Dahhan, M.H.:“Anaerobik digestion of animal waste :Effect of Modde of Mixing” Water Research, vol:36, pp:3597-3606,**2005**.
- [115]Andara, A.R.; Esteban, J.M.I.:“Kinetik study of anaerobik digestion of the solid fraction of piggery slurries” Biomass-Bioenergy, vol:17, pp:435-443, **1999**.
- [116]Ong, H.K.; Greenfeld, P.F.; Pullammanappallil, P.C.:“An operational strategy for improved biomethanation of cattle-manure slurry in an unmixed, single-stage, digester” Bioresource Technology, vol: 73 ,pp. 87-89, **2000**.

- [117]Karim, K.; Hoffman, R.; Klasson, K.T.; Al-Dahhan, M.H.:“Anaerobic digestion of animal waste :Waste strength versus impact of Mixing” Bioresource Technology, vol: 96 ,pp. 1771-1781, **2005**.
- [118]Borole,A.P.; Klason, K.T.; Ridenour, W.;Holland, J.;Karim,K.;Al-Dahhan, M.H.:“Methane Production in a 100-L Upflow Bioreactor by Anaerobic Digestion of Farm Waste” Applied Biochemistry and Biotechnology Vol. 129–132, **2006**.
- [119]Keshtkar, A.; Meyssami, B.; Abolhamd,G.; Ghaforian, H.; Khalagi, A.M.:“Mathematical modeling of non-ideal mixing continuous flow reactors for anaerobic digestion of cattle manure” Bioresource Technology ,vol.87 ,pp.113– 124, **2003**
- [120]Vavilin,V.A;Angelidaki,I.:“Anaerobic Degradation of Solid Material:Importance of Initiation Centers for Methanogenesis, Mixing Intensity,and 2D Distributed Model” Published online 11 November , in Wiley InterScience,**2004**.
- [121]Janzekovic, M.; Mursec, B.; Cusb, F.; Ploj, T.; Janzekovic, I.; Zuperl, U.:“Use of machines for liquid manure aerating and mixing” Journal of Materials Processing Technology, 162–163, pp.744–750, **2005**.
- [123]Sadaka, S.; Engler, C.R.:“Effects of mixing on anaerobic composting of beef manure” American Society of Agricultural Engineers, V.2, pp.4993-5001, **2000**.
- [124]Kalia, Anjan K.; Singh, Shiv P.:“Effect of mixing digested slurry on the rate of biogas production from dairy manure in batch fermenter” Energy Sources, v. 23, pp. 711-715, October **2001**.
- [125]Amon, T.; Amon ,B.; Kryvoruchko, V.; Zollitsch, W.; Mayer, M.; Gruber, L.:“Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield” Agriculture, Ecosystems and Environment, V.118, pp.173–182, **2007**.
- [126]Keshtkar, A.; Meyssami, B.; Abolhamd, G.; Ghaforian, H.:“Mathematical modeling of non-ideal mixing continuous flow reactors for anaerobic digestion of cattle manure” Bioresource Technology, vol:87 , pp. 113–124, **2003**
- [127]ÖZAKTAŞ, T., doğal Gaz ve Benzin Motorları Egzoz Emisyonları, Doğal Gaz Dergisi, sayı 28, sayfa 90-95, Eylül- Ekim **1993**
- [128]ALİBAŞ, K., ÇOLAK, S., Doğalgazın Tek Silindirli İçten, Yanmalı Tek Silindirli Bir Motorda Güç, Döndürme Momenti Ve Özgül Yakıt Tüketimi Yönünden Araştırması, Mühendis Ve Makine Dergisi, cilt 35, sayı 391, sayfa 30-35, **1992**

- [129]ERGENEMAN, M., SORUŞBAY., Doğal Gazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı, Doğal Gaz Dergisi, sayı 6, sayfa 17-22, Şubat **1990**
- [130]BAYHAN,M., Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanılmasıyla Egzost Emisyonlarının Azaltılması Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 34, sayı 394, sayfa 34-39, **1992**
- [131]SORUŞTAY, C., ARSALAN, E., Hidrojan Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı, Mühendis Ve Makine ve Dergisi, cilt 26, sayı 339, sayfa 23-28, 1998
- [132]Karim, K.; Hoffman, R.; Klasson, K.T.; Al-Dahhan, M.H.:“Anaerobik digestion of animal waste :Effect of Modde of Mixing” Water Research, vol:36, pp:3597-3606,**2005**.
- [133]Vijayalekshmy, M.V., 1985, Biogas Technology-an Information Package, Tata Energy Research Institute, Bombay
- [134]Edelmann, W. 2002, Products, Impacts and Economy of Anaerobic Digestion of OFMSW, IWA Publishing, Biomethanization of The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, Edited by J. Mata-Alvarez, ISBN: 1 900222 14 0
- [135]Rautenbach, R. and Welsch, K., 1994, Treatment of landfill gas by gas permeation-plot Plant results and comparison to alternatives. J.Membr. Sci., 87, 107-118
- [136]Truong, L.V.-A., and Abatzoglou, N., A 2005, H₂S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. Biomass and Bioenergy 29, 142-151
- [137]Stuckey, D.C., 1981, Gelişmekte Olan Ülkelerde Isı ve Katkı Maddelerinin Anaerobik Sindirime Etkisi, Uluslararası Biyogaz Semineri, 23-26 Kasım 1981, Ankara, ss. 16-40
- [138]Ter Maat, H., Hogendoorn, J.A. and Versteeg, G.F., 2005, The removal of hydrogen sulfide from gas streams using an aqueous metal sulfate absorbent. Part I. The absorption of hydrogen sulfide in metal sulfate solutions. Sep.and Purif. Technol. 43, 183-197
- [139]Muche, H., Zimmermann, H., 1985, The Purification Of Biogas, Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit(GTZ) GmbH, Eschborn
- [140]Clark, S.J., Wagner, L. Schrock, M.D. and Piennaar, P.G. Methyl and Ethyl Soyabean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines, Journal American Oil Chemistry’ Society, 61(10), 1632-1638, **1984**

- [141]www.epa.gov
- [142]Mears,D.T.,“Biogas Applications for Large Dairy Operations: Alternatives to Conventional Engine Generators”, Cornell Cooperative Extension Association of Wyoming County, **2001**.
- [143]Sasse, L. Kellner, C. Kimaro, A. “ Iproved Biogas Unit for Developing Countries, Apublication of the Dethsches Zenturn für Entwicklungstecnologien, GATE”, **1991**
- [144]Porpatham, E., Ramesh, A. Nagalingam, B., “Effect of Hydrogen addition on the performance of A Biogas Fuelled Spark İgnition Engine” İnternational journol of Hydrogen Energy, **2007**.
- [145]Henham, A., Makkar, M.K. “Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Diesel Engine”, Energy Convers, Mgmt., Vol.39,No.16-18,pp.2001-**2009**.
- [146]ÇELİKTEN, İ., KORKMAZ S., Değiş oktan sayılı yakıtların farklı gaz kelebeği açıklarındaki motor performansı ve egzoz emsiyonları, ekoloji 18, 72, 54-64(2009).
- [147]SÜRMEN, A., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HC emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçiş Sonrası Davranımının Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz **1997**, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.]
- [148]YILDIRIM, M., GÜL, Z, Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Segman Boşluğu Hidrokarbonlarının Çok Boyutlu Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz **1997**, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.
- [149]Stone, R.,1989, Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd.,Houndsmills
- [150]Ulusoy. B,S. Alternatif Yakıtların Benzinli Motor Emisyonları Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Sakarya üniversitesi yüksek lisans tezi, sayfa 28, Temmuz **2005**.
- [151]Strayer, R. C., Blake, J. A. and Craig, W.K. Canola and High Erucic Rapeseed Oil as Subs-titutes for Diesel Fuel, Journal American Oil Chemistry’ Society, 60(8), 1587–1597, **1983**.

ÖZGEÇMİŞ

Elazığ'ın palu kütüğüne kayıtlı MEHMET ŞERİF YEŞİLKAYA 25 MAYIS 1984 tarihin de hayata gözlerini umutla açmıştır.

İlköğretim eğitime Elazığ'ın Kovancılar ilçesinin Karagedik ilköğretimine başlayıp 1 ay sonra Elazığ'a taşındıktan sonra İstiklal İlköğretim okulunda eğitime devam edip, daha sonra ise 100. Yıl ilköğretim okulunda ilköğretim eğitimini tamamladı. Orta öğrenimini Elazığ Gazi lisesinde de tamamladıktan sonra 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği bölümüne kayıt yaptı. Lisans eğitiminden sonra 2009 yılında Makine Eğitimi Otomotiv anabilim dalında yüksek lisans eğitime başladı.

2008 yılında İstanbul da ithalat- ihracat kursuna katılmış ve belli bir süre e dış ticaret uzmanı olarak yurt içi ve yurt dışına ürün pazarlama hususunda ithalat ihracat departmanın da görev aldı. Yüksek lisans eğitime devam edebilmek için Elazığ'a geri dönmüştür.

2011 yılında Elazığ'da düzenlenmiş olunan Anadolu Sempozyumunda “ Alternatif bir enerji kaynağı olan Biyogaz üretilmesi” konusundaki çalışmalarını AES 31 nolu çalışmasını sunmuştur.

2011 yılında SODES kapsamında KOSKEM projesinde görev alarak Kovancılar Eti Holding İlköğretim okuluna sinema ve konferans solunu, Atatürk İlköğretim okuluna spor sahası yapılmasında valilik proje ofisi ile birlikte gerekli alt yapının ve maddi desteğin sağlanması hususunda gerekli yazışmaları ve koordinasyonu sağlamıştır.

2009 yılında kovancılar lisesinde güz döneminde İngilizce derslerini ücretli öğretmenlik olarak yürütmüştür.

2011 yılının şubat ayından itibaren özel Elazığ Fırat sürücü kursunda “motor ve araç tekniği” derslerini 2013 şubat ayına kadar yürütmüştür.

2013 yılının şubat ayında iş sağlığı ve güvenliği uzmanlığı kursuna katılmıştır.