



**YERLİ KAYNAKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE OKSİ BİYOGAZ
YANMASI**

Nurhan ÜREGEN GÜLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Nurhan ÜREGEN GÜLER tarafından hazırlanan “YERLİ KAYNAKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE OKSİ BİYOGAZ YANMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Milli Savunma Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Serhat KARYEYEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Mustafa Bahadır ÖZDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Güven TUNÇ

Uçak Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Erciyes Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nurhan ÜREGEN GÜLER

25/06/2020

YERLİ KAYNAKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ VE OKSİ BİYOGAZ YANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Nurhan ÜREGEN GÜLER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Fosil yakıtların tükenebilir olması ve çevreye zararlı emisyon salınımı sonucu küresel ısınmaya yol açması insanoğlunu alternatif enerji kaynakları arayışı içine sokmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olmaları ve hammadde maliyetinde dışa bağımlılığı azaltması nedeniyle en verimli alternatif enerji kaynaklarıdır. Biyogaz bitkisel kaynaklar ve hayvansal atıklardan üretilebilen metan içeriğine sahip doğalgaza alternatif olabilecek bir gazdır. Bu çalışmada Ankara Sincan’da yer alan bir biyogaz tesisinde biyogaz üretimi, biyogazın metan içeriği ve yıllık üretilen elektrik miktarı hesaplaması gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada deneysel olarak % 40 O₂ içeren oksitleyici ve biyogazın yanma deneyi gerçekleştirilerek tasarlanan yanma odasındaki sıcaklık dağılımı sonuçları ile sayısal modelleme sonucu elde edilen tahmini sıcaklık profilleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel sonuçların sıcaklık değerlerinin daha düşük olduğu ancak eksenel ve radyal yöndeki eğilimlerin sayısal modelleme tahminleriyle benzer olduğu görülmüştür. Deneysel olarak gerçekleştirilen yanmanın sıcaklık değerleri 1100 K’den 359 K’e kadar düşerken, sayısal modelleme tahminlerinde 1400 K’den 900 K’e düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca tasarlanan yanma odasına göre % 100 O₂ içeren oksitleyici ve biyogaz ile oksijen yanma gerçekleştirilmiş ve % 40 O₂ içeren oksitleyici kullanılarak yapılan sayısal modellemenin sıcaklık ve emisyon dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklık profilleri incelendiğinde yakıt girişine yakın olan alev bölgesinde oksijen yanmanın daha yüksek sıcaklığa sahip olduğu görülmüştür. Emisyon dağılımlarında ise CO, CO₂, NO_x ve O₂ kütle oranı dağılımları incelenmiş ve NO_x ve O₂ değerlerinin % 100 O₂ içeren oksitleyici ile yapılan oksijen yanma için daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 92801
Anahtar Kelimeler : Biyogaz üretimi, hidroliz, oksijen biyogaz, yanma
Sayfa Adedi : 80
Danışman : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN

BIOGAS PRODUCTION FROM LOCAL SOURCES AND OXY BIOGAS
 COMBUSTION
 (M. Sc. Thesis)

Nurhan ÜREGEN GÜLER

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2020

ABSTRACT

Fossil fuels are consumable, harmful to the environment and cause global warming therefore humankind are in search of alternative energy sources. Renewable energy sources are the most efficient alternative energy sources because they are environmentally friendly and reduce the dependency on foreign materials for raw materials. Biogas can be produced from plant waste and animal waste. Biogas is a gas that may be an alternative to natural gas with a methane content. In this study, biogas production, methane content of biogas and the annual amount of electricity produced were calculated for a biogas plant which is located in Ankara Sincan. In addition, in this study, 40 % O₂ containing oxidizer and biogas combustion was tested experimentally and temperature distribution values was compared with numerical modelling. As a result of the comparison, it was observed that the experimental results had lower temperature values but the axial and radial trends were similar to the numerical modeling estimates. While the temperature values of the experimental combustion decreased from 1100 K to 359 K, it was observed that the numerical modeling estimates decreased from 1400 K to 900 K. Additionally, the biogas oxy fuel combustion numerical modelling with 100 % O₂ containing oxidizer was made and the temperature and emission distributions were compared to combustion with 40 % O₂ containing oxidizer. When the temperature profiles are examined, it is seen that oxy combustion has a higher temperature in the flame region close to the fuel inlet. CO, CO₂, NO_x and O₂ mass fraction distributions were examined and oxy fuel combustion with 100 % O₂ containing oxidizer predictions had higher NO_x and O₂ emission values.

Science Code : 92801
Key Words : Biogas production, hydrolysis, oxy biogas, combustion
Page Number : 80
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ
Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Murat ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım ve tez çalışmalarım süresince bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleriyle çalışmalarına yön veren değerli danışman Hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince akademik bilgi, becerisini hiç bir zaman esirgemeyen, en değerli vaktini tereddütsüz ayıran değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Serhat KARYEYEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman her koşulda destekleriyle bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Yaşar ÜREGEN'e, annem Hülya ÜREGEN'e, ablam Melek ERYILMAZ'a, ağabeylerim Emin Yakup ÜREGEN'e, Yahya ÜREGEN'e, Onur Yusuf ÜREGEN'e ve eşim Akın GÜLER'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
3. BİYOGAZ ENERJİSİ	15
3.1. Biyogaz'ın Tarihçesi	15
3.2. Türkiye'de Biyokütle Kaynakları	15
3.3. Biyogaz'ın Bileşimi ve Özellikleri.....	18
3.4. Biyogazın Oluşumu.....	19
3.4.1. Hidroliz	19
3.4.2. Asetik asit oluşumu	20
3.4.3. Metan oluşumu.....	21
3.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	23
3.5.1. Reaktör sıcaklığı.....	23
3.5.2. Organik yükleme hızı	24
3.5.3. pH.....	24
3.5.4. C/N oranı	25
3.5.5. Toksik maddeler.....	26

	Sayfa
3.5.6. Karıştırma.....	28
3.5.7. Bekletme süresi	28
3.5.8. Hidrojen sülfür (H ₂ S) oluşumu	29
3.5.9. Basınç.....	29
3.6. Anaerobik Fermantasyon Teknolojileri	30
3.6.1. Kapalı çukurlar (Lagün).....	30
3.6.2. Tam karıştırmalı reaktörler (CSTR).....	30
3.6.3. Piston akımlı reaktörler (PFR)	30
3.6.4. Yarı–kesikli teknolojiler.....	30
3.6.5. Aşamalı sistemler	31
3.7. Biyogaz Tesis Çeşitleri	31
3.7.1. Tarımsal biyogaz tesisleri	31
3.7.2. Atık su arıtma tesisleri	35
3.7.3. Belediye katı atık arıtma tesisleri.....	36
3.7.4. Endüstriyel biyogaz tesisleri	37
3.7.5. Çöp gazı geri kazanım tesisleri	37
3.8. Biyogaz Çevrimleri	38
3.8.1. Biyometanizasyon	38
3.8.2. Fermantasyon	39
3.8.3. Gazlaştırma	39
3.8.4. Piroлиз	39
3.8.5. Esterleşme	39
3.8.6. Doğrudan yakma	40
3.9. Biyogazın Kullanım Alanları	40
3.9.1. Isınma amacıyla	40
3.9.2. Elektrik üretimi amacıyla.....	40

	Sayfa
3.9.3. Yakıt olarak kullanmak üzere	40
3.9.4. Yan ürün olarak oluşan organik gübre	41
3.10. Biyokütlenin Çevreye Etkisi	43
3.11. Biyogaz Santrali Ekipmaları	44
4. YANMA VE OKSİ YANMA	47
4.1. Yanma	47
4.2. Oksi Yanma ve CO ₂ Tutulması.....	48
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	51
5.1. Deney Düzeneği	51
5.2. Biyogaz Üretimi	54
5.3. Biyogaz ile % 40 O ₂ - %60 CO ₂ Karışımının Yakılması.....	59
5.4. Yanmanın Sayısal Modellemesi.....	61
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Enerji kaynaklarına göre lisanslı kurulu gücün 2017-2018 yıllarında gelişimleri	2
Çizelge 1.2. Enerji kaynaklarına göre lisanssız kurulu gücün 2017-2018 yıllarında gelişimleri	3
Çizelge 1.3. Atık ve biyogaz potansiyeli değerleri	6
Çizelge 3.1. Biyokütle potansiyelini belirleyen veriler	16
Çizelge 3.2. Biyogaz bileşenleri	18
Çizelge 3.3. Biyogaz ve doğalgaz özelliklerinin karşılaştırılması	19
Çizelge 3.4. Atıkların C, N, C/N oranı ve nem miktarları	26
Çizelge 3.5. Anaerobik fermantasyonda çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi	27
Çizelge 3.6. Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi	28
Çizelge 3.7. Biyokütle kaynakları, çevrim yöntemleri, yakıtlar ve uygulama alanları ..	41
Çizelge 3.8. Biyogaz santrali ekipmanları.....	45
Çizelge 5.1. Biyogaz üretim tablosu.....	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. 2016 yılında dünyada enerji kaynaklarına göre enerji tüketim yüzdeleri ...	4
Şekil 1.2. 2016 yılında kullanılan biyokütle enerjisinin yüzdelik kaynak dağılımı	5
Şekil 1.3. Türkiye biyogaz enerji atlası; Biyogaz kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santraller	7
Şekil 3.1. Kompleks organik maddelerin hidroliz ile basit organik maddelere dönüşümü	20
Şekil 3.2. Anaerobik bozulma akım şeması	22
Şekil 3.3. Çin tipi reaktör ve Hint tipi reaktör	32
Şekil 3.4. Çiftlik tipi biyogaz tesisi	33
Şekil 3.5. Merkezileştirilmiş biyogaz tesisinin çalışma döngüsü.....	35
Şekil 3.6. Fermente ürün üretim akış şeması.....	43
Şekil 3.7. Biyogaz döngüsü	44
Şekil 5.1. De Solar 7 Biyogaz Enerji Santrali scada ekran çıktısı	57
Şekil 5.2. Deneysel radyal sıcaklık dağılımı sonuçları.....	60
Şekil 5.3. Deneysel eksenel sıcaklık dağılımı sonuçları.....	61
Şekil 5.4. Deneysel ve sayısal eksenel sıcaklık dağılımları.....	63
Şekil 5.5. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal sıcaklık dağılımları	63
Şekil 5.6. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel sıcaklık dağılımları	64
Şekil 5.7. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel CO kütle oranı dağılımları ..	64
Şekil 5.8. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal CO kütle oranı dağılımları	65
Şekil 5.9. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal CO ₂ kütle oranı dağılımları ..	66
Şekil 5.10. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel CO ₂ kütle oranı dağılımları	67
Şekil 5.11. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel NO _x kütle oranı dağılımları	67
Şekil 5.12. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal NO _x kütle oranı dağılımları..	68
Şekil 5.13. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal O ₂ kütle oranı dağılımları.....	69
Şekil 5.14. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel O ₂ kütle oranı dağılımları...	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Merkezi biyogaz tesisi (Danimarka)	34
Resim 3.2. Seyhan atıksu arıtma tesisi (Adana-Türkiye)	36
Resim 3.3. ITC katı atık yönetimi (Ankara)	38
Resim 5.1. Ön karışimsız metan brülörü.....	51
Resim 5.2. Yanma odası	52
Resim 5.3. Kontrol panosu.....	52
Resim 5.4. Gaz hattı ve bu hatlardaki armatürler ve Yakma havası hattı	53
Resim 5.5. Hava kompresörü	53
Resim 5.6. Taşınabilir baca gazı analizörü.....	54
Resim 5.7. Seramik uçlu gaz probu.....	54
Resim 5.8. De Solar 7 Biyogaz Enerji Santralinde bulunan çürütücü ve hidroliz tankları.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Celcius
C/N	Karbon ve Azot Oranı
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
g	Gram
H ₂	Hidrojen
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen sülfür
K	Kelvin
kg	Kilogram
kPa	Kilopaskal
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
L	Litre
m	Metre
m ³	Metreküp
mg	Miligram
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
N ₂	Azot
NO _x	Azot oksit
O ₂	Oksijen
sn	Saniye
SO ₂	Kükürt dioksit

Kısaltmalar**Açıklamalar****CFD**

Computational Fluid Dynamics

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

ETKB

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

GHG

Sera gazı

HAD

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

HBS

Hidrolik bekleme süresi

OKM

Organik Kuru Madde

TK

Toplam katı

UK

Uçucu katı

1. GİRİŞ

1990'lı yıllara kadar Türkiye'de enerji ihtiyacı hidroelektrik ve kömür yerli kaynakları ile petrol ve doğalgaz ithal kaynaklarından karşılanmıştır. Yerli kaynaklara enerji üretiminde öncelik verilmiştir ancak kömür santrallerinin çevreye zararları sonucu oluşan problemler, işletme maliyetleri, hidroelektrik santrallerinin yağış rejimi ve geniş alan gerekliliği sonucunda yerli kaynaklardan üretim yavaşlayarak petrol ve doğalgaz üzerinde ilgi artışı meydana gelmiştir. Doğalgaz santrallerinin diğer kaynaklara oranla çevreye zararlarının daha az olması sebebiyle bu santrallere daha çok yönelim olmuştur. Yerli kaynaklardan enerji üretiminin azalması sonucunda ülkemizde enerjide dışa bağımlılık artmıştır. Ülkemizde genel olarak devlet tarafından sağlanan enerji üretiminde 1984 yılından sonra özel sektör ve yabancı firmaların payları artmıştır [1].

Ülkemizde enerji talebi sürekli artış göstermektedir. Bu enerji talebini karşılamak üzere, “Daha Çok Yerli, Daha Çok Yenilenebilir” stratejisi ile başta yerli kömür olmak üzere rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal gibi yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın enerji portföyündeki payının artırılmasının amaçlandığı bildirilmiştir [2].

Türkiye'de elektrik piyasasındaki tüm faaliyetler, EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından düzenlenerek denetlenmektedir. Elektrik işleri EPDK tarafından verilen lisanslar ile sürdürülmektedir. Bu lisanslar devredilememektedir. Elektrik üretim, iletim ve dağıtımı konularındaki lisanslar, 10 yıldan 49 yıla kadar verilebilmektedir [3].

Enerji talep artış hızının yüksek olması sebebiyle ülkemizde özellikle petrol ve doğalgaz olmak üzere, enerji ithalatı artmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 2019-2023 Stratejik Planı'nda yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik kurulu gücünün toplam kurulu güce oranının % 59'dan % 65 seviyesine yükseltilmesinin hedeflendiği belirtilmektedir [2].

Türkiye'nin enerji kaynakları

Türkiye elektrik üretimi kurulu gücü 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 90 720 MW olmuştur. 2019 yılının Eylül ayı sonundaki verilere göre toplam kurulu gücün kaynak bazında yüzdelik payları; % 31,4'ü hidrolik enerji, % 28,6'sı doğalgaz, % 22,4'ü kömür, %

8,1'i rüzgâr, % 6,2'si güneş, % 1,6'sı jeotermal ve % 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir. Türkiye'de 2019 yılı Eylül ayı sonunda toplam elektrik enerjisi üretim santrali sayısı 8 069 olmuştur. Bu santrallerin sayıca dağılımı; 669 adet hidroelektrik, 68 adet kömür, 262 adet rüzgâr, 52 adet jeotermal, 330 adet doğalgaz, 6 435 adet güneş, 253 adet şeklindedir [4].

Türkiye kendi enerjisini üretme kapasitesini her gün arttırmaktadır. Aşağıdaki tabloda Türkiye'nin 2017-2018 yıllarında lisanslı kurulu gücün kaynak bazında gelişimi gösterilmektedir. Buna göre biyokütle kaynağı enerji üretiminde en çok artış sağlayan ikinci enerji kaynağı olmuştur [5].

Çizelge 1.1. Enerji kaynaklarına göre lisanslı kurulu gücün 2017-2018 yıllarında gelişimleri [5]

Kaynak Türü	2017 Değeri (MW)	Pay (%)	2018 Değeri (MW)	Pay (%)	2017-2018 Değişimi (%)
DOĞAL GAZ	26.311,80	32,28	25.731,93	30,93	-2,20
BARAJLI	19.746,05	24,23	20.534,80	24,69	3,99
LİNYİT	9.267,12	11,37	9.597,12	11,54	3,56
İTHAL KÖMÜR	8.936,35	10,96	8.938,85	10,75	0,03
AKARSU	7.509,98	9,21	7.748,90	9,32	3,18
RÜZGAR	6.482,12	7,95	6.942,27	8,35	7,10
JEOTERMAL	1.063,73	1,31	1.282,52	1,54	20,57
FUEL OİL	702,77	0,86	709,21	0,85	0,92
TAŞ KÖMÜR	616,15	0,76	616,15	0,74	0
BİYOKÜTLE	439,72	0,54	590,92	0,71	34,39
ASFALTİT KÖMÜR	405	0,50	405	0,49	0
GÜNEŞ	17,90	0,02	81,66	0,10	356,19
NAFTA	4,74	0,01	4,74	0,01	0
LNG	1,95	0	1,95	0	0
MOTORİN	1,04	0	1,04	0	0
Genel Toplam	81.506,42	100	83.187,05	100	2,06

Lisanssız kurulu gücün 2017-2018 yıllarındaki enerji kaynaklarına göre gelişimleri Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir:

Çizelge 1.2. Enerji kaynaklarına göre lisanssız kurulu gücün 2017-2018 yıllarında gelişimleri [5]

Kaynak Türü	2017		2018	
	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)
Güneş (Fotovoltaik)	2.978,84	93,87	5.016,99	94,47
Doğal gaz	85,88	2,71	153,04	2,88
Biyokütle	66,72	2,10	79,18	1,49
Rüzgar	32,20	1,01	51,95	0,98
Hidrolik	8,69	0,27	8,91	0,17
Güneş (Yoğunlaştırılmış)	1	0,03	0,50	0,01
Genel Toplam	3.173,32	100	5.310,57	100

2018 yılında lisanssız kurulu güç 2017 yılına kıyasla % 67,35 artarak 5.310,57 MW'a ulaşmıştır. Bu artışın % 94,47'sini güneş (fotovoltaik) enerjisine dayalı santraller oluşturmaktadır. [5]

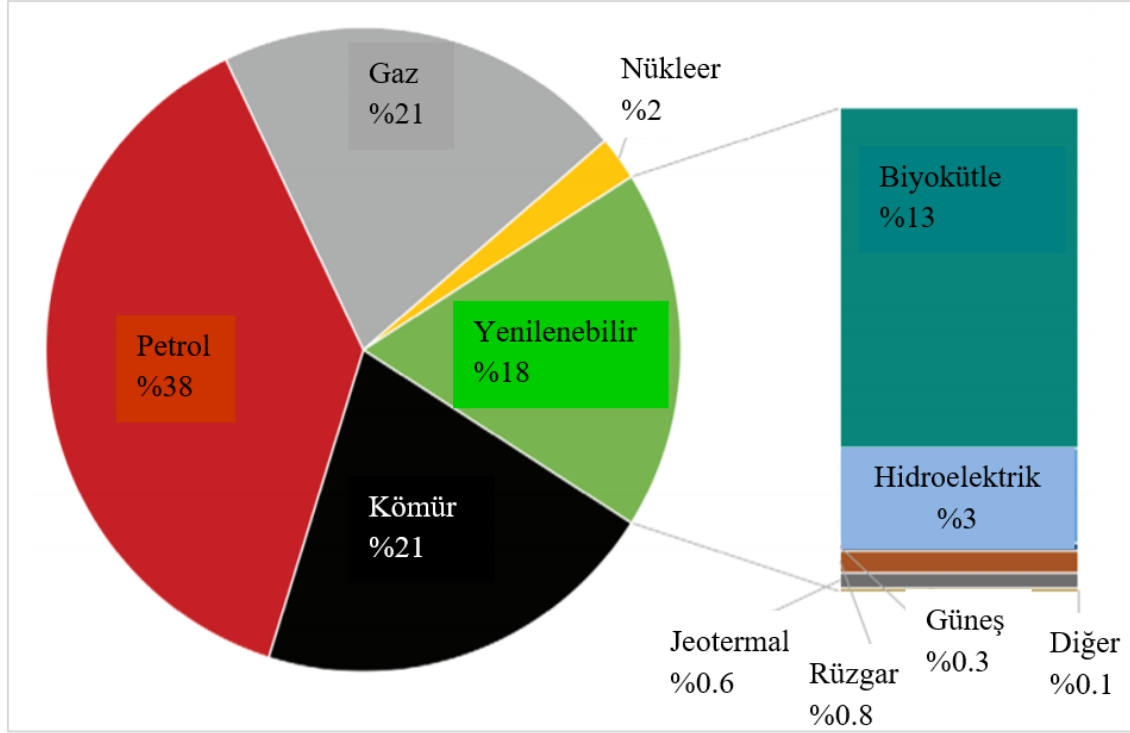
Yenilenebilir enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklar dışındaki ve doğada kendiliğinden mevcut olan enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların aksine çevreye zararlı değildir ayrıca tükenmez enerji kaynaklarıdır ve doğada sürekli kendilerini yenileyerek sürdürülebilir döngü sağlarlar. Rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, hidrojen, dalga enerjileri yenilenebilir enerji kaynaklarına örnektir. Örneğin Güneş dünya üzerinde farklı alanlarda ısınma ve soğuma ile farklı sıcaklık değerlerinin oluşmasına sebep olur ve bunun sonucunda rüzgarlar oluşur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının hepsi benzer döngüler içinde yer alır ve var olmaya devam eder böylece kendilerini sürekli yeniledikleri için doğada bitmeleri söz konusu değildir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması kadar diğer önemli özelliği ise çevre dostu olmalarıdır. Günümüzde dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün fosil yakıtlardan karşılanıyor olması ve sanayi faaliyetlerin (fabrika vb işletmeler) oldukça fazla olması çevre kirliliği probleminin ciddi boyutlara ulaşmasına sebep olmuştur. Çevre kirliliği

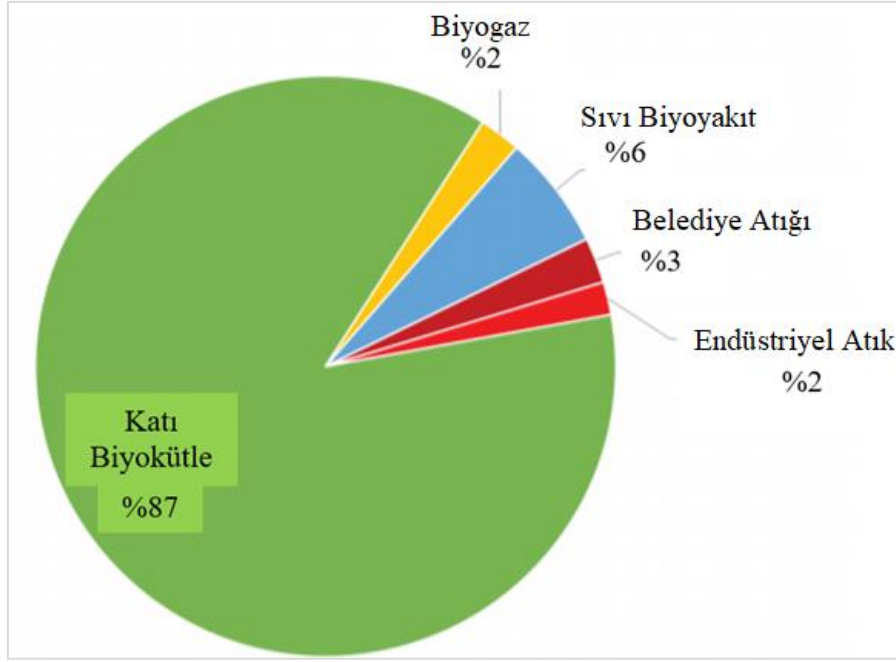
problemi günümüz dünyasında çözülmeye çalışan küresel bir sorun haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların aksine sera gazı salınımına sebep olmadığı için çevre kirliliğinin önüne geçebilecek bir çözüm sunmaktadır [6].

Dünya biyokütle enerjisi potansiyeli



Şekil 1.1. 2016 yılında dünyada enerji kaynaklarına göre enerji tüketim yüzdeleri [7]

Şekil 1.1’de 2016 yılında dünyada enerji tüketiminin sağlandığı enerji kaynaklarının yüzdelik payları yer almaktadır. Buna göre 2016 yılında dünyada tüketilen elektriğin % 38’i petrolden, % 21’i doğalgazdan, % 21’i kömürden, % 18’i yenilenebilir enerji kaynaklarından ve % 2’si nükleer enerjiden karşılanmıştır. Kullanılan % 18’lik yenilenebilir enerji kaynaklarından % 13’ü biyokütle, % 3’ü hidroelektrik, % 0,8’i rüzgar, % 0,6’sı jeotermal, % 0,3’ü güneş ve % 0,1’i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [7].



Şekil 1.2. 2016 yılında kullanılan biyokütle enerjisinin yüzdelik kaynak dağılımı [7]

Şekil 1.2’de 2016 yılında dünyada toplam enerji tedarikinde % 13’lük paya sahip olan biyokütle enerjisinin sağlandığı enerji kaynakları gösterilmektedir. Buna göre dünyada biyokütle enerjisinden üretilen enerjinin % 87’lik kısmı katı biyokütleden, % 6’lık kısmı sıvı biyokütleden, % 3’lük kısmı belediye atıklarından, % 2’lik kısmı endüstriyel atıklardan diğer % 2’lik kısmı ise biyogazdan sağlanmıştır [7].

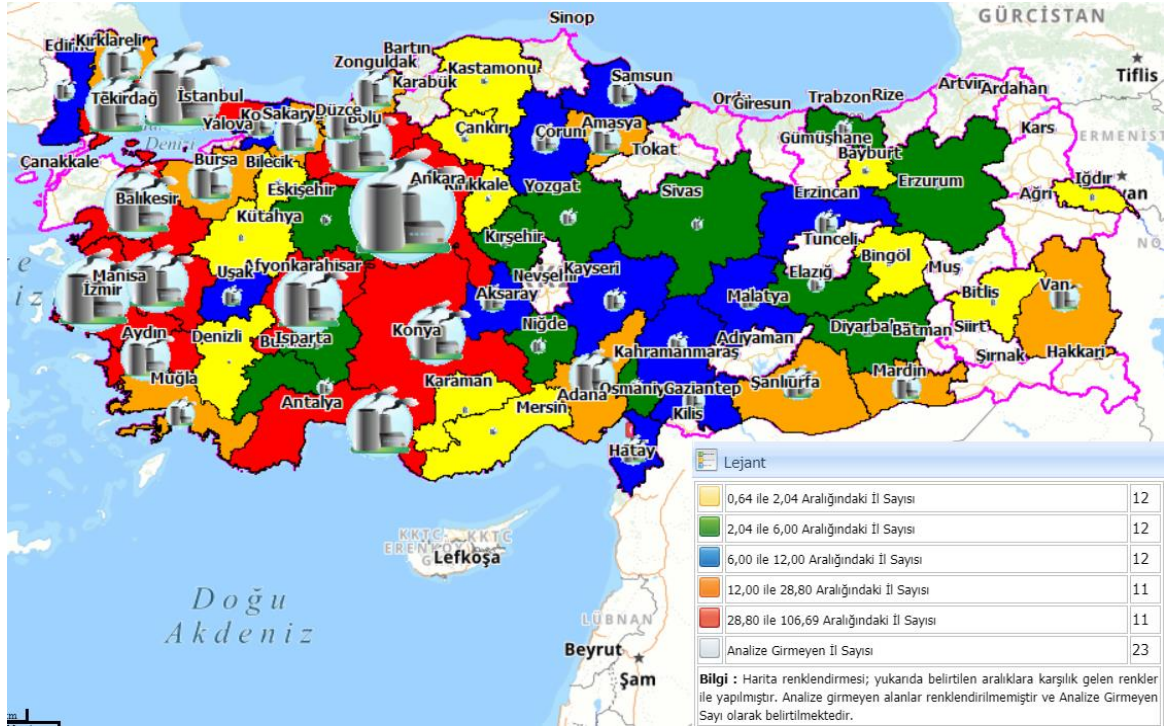
Türkiye’nin biyogaz enerji potansiyeli

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından oluşturulan Çizelge 1.3. Türkiye’nin biyokütle enerji alanındaki potansiyelini özetleyen değerleri içermektedir. Çizelgede yer alan verilere göre Türkiye’de mevcut 17 497 113 adet büyükbaş, 46 117 399 adet küçükbaş ve 359 217 862 adet kanatlı hayvan olmak üzere toplam 422 832 374 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvan sayılarına göre 193 878 079 ton/yıl hayvansal atık miktarının toplam teorik enerji eşdeğeri 4 385 371 TEP/yıl olmaktadır. Ayrıca 62 206 754 ton/yıl miktarındaki bitkisel atıkların toplam teorik enerji değeri 6 009 049 TEP/yıl olduğu görülmektedir. Toplam belediye atıkları 32 170 975 ton/yıl olup teorik enerji eşdeğer ifadesi 3 373 011 TEP/yıl’dır [8].

Çizelge 1.3. Atık ve biyogaz potansiyeli değerleri [8]

Toplam Hayvan Sayısı (adet):	422 832 374
Büyükbaş Hayvanlar:	17 497 113
Küçükbaş Hayvanlar:	46 117 399
Kanatlı Hayvanlar:	359 217 862
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl):	193 878 079
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	4 385 371
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	1 084 506
Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl):	184 593 134
Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl):	62 206 754
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	6 009 049
Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	1 462 159
Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl):	32 170 975
Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):	3 373 011
Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl):	485 858
Orman Varlığı Artıkları (ster/yıl):	3 914 904
Orman Artıkların Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	859 899
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:	8
Biyoetanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar:	5
Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı:	199
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	14 627 331

Türkiye tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin uygulanabilirliği yönünden iklimsel ve coğrafik açıdan elverişli koşullara sahip bir ülkedir. Yukarıdaki tabloda yer alan veriler de desteklemektedir ki biyogaz enerjisi ülkemizde enerji üretimi yapılabilecek ciddi bir potansiyele sahiptir. Şekil 1.3'te Türkiye'de biyokütleden enerji üreten lisanslı enerji santrallerinin dağılımı gösterilmektedir. Türkiye'de biyokütle kaynaklı toplamda 199 adet santral bulunmaktadır [8].



Şekil 1.3. Türkiye biyogaz enerji atlası; Biyogaz kaynaklı lisanslı elektrik üretimi yapan santraller [8]

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlbaş, Şahin ve Karyeyen çalışmalarında, üretilen brülör ve yanma odasında farklı biyogazların yakılmasının 3D sayısal modellemesini incelemişlerdir. Bu çalışmanın temel amacı, doğalgazın tükenmesinden dolayı bir yakıcı yoluyla biyogazların yanma karakteristiklerini (sıcaklık ve emisyon gibi) incelemektir. Ayrıca, bu çalışmada, önceden ısıtılmış havanın biyogazların alev sıcaklıkları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Son olarak, biyogazdaki H_2S miktarının SO_2 emisyonları üzerindeki etkisi bu tahminler çerçevesinde araştırılmıştır. Biyogazların yanma özelliklerini daha iyi anlamak için eksenel ve radyal yönlerde sıcaklık gradyanları belirlenmiştir. Modelleme, her biyogaz yanması için 10 kW termal güç ve $\lambda = 1,2$ aşırı hava oranı koşulları ile yapılmıştır. İlk bulgu, yeni üretilen brülörle biyogazın yanmasının mümkün olduğudur. Ayrıca, sonuçlar biyogazın, diğer biyogazlara kıyasla yüksek miktarda metan içermesinden dolayı, yakıcıdaki sıcaklık dağılımları açısından metana çok yakın olduğunu göstermektedir. Son olarak, biyogazdaki H_2S miktarı arttıkça SO_2 emisyonlarının arttığı ortaya çıkmıştır [9].

İlbaş ve Şahin çalışmalarında, farklı H_2O ve H_2S içeriğine sahip olan biyogazların yanma odasında yakılarak yanma özelliklerini incelemişlerdir. Su buharı yüzdesi % 0-10 arasında değiştirilerek nümerik olarak analiz edilmiştir. Türbülanslı yanma modeli kullanmışlardır. Bu çalışma ayrıca biyogaza farklı miktarda H_2O eklenerek biyogazın yanma performanslarının incelenmesini kapsamaktadır. Biyogazın emisyon değerleri ve alev sıcaklığının içeriğindeki H_2O miktarına göre değiştiği gözlenmiştir. Biyogaza H_2O eklenmesiyle eksenel sıcaklık seviyelerinin düştüğü gözlemlenmiştir [10].

İlbaş ve Şahin çalışmalarında, değişen türbülator açısı ve yakıcıya hidrojen ilavesine göre biyogazın yanma özelliklerini incelemişlerdir. Türbülator açıları 15° aralıklarla 15° – 45° arasında değiştirilmiştir. İncelemeler bir CFD kodu kullanılarak yapılmıştır. Biyogazın öngörülen sıcaklık ve emisyon profilleri, 15° türbülator açısı altında mevcut deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Bu tahminler dağılımlar ve değerler açısından ölçümlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Ölçülen ve öngörülen değerler arasındaki yüzde farklılıkların yaklaşık % 0 ile % 12 arasında değiştiği belirlenmiştir. Daha sonra, türbülator açısı 30° ve 45° arasında yapılanlarla karşılaştırılmıştır. Biyogaz yakıtına hidrojen ilavesinin biyogazın yanma performanslarına etkisi de bu çalışmada incelenmiştir. Bulgular, türbülator açılarındaki değişikliklerin yanma odası boyunca biyogazın sıcaklık ve emisyon profillerini

büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu bulgulara ek olarak, hidrojen biyogaza eklendikçe eksenel sıcaklık seviyelerinin arttığı görülmüştür. [11]

Şahin yapmış olduğu çalışmasında, dağıtılmış yanma koşulları altında çeşitli biyogaz alevlerinin termal alan dağılımlarını ve kirletici seviyelerini araştırmayı amaçlamıştır. Biyogaz alevlerinin yanma karakteristikleri, dağıtılmış yanma koşullarında yakıt esnekliği, seyreltici sıcaklığı ve seyreltici bileşimi açısından sayısal olarak araştırılmıştır. Oksitleyicideki oksijen konsantrasyonu, çeşitli biyogaz türlerini, farklı karışım sıcaklığını ve seyreltici bileşimini araştırmak için % 15 oksijen konsantrasyonuna indirgenmiştir. Mevcut ölçülen sıcaklık profilleri ile tahminler değerler ve eğilimler açısından iyi bir uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Dağıtılmış yanma koşullarından elde edilen diğer modellere göre, oksijen konsantrasyonu azaldıkça, yakıcı içinde daha homojen bir termal alan ortaya çıktığı belirlenmiştir. Oksitleyicide oksijen konsantrasyonu azaldığında, emisyon değerlerinin çok düşük seviyelere düşürüldüğü sonucuna varılmıştır [12].

Farghali ve diğerleri çalışmalarında, sığır gübresinin anaerobik sindiriminden biyogaz üretimi ve H_2S kontrolü için demir tozu ve demir oksit nanoparçacıklarının etkisini incelemiştir. Sonuçlar, 100mg / L, 500mg / L ve 1000mg / L konsantrasyonlarında mikro ölçekli WIP (demir ve çeliğin lazerle kesilmesinden üretilen) şeklinde demir ilavesinin, metan verimini % 36,99 artırdığını gözlemlemiştir. Ancak bu işlemin pahalı ve karmaşık olması sebebiyle sindirim işlemi yapılması gerekliliği belirtilmiştir [13].

Shakeel ve diğerleri çalışmalarında, gaz türbini yakıcısında oksijen metan yanmasının sayısal olarak modellenmesini araştırmışlardır. Bu çalışmada oksijen metan modellemesi ve simülasyonu için üç evrensel denklem kullanılmıştır. Nümerik modelleme Ansys Fluent ile yapılmıştır. Oksitleyici karışımdaki CO_2 yüzdesinin etkisi, yakıcı enerji seviyesi ve yanma karakteristikleri ve CO emisyonları üzerindeki eşdeğerlik oranı üzerine yapılan parametrik sonuçlar da incelenmiştir. CO emisyonlarının, baca gazı sıcaklığındaki düşüş ile CO_2 yüzdesinin artması sonucu monoton olarak arttığı gözlenmiştir [14].

Khalil ve Gupta çalışmalarında, yüksek yoğunlukta yanmada çok düşük NO ve CO emisyonları elde etmeyi ve model faktörü geliştirmeyi amaçlamışlardır. Deney sonuçları, farklı yakıt enjeksiyonu ve gaz çıkışı noktalarına sahip silindirik bir geometrisi olan yanma odasından alınmıştır. Tüm konfigürasyonlarda, yakıcının içindeki akışa girdap vermek için

yanma odasına hava teğetsel olarak enjekte edilmiştir. Burada incelenen geometriler için hem önceden karıştırılmış hem de önceden karıştırılmamış yanma modları için çok düşük NO_x emisyonları elde edilmiştir. Yakıt enjeksiyon yerindeki değişiklik, yanma karakteristiklerinde geleneksel difüzyon modu ve dağıtılmış yanma rejiminde değişikliklere sebep olmuştur. Önceden karıştırılmamış yanma modunda bile çok düşük NO ve CO emisyon salınımı olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Liu ve diğerleri çalışmalarında, mikro gaz türbini için tasarlanmış yanma odasında yakıt bileşimlerinin, yakıt enjektörlerinin konumunun ve pilot bölünmesinin yanma performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yakıt bileşimine göre ateşleme ve sönme performansı incelenmiştir. Yanma performansı motor çalışma koşullarında test edilmiştir. Yanma performansı testi için, yanma ürünü olarak CO ve NO_x emisyonlarına odaklanılmıştır. Sonuçlarda NO_x emisyonlarında belirgin azalmanın olduğu görülmüştür. Ayrıca yanma odasında % 50-100 motor yükü için kirleticisi emisyonu dikkate alınarak iyi yanma özellikleri göstermiştir [16].

Ersoy ve Uğurlu çalışmalarında, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 Kılavuzları tarafından yapılan tahminlere dayanarak, Türkiye'deki sera gazı emisyonları açısından hayvancılık sektörünün önemini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Çalışmada aynı zamanda Türkiye'nin gübre kaynaklı il temelli biyogaz üretim potansiyelinin anaerobik sindirim (AD) teknolojisi ile değerlendirmesi amaçlanmıştır. Değişen gübre geri kazanım oranlarına sahip iki farklı biyogaz potansiyeli senaryosu geliştirilmiştir. Birinci senaryo, üretilen toplam hayvan gübresi miktarının anaerobik sindirim ile biyogaz üretimi için kullanılacağı varsayımı yapılarak geliştirilmiştir. İkinci senaryo, hayvan türüne göre değişen gerçekçi gübre geri kazanım oranlarına dayanarak geliştirilmiştir. Senaryo 1 ve senaryo 2 için biyogaz potansiyelleri 2015 yılında sırasıyla 8,41 milyar m^3 ve 4,18 milyar m^3 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre Türkiye'nin toplam elektrik talebi birinci senaryo için % 5,25 oranında ikinci senaryo için % 2,3 oranında karşılanabilmektedir. Ayrıca, her yıl Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) sunulan GHG Envanterine göre, gübre yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları biyogaz üretimi yoluyla % 1,13 oranında azaltılabilmektedir [17].

İlbaş ve Yılmaz çalışmalarında yanma verimi ve emisyonlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla hava fazlalık katsayısını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar ile iki

farklı yakıt, üç farklı sıvı yakıt kazanında yakılmıştır. Bu yakma sonucunda duman kanalından radyal olarak farklı uzaklıklardaki kazan yanma verimleri ve emisyon davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel verilere göre NO_x emisyon değerinin hava fazlalık değeri arttıkça genellikle azaldığı ve SO_2 emisyonunda fazla değişim olmadığı görülmüştür. Hava fazlalık değerinin artmasının CO emisyonunun ve ısı verimin azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca SO_2 emisyonunda yakıttaki kükürt miktarına göre değişiklik olduğu görülmüştür [18].

Huynh ve Kong çalışmalarında, üç biyokütle hammaddesi kullanarak gazlaştırma işlemiyle elde edilen sentez gazlarını oksijenle zenginleştirilmiş üç farklı hava ve buhar koşullarında yakmışlardır. Bu yanma sonucunda oluşan NO_x emisyon değerleri incelenmiştir. % 21, % 30 ve % 40 O_2 ve hava karışımı ile her bir sentetik yakıt yakılmıştır. Bu yanma işlemleri sonucunda NO_x emisyon değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar, yanma karışımı zayıfladıkça ve ısı oranı azaldıkça NO_x emisyonlarının doğrusal olarak azaldığını göstermiştir [19].

Gupta ve Arghode çalışmalarında, alevin görünür rengini ortaya çıkarmayan renksiz dağılmış yanma koşullarına ulaşmak için dört farklı örnek konfigürasyonunu incelemiştir. Bu dört farklı konfigürasyon bir taban çizgisi difüzyon alevi konfigürasyonu ve dağıtılmış yanma koşullarına yakın koşullar sağlayan diğer üç konfigürasyondur. Dört modun tümü için de akış alanı konfigürasyonunun yanma karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemek için aynı yakıt ve hava enjeksiyon çapları kullanılmıştır. Sonuçlar dört farklı konfigürasyon için, sayısal simülasyonlar kullanılarak akış alanı ve yakıt/hava karışımı bakımından karşılaştırılmıştır. Ayrıca aynı karşılaştırma deneysel olarak küresel alev, egzoz, ses ve termal alanlar için yapılmıştır. Hem sayısal simülasyonlar hem de deneyler, normal sıcaklıkta hava ve yakıt olarak atmosfer basıncında metan kullanılarak 25 kW'lık sabit bir ısıyla gerçekleştirilmiştir. Renksiz dağıtılmış yanma modu ile bir difüzyon alevinin temel durumu karşılaştırıldığında daha düşük NO_x ve CO emisyonları, daha iyi termal alan homojenliği ve daha düşük akustik seviyeler gözlemlenmiştir. Görünür alev imzaları renksiz dağıtılmış yanma moduna yaklaştığında reaksiyon bölgesinin tüm yanma hacmi boyunca eşit olarak dağıldığı gözlenmiştir [20].

Kayahan doktora tez çalışmasında, akışkan yatakta yakma sistemi için yanma havası yoğunluğunun arttırılmasını incelemiştir. Çalışmalar iki farklı Türk linyiti, biyogaz ve bunların karışımıyla yapılmıştır. Yanma havasında bulunan oksijen oranı % 21 ve % 30

arasında tutulmuştur. Karbon tutulumu için farklı alternatif incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda oksijen zengileştirmenin yanma üzerinde olumlu sonuç gösterdiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda NO ve SO₂ emisyonlarının oksijen oranının artmasıyla yükseldiği görülmüştür. Biyokütle eklemesinin NO emisyonunu arttırdığı SO₂ emisyonunu azalttığı gözlenmiştir [21].

Çekiç yüksek lisans tez çalışmasında, kuru hava ve % 50 O₂ ve % 50 N₂ içeren ortamda 400°C, 500°C, 600°C ve 700°C olmak üzere 4 farklı sıcaklık değerinde Tekirdağ-Malkara kömürü yakma deneyleri yapılmıştır. Aynı deneyler % 40 O₂ ve % 60 N₂ içeren ortamda ve % 30 O₂ ve % 70 N₂ içeren ortamda tekrarlanmıştır. Yanma sonucunda elde edilen numunelerin tam yanmanın gerçekleştiği optimum oksijen yanma koşullarının belirlenmesi için ısı değeri, kısa analiz, elementel analiz, FTIR (Fourier kızılötesi dönüşüm spektroskopisi), XRD, XRF, tanecik boyutu dağılımı ve BET analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda düşük sıcaklıkta tam yanmanın gerçekleşmesi ile yakma sistemlerinin tasarımında daha yüksek sıcaklıklara dayanımlı uygun malzemenin seçilebileceği görülmüştür. Ayrıca düşük sıcaklıklarda çalışılan yakma sistemleri için prosesin kontrolünün sağlanmasının daha kolay yapılabileceği anlaşılmıştır [22].

Shah ve diğerleri çalışmalarında, mısır sapı, buğday samanı, pirinç kabuğu ve yer fıstığı kabuğu dahil olmak üzere lignoselüloz esaslı biyokütlenin oksijen yanması sırasında oluşacak N₂ veya NO_x dağılımlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. 700°C ile 1200 °C arasında değişen izotermal koşullarda nitrojen ve karbondioksit içeren oksijenden oluşan oksitleyici kullanılmıştır. Sonuçlar % 81,69 mısır sapı; % 68,69 buğday samanı; % 88,64 pirinç kabuğu ve % 72,99 yer fıstığı kabuğu içeriğine sahip biyokütlenin % 21 O₂/ % 79 CO₂ atmosferi altında % 21 O₂/ % 79 N₂ atmosferi üzerinde ortalama % 78 NO_x azalması olduğunu göstermiştir. Oksijen biyokütle yanma sonuçları ile karşılaştırıldığında oksijenin NO_x emisyonlarının azalmasında kilit rol oynadığı sonucuna varılmıştır [23].

3. BiYOGAZ ENERJİSİ

3.1. Biyogaz'ın Tarihçesi

Biyogaz M.Ö. 10. yüzyılda Asur'da banyo suyunu ısıtmak için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca antik Çinde de katı atıklara anaerobik fermentasyon uygulanmış olabileceği düşünülmektedir [24]. Bununla birlikte insanlar tarafından biyokütlenin anaerobik sindiriminden yararlanmaya yönelik belgelenmiş girişimler 19. yüzyıl ortalarında Yeni Zelanda, Hindistan ve İngiltere'de olmuştur [25].

Petrol fiyatlarının artmasıyla enerji fiyatlarında da artış meydana gelmiştir. Artan enerji fiyatlarının insanları alternatif enerji kaynakları arayışına yöneltmesi sebebiyle 1970'li yıllarda biyogaz teknolojisinin yayılması ivme kazanmıştır. 1970'li yıllarda ve 1980'li yılların ilk yarısında birçok Asya, Latin Amerika ve Afrika ülkelerinde biyogaz kullanımı hızla artmıştır [26]. Biyogaz kullanımının hızla arttığı bu dönemde Çin hükümeti her kırsal ailede biyogaz kullanımı teşviği sayesinde yedi milyondan fazla çürütücü kurulumu sağlamıştır [24].

Oksijensiz fermentasyon endüstriyel ölçekte ilk olarak 1859 yılında Hindistan'da uygulanmıştır. 1895 yılında ise İngilizler arıtım çamurunun çürütülmesiyle geri kazandıkları biyogazı sokak lambalarında kullanmışlardır [27]. Tam donanıma sahip katı atık beslemeli ilk tesis ise Cezayir'de 1938 yılında geliştirilmiştir [28].

3.2. Türkiye'de Biyokütle Kaynakları

Ülkemizde sanayileşme ve tarım faaliyetlerinin artması sebebiyle hayvansal, bitkisel, organik içeriğe sahip şehir ve endüstriyel atık miktarları sürekli artış göstermektedir. Çizelge 3.1.'de Türkiye'nin biyokütle olarak kullanılabilen atıkların potansiyeli gösterilmektedir. Bu atıklar büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan atıkları, bitkisel atıklar, biyometanizasyona ve yakmaya uygun belediye atıkları, orman atıkları, endüstriyel atıklar ve evsel atıklardır [8]. Ayrıca zeytin karasuyu, yer fıstığı kabuğu, peynir altı suyu, patates posası ve çay atıkları gibi özellikle gıda endüstrisine fabrikalarda ürün üretim prosesinde atık veya yan ürün olarak açığa çıkan maddelerde biyokütle olarak değerlendirilebilmektedir.

Çizelge 3.1. Biyokütle potansiyelini belirleyen veriler [8]

Atık Türleri	Atık Miktarı (ton/yıl)
Büyükbaş Hayvanlar:	134 150 417
Küçükbaş Hayvanlar:	46 511 866
Kanatlı Hayvanlar:	13 215 796
Büyükbaş Hayvanlar:	975 180
Küçükbaş Hayvanlar:	105 648
Kanatlı Hayvanlar:	3 304 544
Büyükbaş Hayvanlar:	273 050
Küçükbaş Hayvanlar:	8 452
Kanatlı Hayvanlar:	803 004
Tarla Bitkileri:	119 007 069
Bahçe Bitkileri:	35 553 238
Sebze Bitkileri:	30 032 827
Tarla Bitkileri:	46 279 245
Bahçe Bitkileri:	4 038 114
Sebze Bitkileri:	11 889 396
Tarla Bitkileri	105 648
Bahçe Bitkileri	1 754 031
Sebze Bitkileri	4 149 370
Tarla Bitkileri:	1 225 364
Bahçe Bitkileri:	236 794
Biyometanizasyona Uygun Olanlar:	14 476 939
Yakmaya Uygun olanlar:	17 694 036
Biyometanizasyona Uygun Olanlar:	466 881
Yakmaya Uygun Olanlar:	2 906 130
Biyometanizasyona Uygun Olanlar:	93 396
Yakmaya Uygun Olanlar:	392 462
Endüstriyel Olarak Değerlendirilmeyenler:	3 529 319

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere en çok hayvansal ve bitkisel atıklar olmak üzere biyokütle olarak değerlendirilebilecek ciddi potansiyele sahip atık kaynakları mevcuttur. Biyogaz kaynağı olarak çevreye zarar verecek olan bu atıkların değerlendirilmesi enerji üretiminin yanı sıra atık bertarafını sağlamaktadır. Bu çevreye zararlı organik atıkların enerji

santrallerinde düzenli bertarafı da atık yönetiminin başarılı bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır.

Organik atıklardan elde edilen biyogaz miktarı atıkların türüne ve bazı kimyasal özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu özellikler organik atığın karbon azot oranı, içerdiği selüloz miktarı ve biyokimyasal olarak parçalanması olarak sıralanabilir.

Biyogaz üretiminde büyükbaş hayvan atığı olarak genellikle sığır, manda, at ve domuz gübreleri kullanılmaktadır. Küçükbaş hayvanlar da ise çoğunlukla koyun ve keçi gübreleri kullanılmaktadır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların gübrelerine ahır gübresi de denilmektedir. Hayvan gübreleri biyogaz üretiminde ciddi bir potansiyele sahiptir. Hayvanların merada veya ahırda beslenmeleri ve süt besi ve besi hayvanı olarak yetiştirilmeleri günlük gübre üretimini etkileyen faktörlerdir. 1 ton sığır gübresinden yaklaşık 33 m³, 1 ton koyun gübresinden 58 m³ ve 1 ton kümes hayvanları gübresinden 78 m³ biyogaz üretilmektedir [29]. Gübre miktarları teorik olarak büyükbaş hayvan canlı ağırlığının % 5-6'sı, küçükbaş hayvan canlı ağırlığının % 4-5'i, kümes hayvanları ise hayvan canlı ağırlığının % 3-4'ü kadar kg cinsinden günlük atık üretir. Ortalama hayvan ağırlıkları dikkate alınarak hesaplandığında bir büyükbaş hayvan yılda yaklaşık 3,6 ton, bir küçükbaş hayvan yılda yaklaşık 0,7 ton ve bir kanatlı kümes hayvanı ise yılda yaklaşık 0,022 ton atık üretmektedir [30].

Mısır püskülü, sap, saman, anız, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar biyogaz üretiminde kullanılan bitkisel atıklardır. Ayrıca enerji üreten biyogaz santrallerinde kullanılmak üzere silajlık mısır, şeker pancarı ve şeker kamışı gibi bitkiler özel olarak ekilmektedir. Sadece enerji üretimi amacıyla ekilen bu bitkiler C4 tipi bitki grubunda olup enerji bitkileri olarak anılmaktadır [31].

Biyogaz üretiminde kentsel atıklar da kullanılmaktadır. Kentsel atıklardan biyogaz üretimi yapılabilmesi için biyometanizasyon yöntemi ve land-fill gaz üretimi yöntemleri kullanılabilir. Biyometanizasyon yönteminde kentsel katı atıkların organik atık kısımları ayrıştırılır ve oksijensiz ortamda anaerobik fermentasyon ile biyogaz üretimi sağlanır. Land-fill gaz üretiminde ise kentsel atıklar direk olarak atık depolarında birikir ve doğrudan gerçekleşen oksijensiz anaerobik fermentasyon ile biyogaz üretimi sağlanır.

3.3. Biyogaz'ın Bileşimi ve Özellikleri

En basit tanımıyla biyogaz bitki ve hayvanların (mikro-organizmaların) organik madde potansiyelini ifade eder. Biyogaz enerjisi ise bu organik madde potansiyelinin enerji olarak kullanılabilmesi üzere üretilen gazdır. Biyogaz enerjisi en kısa şekliyle organik atıkların oksijensiz ortamda metan ve karbondioksit üretilmesi sürecini içeren bir yenilebilir enerji kaynağıdır. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da ise biyokütle: “organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar” olarak tanımlanmaktadır [32].

Biyogaz organik temelli atıkların oksijensiz ortamda fermentasyonu sonucu oluşan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşimininde organik maddeler barındıran bir karışımdır. Biyogaz havadan daha hafiftir ve havaya göre yoğunluğu $0,94 \text{ kg/m}^3$, yanma sıcaklığı 700°C , alev sıcaklığı 870°C ve ısı değeri 5.96 kWh/m^3 olan bir gaz karışımıdır [33]. Biyogaz içeriğindeki gaz bileşimi oranları sabit değildir, bu oranlar ortam sıcaklığına, su miktarına, asiditesine (pH değerine) ve kullanılan gübrenin içeriğine göre değişiklik göstermektedir. Biyogazın tipik olarak bileşimi Çizelge 3.2'de gösterilmektedir [34].

Çizelge 3.2. Biyogaz bileşenleri [34]

Gazın Cinsi	Yüzde Bileşimi
Metan (CH_4)	50-80
Karbondioksit (CO_2)	20-50
Azot (N_2)	0-3
Hidrojen (H_2)	0-5
Su (H_2O)	0-1
Hidrojen Sülfür (H_2S)	0,0005-0,0002

Biyogaz üretilerek verimli bir şekilde kullanılmasındaki en önemli faktör içeriğindeki metan (CH_4) oranıdır. Bir biyogazın daha verimli hale getirilmesi isteniyorsa içeriğindeki metan oranının artırılması gerekmektedir.

Biyogaz yapısı bakımından doğalgazla benzerlik göstermektedir. Biyogaz arıtıldıktan sonra bazı küçük modifikasyonlar yapılarak doğalgaz ile çalışan cihazlarda kullanılabilir hale getirilebilir. Biyogaz ve doğalgazın bileşim ve özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmektedir [35].

Çizelge 3.3. Biyogaz ve doğalgaz özelliklerinin karşılaştırılması [35]

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

3.4. Biyogazın Oluşumu

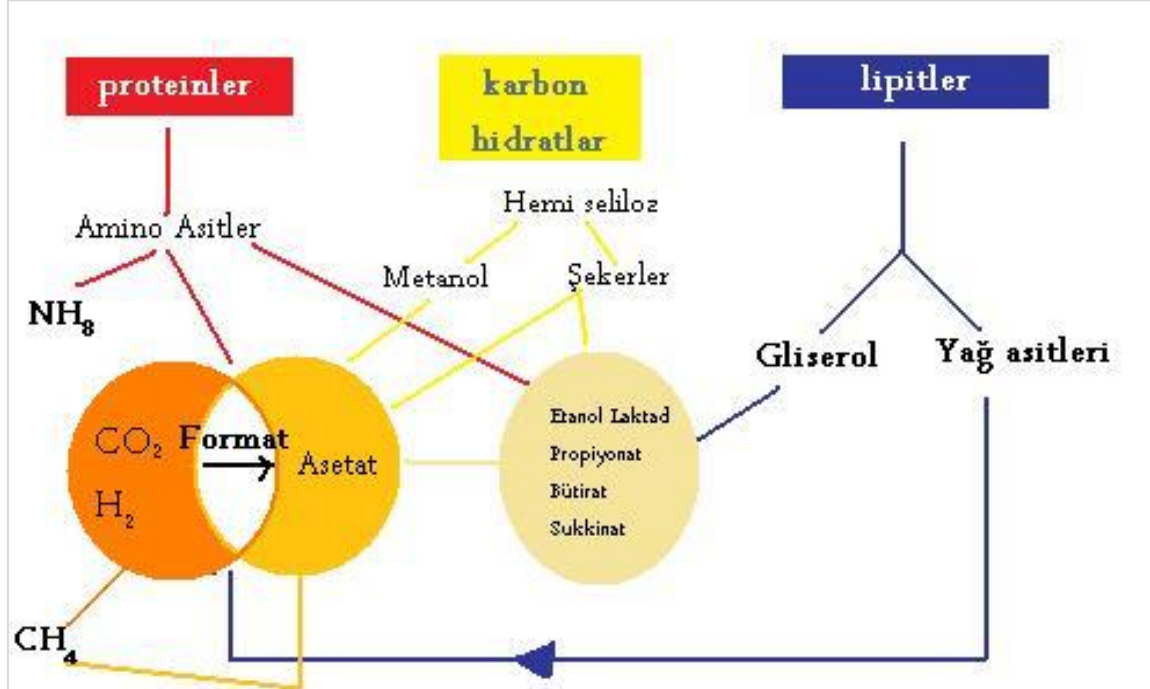
Biyogaz oluşumu üç aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumudur.

Birinci aşama olan hidroliz aşamasında mikroorganizmalar enzimler salgılayarak atığın çözünür hale dönüşmesini sağlar. Bu aşamada protein, karbonhidrat ve albümin gibi kompleks yapılar aminoasit, şeker ve yağ asitleri gibi daha basit bir yapıya sahip olan organik yapılara dönüşür. Bu aşamanın sonrasında fermente edici (asit oluşturan) bakteriler bu maddeleri asetik asit, propiyon asidi, bütirik asit gibi düşük yağ asitleri ile laktik asit ve alkollere dönüştürürler. Asit oluşumu sırasında pH düşebilir bunun sonucu olarak metan oluşturan bakteriler olumsuz etkilenebilir. Biyogazın metan oluşturuıcı bakteriler tarafından oluşması ise son aşamadır. Biyogazın meydana gelmesi mikrobiyolojik etkenlerle gerçekleşir ve mikrobiyolojik organizmalar üzerinde etki yaratabilecek dış etkenler biyogaz üretimini de doğrudan etkilemektedir [36].

3.4.1. Hidroliz

Hidroliz aşamasında fermentatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları, proteinleri ve yağları parçalayarak karbondioksit (CO₂), asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir

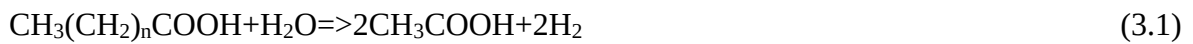
bölümü uçucu yağ asitleridir bu nedenle bu aşama uçucu yağ asitlerinin oluşum aşaması olarak adlandırılır [37].



Şekil 3.1. Kompleks organik maddelerin hidroliz ile basit organik maddelere dönüşümü [36]

3.4.2. Asetik Asit Oluşumu

Bu aşamada, hidroliz aşamasının sonunda oluşan ve uçucu yağ asitlerinin asetik aside dönüşmesini sağlayan asetogenik (asit oluşturan) bakteri grupları açığa çıkar ve oluşan asetogenik bakterilerin bir kısmı uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürür [38].



Asetogenik bakteri grubunun diğer kısmı açığa çıkan karbondioksit ve hidrojen ile asetik asit oluşturur. Ancak bu şekilde açığa çıkan asetik asit miktarı, ilkinde kıyasla daha azdır [39].



Asit oluşturuıcı bakteriler, çözünebilen organik maddeleri başta asetik asit olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H_2) ve karbondioksit (CO_2) gibi daha küçük yapıya sahip olan anaerobik maddelere dönüştürürler. Bu anaerobik maddelerin büyümeleri asidik ortamda

gerçekleşmektedir. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterileri büyümeleri ve çoğalabilmeleri için oksijene ve karbona ihtiyaç duyarlar. Asit oluşturunca bakteriler sayesinde metan oluşturunca bakterilerin ihtiyaç duyduğu anaerobik ortamın oluşmasını sağlarlar [40].

Asit üretimi metan üretimine göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar sebebiyle asit üretimi artar ve pH düşer. Bu durum sonucunda metan bakterileri üzerinde inhibisyon etki oluşur [40].

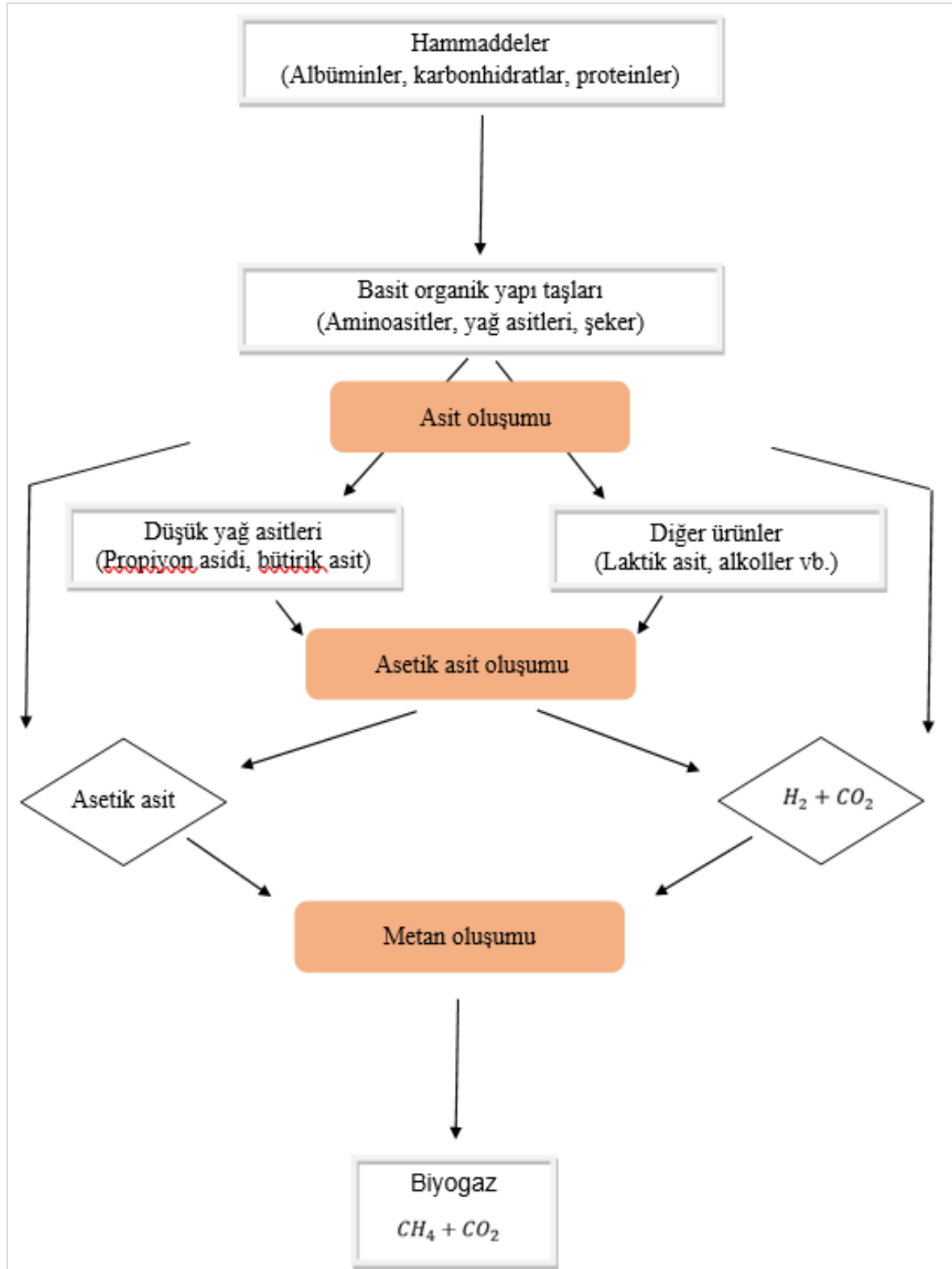
3.4.3. Metan Oluşumu

Metan oluşumu anaerobik fermantasyonun son aşamasıdır. Bu aşamada metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO_2 ve H_2 'yi kullanarak metan (CH_4) ve suyu (H_2O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar [41].

Değişik bakteri gruplarının rol aldığı bu üç aşamada; anaerobik fermantasyonda bekletme süresi, atık su ve atık organik maddelerin türü, ortamın pH'ı ile içerdikleri iyonlar ve bunlara bağımlı olarak oluşan mikroorganizmalar topluluğunun yapısı üç farklı sıcaklık bölgesi oluşturur. Metan oluşumunda rol oynayan anaerobik fermantasyonun üçüncü aşamasında etkinlik gösteren metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç grupta incelenir [40]:

- 1- Psikofilik bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 5-25°C
- 2- Mezofilik bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 25-38°C
- 3- Termofilik bakteriler optimum faaliyet sıcaklığı: 50-60°C

Yaşam alanları psikofilik bakteriler için deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler için yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklardır [40].



Şekil 3.2. Anaerobik bozulma akım şeması [42]

3.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimi çok fazla dış etkene bağlı olan biyolojik bir süreçtir. Biyogaz üretiminin en verimli şekilde gerçekleşebilmesi için bu dış etkenlerin yani ortam koşullarının uygunluğu oldukça önem taşımaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Reaktör sıcaklığı
- Organik yükleme hızı
- Ph
- C/N oranı
- Toksik Maddeler
- Karıştırma
- Bekletme süresi
- Hidrojen sülfür (H_2S) oluşumu
- Basınç

3.5.1. Reaktör sıcaklığı

Kimyasal reaksiyonların gerçekleşme hızları çevre sıcaklığının yüksekliğiyle ilişkilendirilmektedir. Bu ilişki biyolojik bozunma ve indirgenme prosesleri için kısmen geçerli olabilir. Söz konusu prosesler için metabolizma prosesinde etkinlik gösteren mikroorganizmaların yaşamlarını farklı sıcaklıklarda sürdürdükleri göz önünde tutulmalıdır. Sıcaklık değerinin bu optimal sıcaklık alanının dışında olması durumunda, süreç kesintiye uğrayabilir ve bazı durumlarda sürece dahil olan mikroorganizmaların geri dönüşü olmaması sonucunda zararlara yol açabilir [43].

Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık koşullarında aktif olmazlar. Sıcaklığın artması ile biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizmaların büyümesi gerçekleşmektedir. Sıcaklık değişimine karşı metan oluşturuvcu bakteriler hassasiyet gösterirler. Biyokimyasal reaksiyon sırasında biyoreaktörlerde korunması gereken sıcaklık değerleri aşağıdaki gibidir [44]:

Psikofilik sıcaklık aralığı: 12-20 °C,

Mesofilik sıcaklık aralığı: 20 °C - 40 °C

Termofilik sıcaklık aralığı: 40-65°C

3.5.2. Organik yükleme hızı

Biyoreaktörlerin birim hacmine (m^3) günlük olarak beslenen organik madde miktarı (uçucu katı) organik yükleme hızı olarak tanımlanmaktadır. Bakterilerin anaerobik fermentasyondaki etkinlikleri için organik yükleme hızı hassas bir parametredir [46].

Organik yükleme hızı anaerobik fermentasyon sırasında optimum ölçüde korunmalıdır. Organik yükleme hızının yüksek olması biyoreaktör içinde asit birikmesine yol açar. Bunun sonucunda pH düşer ve metanojenik bakterilerin etkinlikleri olumsuz yönde etkilenir. Sonuç olarak gaz üretim hızı düşer hatta durabilir. Benzer olarak organik besleme hızının düşmesi durumunda ise gaz üretim hızı düşer [45].

3.5.3. pH

Metan oluşumuna sebep olan bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermentasyon işlemi anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH'ı, normal olarak 7-7,5 arasında değişir. Biyoreaktörün pH'ının 6,7'nin altına düşmesi durumunda, metan oluşturuıcı bakteriler üzerinde toksik oluşur. 6,8-7,8 pH aralığı anaerobik arıtma için ideal aralıktır. Gaz üretimi pH 6,5 altında iken tamamen düşmektedir. Metan oluşturuıcı bakteriler pH'ın düşmesinden olumsuz olarak etkilenmektedir. Bunun sonucunda ortamdaki asit oluşturuıcı bakteri miktarında artış meydana gelir. Metan oluşumu reaktördeki yağ asidi miktarı belli değerin üzerinde olduğu zaman durur. Özellikle organik yükleme ve sıcaklığın ani düşüşlerinde bu durum meydana gelir [45].

pH'ın biyoreaktörlerde düşmesine karşı iki farklı yaklaşım gerçekleştirilir. İlk yaklaşım organik madde beslemesinin durdurulmasıdır. Bu yaklaşımla ortamdaki metanojenik mikroorganizmaların miktarı artırılarak yağ asidi konsantrasyonu azaltılır. pH uygun olabilecek bir seviyeye ulaştığında beslemeye devam edilir. Diğer yaklaşımda ise ortama kimyasal madde ilave edilir. pH'ın kararlı hale hızlı olarak gelmesi bu yaklaşımın en önemli avantajıdır. Bununla birlikte dengesiz mikroorganizma konsantrasyonu düzelir [45].

3.5.4. C/N Oranı

Bütün besi maddeleri, hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıklarında belli miktarlarda karbon, azot ve oksijen içermektedir. Anaerobik bakteriler enerji ihtiyacı için organik maddelerdeki karbona ihtiyaç duymaktadır. Azot ve fosfor, karbon dışında diğer önemli besi maddeleridir. Bu besi maddeleri bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir.

Besi maddesinde bulunan azotun sağladığı faydalardan biri, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlamasıdır. Diğer faydası, amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'nın düşmesini önlemesidir. Bunun sonucunda metan oluşturan bakteriler büyümesi için gerekli pH şartlarının sağlanması önemlidir [45].

Biyoreaktörde bulunan farklı bakteriler besi maddesindeki bileşikleri kullanırlar. Metabolik işlemlerde gereken C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranının 23/1'den büyük olması optimum çürüme için uygun değildir. Yine C/N oranının 10/1'den küçük olması bakteriler üzerinde engelleyici etkiye sebep olmaktadır [47].

Hayvan türlerinin gübreleri ve evsel/tarımsal atıklar için kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Atıkların C, N, C/N oranı ve nem miktarları [44]

Gübre	C % Kuru	N % Kuru	C/N Oranı	Taze Güredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85	01:01
Koyun Gübresi	83,6	3,8	22	75-80	01:01
Kümes Hayvan Gübresi	87,5	6,55	14	70-80	01:03
Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80	01:02
At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85	02:03
Kaz Gübresi	54	2	27	70-80	02:03
Güvercin Gübresi	50	2	25	70-80	01:03
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-80	
Evsel ve Tarımsal Atıklar					
İnsan Dışkısı	48	6	8	50-70	03:07
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7	10	50-70	
Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0,05	800	5-15	
Taze Çim	48	4	12	40-60	
Yulaf Samanı	50,4	1,05	120	20-40	
Pirinç Samanı	18	0,3	60	20-40	
Yapraklar	55	1	55	25-40	
Yer Fıstığı Kabuğu	40	2	20	25-40	
Soya Fasulyesi Sapı	64	2	32	25-40	
Ağaç Yaprakları	75	1,5	50	40-60	
Şeker Kamışı	45	0,3	150	25-40	
Soya Fasulyesi	17,5	3,5	5	25-40	
Pamuk Tohumu	12,5	2,5	5	10-15	
Hardal	39	1,5	26	10-15	
Su Sümbülü	30,4	1,9	16	85-90	

3.5.5. Toksik maddeler

Sülfidler, sülfürler ve ağır metal iyonları gibi inorganik iyonlar ile birçok organik maddeler anaerobik mikroorganizmalar üzerinde toksik ve inhibitör etkiye sebep olmaktadır [48]. Özellikle demir, nikel ve kobalt düşük oranlarda fermentasyonun hızlanmasını sağlarken, düşük sıcaklıklarda toksik etki yapmaktadır [49]. Toksik etkiye sebep olan maddeler; uzun zincirli yağ asitleri, dezenfektanlar, amonyak, antibiyotik, zararlı ilaçlar ve deterjanlar olarak

sıralanabilir. Alkoller yüksek oranlarda toksik etki yaratarak metan üretiminin azalmasına neden olurlar [50].

Fermantasyon gerçekleşirken proteinlerden üretilen amonyak seviyesindeki artış düşük seviyede olduğunda biyogaz üretimi artarken, yüksek seviyede olduğunda inhibisyona yol açmaktadır [50].

Bakterilerin büyümesi üzerinde toksik etkiye sebep olan bazı maddeler ve engelleme seviyeleri Çizelge 3.5'te verilmiştir [44].

Çizelge 3.5. Anaerobik fermantasyonda çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi [44]

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/L)
Sülfat (SO_4^{-2})	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0
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

Amonyak konsantrasyonunun anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine olumlu ve olumsuz etkisi Çizelge 3.6'da verilmiştir [44].

Çizelge 3.6. Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi [44]

Konsantrasyon (mg NH ₃ /lt)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

3.5.6. Karıştırma

Biyogaz reaksiyon sırasında diğer atıklarla veya bulamaçla bire bir temas etmesi için karıştırılması gerekmektedir. Atığın fermenterde karıştırılması birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar [51];

- Metanogenisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak.
- Bakteri popülasyonu ile taze atığın karıştırarak reaksiyonun hızlanmasını sağlamak.
- Fermantasyon sırasında atığın üst yüzeyinde köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partükülerin fermentörün (reaktörün) taban kısmına çökelti oluşturmasını engellemek.
- Fermenterdeki atığın sıcaklık dağılımını eşitlemek.
- Bulamaç içinde bulunan bakteri popülasyon yoğunluklarını düzenlemek.
- Karıştırma yöntemi ile fermenterdeki boş alan hacminin azaltarak fermantasyon üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak.

3.5.7. Bekletme süresi

Reaktör içinde bulunan bazı organik maddelerin biyokimyasal reaksiyona tam olarak girmesiyle zamanla gaz üretiminde azalma olmaktadır. Hidrolik bekleme süresi (HBS) boyunca besi maddelerinin % 70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girdiği ve bertarafının gerçekleştiği kabul edilir. Biyogaz tesislerindeki HBS işletme sıcaklığıyla ilişkili olarak 20-120 gün arasında değişiklik göstermektedir. Tropikal bölgelerdeki HBS 40-50 gün arasında değişir. Çin'in soğuk bölgeleri için bu süre yaklaşık 100 gündür [45].

Sıcaklık bekletme süresini belirleyen en önemli etkidir. Katı bekletme süresi kısa tutulduğu zaman fermantasyon için yeterli zaman olmadığı için sistemin çökmesine sebep olur. Bekletme süresi uzatıldığı zaman, hayvansal atık içeriğinde bulunan selüloz fermantasyonu

gerçekleştirir ve birim atık başına üretilen biyogaz oranı artar. İlk evrede gaz üretiminin % 70-80'i gerçekleşir. Reaktöre hammadde girişinden itibaren ilk gaz üretimi gerçekleşinceye kadarki geçen zaman bekletme süresini belirler. HBS, atık içindeki organik maddelerin bakteriler aracılığıyla çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gereken süredir [52].

3.5.8. Hidrojen sülfür (H_2S) oluşumu

Hidrojen sülfürün negatif etkileri, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren görülmektedir. H_2S engellemesi giriş maddelerinin yüksek kükürt oranlarına bağlıdır. Tarımsal biyogaz tesislerinde daha çok düşük kükürt oranına sahip giriş materyalleri kullanılmaktadır. Gazın içindeki H_2S oranları, gaz değerlendirmesi üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle düşürülmesi gereken bir değerdir. H_2S engellemesinin önlenmesi için alınan bazı tedbirler şu şekilde sıralanabilir:

- Sülfid çökertme için demir tuzlarının eklenmesi
- Kükürt içeren hammadde oranını düşürme
- Suyla seyreltme

pH değerinin yükseltilmesi kısa süreliğine H_2S 'nin toksisitesini azaltabilir, fakat uzun süreli olarak uygulanmamalıdır [43].

3.5.9. Basınç

Reaktör içerisinde oluşan basınç anaerobik bakterileri etkiler bu nedenle biyogaz üretiminde verimi de etkilemiş olur. Literatürde konuyla ilgili olarak biyogaz üretiminde optimum basınç değerinin 0,75 – 1,5 kPa mutlak basınç aralığında bulunduğu ve bu değerde yüksek basınç değerlerinde biyogaz üretiminin zorlaşabileceği belirtilmektedir. Ancak özellikle büyük reaktörlerin alt kısmında bulunan metan bakterileri oldukça büyük hidrolik basınç altında faaliyetlerini sürdürmektedir ve bir performans düşüklüğü rapor edilmemiştir [53].

3.6. Anaerobik Fermantasyon Teknolojileri

3.6.1. Kapalı çukurlar (Lagün)

Anaerobik çukurlar hem sıvı atıkların veya katı konsantrasyonu düşük çamurların depo edildiği, hem de biyolojik reaktör olarak kullanılan alanlardır. Bu hem çok ucuz hem de çok basit bir teknolojidir. Toprak kısmın üzerine gazın toplanması için monte edilmiş bir örtüden ibarettir. Örtü aynı zamanda kötü koku ve de emisyonları da engellemektedir. Bu teknolojinin en büyük dezavantajı düşük sıcaklık değerlerine karşı gösterdiği dirençsizliktir [54].

3.6.2. Tam karıştırmalı reaktörler (CSTR)

Bu reaktörler aynı zaman da tam karıştırmalı sürekli reaktörler olarak da bilinir. CSTR prosesi ilk atık su arıtımı için geliştirilmiş olsa da günümüzde çiftlik tipi biyogaz tesislerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Reaktör genellikle çelik veya çimentodan inşa edilmekte olup, % 3-10 toplam katı içeriğini fermente edecek şekilde dizayn edilir. Reaktörler çoğunlukla mekanik olarak veya oluşan gazın sürkilasyonu ile karıştırılır. CSTR için tipik alıkonma süresi 20 ile 25 gün arasındır [43].

3.6.3. Piston akımlı reaktörler (PFR)

Piston akımlı reaktörler CSTR sistemlerine alternatif olması amacıyla geliştirilmiştir. Karıştırılmayan bu sistemler % 12-15 toplam katı aralığında çalışabilir. Bu reaktörlerin hidrolik alıkonma süresi genelde 20-30 gündür ve çoğunlukla mezofilik koşullarda işletilir [45].

3.6.4. Yarı-kesikli teknolojiler

Çiftlik tipi uygulamalarda maliyeti düşürmek amacıyla ileri sürülmüş bir teknolojidir. Sistem belli bir başlangıç hacmi (yaklaşık kapasitenin % 30'u) üzerine sürekli bir beslemeyi temel almaktadır. Birikme tam kapasiteye ulaşana kadar reaktör işletilmektedir. Sonra çürütülen malzeme alınarak çevrim tekrarlanmaktadır. Bu teknolojinin en büyük avantajı besleme miktarına sağladığı esnekliktir [45].

3.6.5. Aşamalı sistemler

2 aşamalı anaerobik fermantasyonun çıkış noktası tek aşamalı reaktörlerin gösterdiği kararsız durum ve eksik yapılarıdır. Birçok durumda metanlaşmanın inhibe olmasına pH değerindeki ani düşüşler neden olmaktadır. Yapılan bir çok çalışma anaerobik fermantasyon esnasında gerçekleşen fazları, fiziksel olarak ayırmanın organik maddenin bozunmasını ve oluşan gaz miktarını arttırarak sistemin kontrolünü kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir. Bu sistemde asitlenme ve metanlaşma basamakları fiziksel olarak birbirinden ayrılmaktadır. İki aşamalı sistemler teorik olarak klasik tek aşamalı sistemler ile aynı metabolik yollara sahiptirler ancak fiziksel olarak asitlenme ve metanlaşma reaktörü olmak üzere 2'ye bölünmüştür [45].

3.7. Biyogaz Tesis Çeşitleri

Biyogaz üretim tesisleri genel olarak 5 başlık altında incelenebilir [55]:

1-Tarımsal biyogaz tesisleri:

a-Aile tipi biyogaz tesisleri (Çok küçük ölçekli)

b-Çiftlik tipi biyogaz tesisleri (Küçük ölçekli)

c-Merkezi biyogaz tesisleri (Orta ölçekli)

2-Atık su arıtma tesisleri

3-Belediye katı atık arıtma tesisleri

4-Endüstriyel biyogaz tesisleri

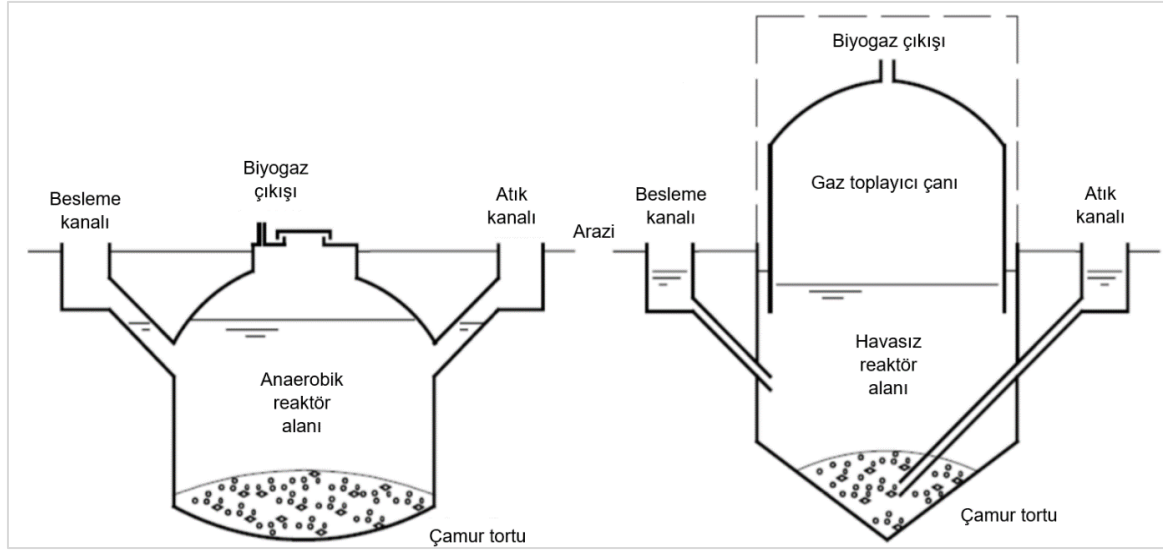
5-Çöp gazı geri kazanım tesisleri

3.7.1. Tarımsal biyogaz tesisleri

Bu tip tesisler aile tipi, çiftlik tipi ve merkezi tesisler olarak üçe ayrılır.

Aile tipi biyogaz tesisleri

Bu tipteki tesisler genel olarak Hint tipi, Çin tipi ve diğer küçük ölçekli tipler olarak üçe ayrılmaktadır [55]. Çin tipi ve Hint tipi reaktör tipleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



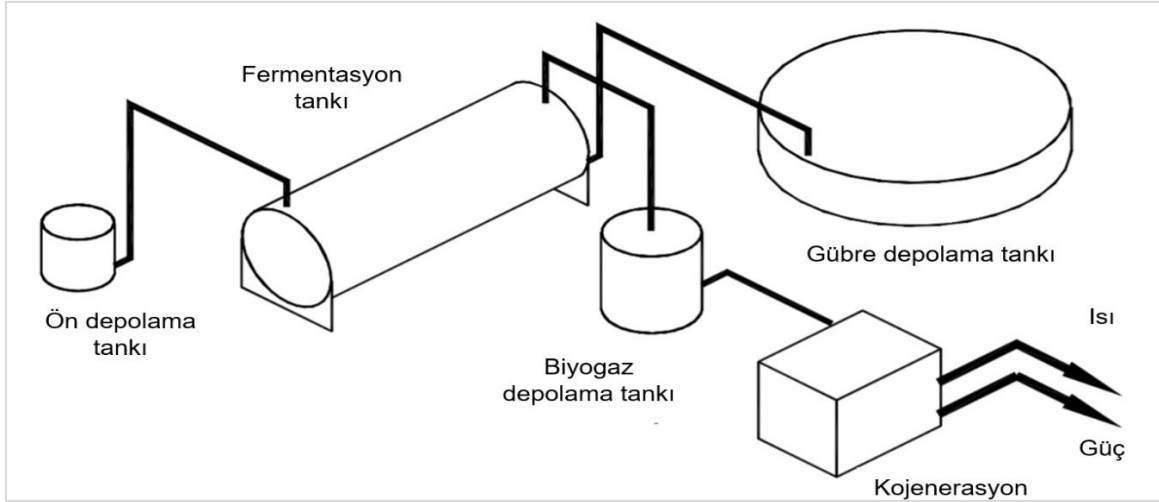
Şekil 3.3. Çin tipi reaktör ve Hint tipi reaktör [55]

Çin tipi biyogaz reaktörleri tipik olarak 6 ila 8 m³ arasında bir yeraltı reaktörüdür. Evsel kanalizasyon, hayvan gübresi ve organik evsel atıklarla kullanılır. Reaktör yarı zamanlı olarak çalıştırılır. Reaktöre günde bir kez yeni substrat eklenir ve eklenen kadar boşaltılır.

Hint tipi biyogaz reaktörleri Çin tipi ile benzerlik gösterir. Hint tipi reaktörler de yeraltı reaktörüdür ve evsel ve küçük tarım atıkları kullanılır. Hint tipi ve Çin tipi reaktörler arasındaki fark Hint tipinde dışarı akıtılan atık reaktörün altında toplanır ve üretilen gazın toplandığı bir döner gaz bölümü vardır [55].

Çiftlik tipi biyogaz tesisleri

Bu tipteki tesislerde tesisin metan gazı üretimini ve verimi arttırmak için balık, sebze ve yağ endüstrisi atıkları da kullanılmaktadır. Çiftlik tipi tesislerinde boru hatlarıyla kendilerine komşu bir veya daha fazla çiftlikten hayvasal atık alarak tesiste kullanabilmektedir. Başta Almanya, Avusturya ve Danimarka gibi birçok Avrupa ülkesinde olmak üzere dünyada bu tip tesislerin kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde Avrupalı çiftçiler bu tip tesislere biyogaz ve yararlı gübre çıktısı avantajının yanısıra yeni iş imkanları oluşturduğu içinde yatırımda bulunmaktadır. Bu tipteki biyogaz tesisleri şekil, tasarım ve ölçü bakımından değişik şekillerde kurulabilmektedir [55]. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisi'nin akış şeması şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Çiftlik tipi biyogaz tesisi

Çiftlik tipi biyogaz tesisleri genel prensipler kullanılarak tasarlanır. Hayvansal atıklar ilk olarak ön depolama tankına gelir buradan da kapalı olan fermentasyon tankına pompa ile iletilir. Çelik veya beton yapıya sahip olan fermentasyon tankında tank sıcaklığı korunur ve gaz sızdırmazdır. Bu tip biyogaz tesislerinde kullanılan fermentasyon tankları yatay veya dikey inşa edilmektedir. Çiftlik tipi biyogaz tesislerinde hidrolik bekletme süresi atık türü ve ortam sıcaklığı gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Ortalama hidrolik bekletme süresi 20-40 gün arasında değişmektedir. Üretilen gaz elektrik veya ısınma ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılır. Üretilen ısı ve elektriğin yaklaşık % 10-30 miktarı çiftlik iç ihtiyaçlarını karşılarken kalan miktarın satılabilmesi mümkündür [55].

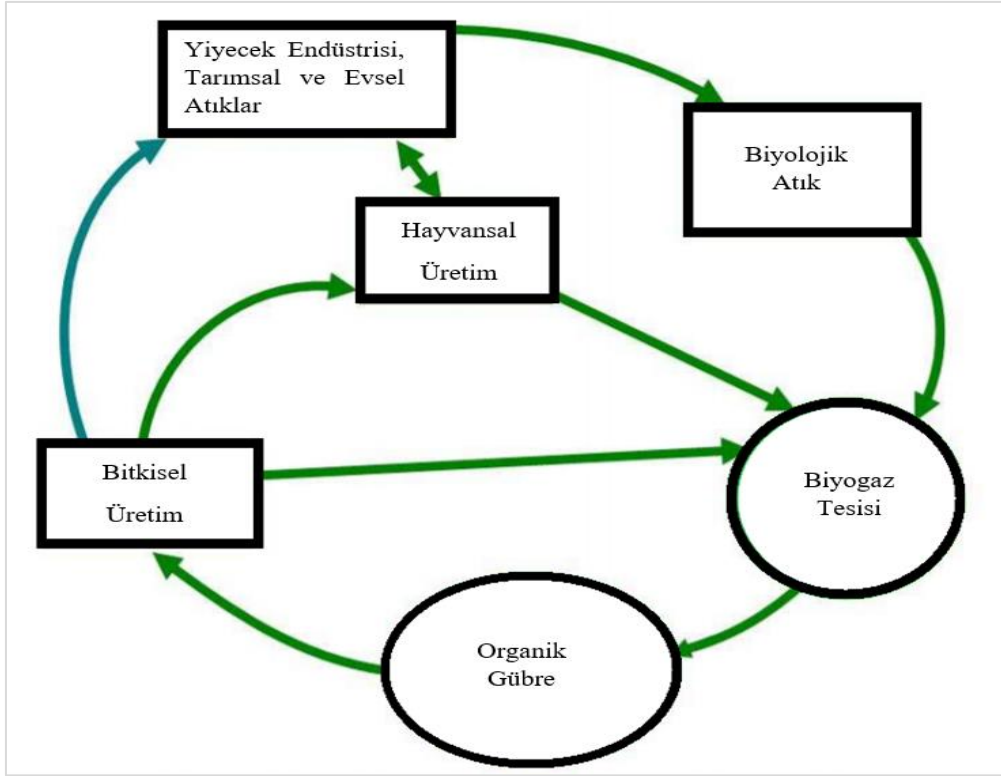
Merkezi biyogaz tesisleri

Bu tip biyogaz tesislerinde hayvansal ve bitkisel atıklar birçok çiftlikten toplanarak merkezi olan bir atık toplama alanına getirilir. Bu tesisler atık toplanılan alanlara kurulur. Bu tesislerde biyokütle ve gaz transferi sırasında oluşan tesis giderlerinin, hizmet ve zaman kayıplarının azalması amaçlanmaktadır. Sindirilebilir tarımsal atıklar, gıda ve balık endüstrisi atıkları, ayrı toplanan organik evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları bu tip tesislerde kullanılan atık türleridir. Merkezi biyogaz tesisleri hayvancılık faaliyetlerinin yaygın olduğu yerlerde sık kullanılmaktadır. Danimarka bu tip santrallerin çok kullanıldığı ülkelerden biridir. Resim 3.1’de Danimarka’da yer alan bir merkezi biyogaz tesisi gösterilmektedir.



Resim 3.1. Merkezi biyogaz tesisi (Danimarka) [55]

Atıklar kamyonlarla ön depolama tankından alındıktan sonra homojenize edilerek fermantasyon tankına gönderilir. Bu tipteki tesislerde tesise getirilen atıkların taşınma ve depolama işlemleri tesis yükümlülüğüdür. Biyogaz tesisinde oluşan gübrenin çiftçilere iletilmesi işlemi de tesis yükümlülüğüdür. Bu tip sistemlerde hidrolik bekletme süresi 15-20 gün arasındadır ve süre mezofilik ve termofilik sürece göre değişiklik göstermektedir. Besleme işlemi sürekli olarak gerçekleşir ve biyokütle karışımı pompa ile içeriye gönderilir. Aynı miktarda atık fermantasyon tankından pompa ile alınır. Merkezileştirilmiş bir biyogaz tesisine ait çalışma döngüsü Şekil 3.5'te görülmektedir [55].



Şekil 3.5. Merkezileştirilmiş biyogaz tesisinin çalışma döngüsü [55]

3.7.2. Atık su arıtma tesisleri

Bu tip tesislerde belediye atıkları anaerobik fermentasyon ile işlenir. Bu sistem nihai atık miktarının dengelenmesi ve azalması için uygulanmaktadır. Avrupa ülkelerinde kanalizasyon çamurunun % 30-70 kadarı ulusal mevzuatlara uygun olarak işlenir. İşleme tabi tutulmuş arıtma çamuru tarım arazilerinde gübre olarak veya yakılarak enerji üretiminde değerlendirilebilmektedir [55]. Resim 3.2’de Adana Seyhan bölgesinde bulunan Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi gösterilmektedir.



Resim 3.2. Seyhan atıksu arıtma tesisi (Adana-Türkiye) [57]

3.7.3. Belediye katı atık arıtma tesisleri

Dünyanın birçok ülkesinde kentsel atıklar karışık olarak toplanarak büyük enerji santrallerinde yakılır veya düzenli depolama sahalarında atılır. Bu atıkların çoğunun anaerobik fermantasyonda kullanılabilir olması sebebiyle bu işlemler enerji kaybına sebep olur. Toplu olarak toplanan bu atıklar işlenerek biyogaz üretimi için kullanılabilir.

Son yıllarda atıkların kaynağında ayrıştırma ve geri dönüşüme olan ilgi hergün artmaktadır. Hangi atık yönteminin en uygun olduğunu belirlemede organik atıkların kökeni önemlidir. Mutfak atıkları genellikle çok ıslaktır ve anaerobik ayrıştırma için uygun bir yapısı yoktur. Buna karşın bu atıklar anaerobik fermantasyon için zengin bir hammadde kaynağı olmaktadır. Öte yandan, odunsu atıklar yüksek oranlarda lignoselülozik malzeme içerir, biyogaz tesislerinde kullanılması için ön arıtma gerektiğinden kompostlama için daha uygundur.

Biyogaz üretimi için evsel atıklardan ayrılmış olan organik işlenebilir maddeler büyük bir potansiyele sahiptir. Amaç bu organik atıkları depolamak veya yakmak yerine geri dönüşüme yönlendirmektir [56].

3.7.4. Endüstriyel biyogaz tesisleri

Anaerobik prosesler bir asırdan fazla bir süredir büyük ölçüde endüstriyel atıkların ve atık suların arıtılması için kullanılmaktadır ve günümüzde gıda işlenmesi, tarıma dayalı sanayi ve ilaç endüstrisi gibi bir çok farklı alanda kullanılmaktadır. Avrupa anaerobik prosesin kullanılması konusunda lider konumdadır. Son yıllarda enerji ile ilgili kaygılar ve çevresel etkilerden dolayı anaerobik prosesin kullanımına ilişkin ilgi artmıştır. Gıda, içecek ve sanayi ürünleri endüstrilerinde atıksu arıtımı için anaerobik proses kullanılmaktadır [55].

Endüstriyel biyogaz tesisleri, toplum ve ilgili endüstriler için bir dizi fayda sağlar. Bu faydalar şu şekilde sıralanabilir [55];

- Besin geri dönüşümü sağlar ve atık bertarafı maliyetinin azaltır.
- Enerji üretimi sağlar.
- Atıklar çevre dostu bir yöntemle işlenir.

3.7.5. Çöp gazı geri kazanım tesisleri

Çöplükler, ayrışma sürecinin yaşına bağlı olmayan büyük anaerobik bitkiler olarak düşünülebilir. Çöp gazı bileşim olarak biyogazla benzerlik gösterir, ancak sahadaki atıkların ayrışmasından kaynaklanan toksik gazlar içerebilir. Çöp gazı geri kazanımı sadece çevrenin korunması ve emisyon gazlarının azaltılması için değil, aynı zamanda düzenli depolama alanının daha hızlı stabilizasyonu ve gaz kullanımından elde edilen gelirler sayesinde fayda sağlayan ucuz bir enerji kaynağıdır. Düzenli depolama sahalarının uzaklığı nedeniyle, düzenli olarak depolama sahası gazı elektrik üretimi için kullanılmaktadır, ancak alan ısıtmasından araç yakıtı ve boru hattına kadar tüm gaz kullanımları için uygundur [55].

Ankara’da bulunan ITC Katı Atık Yönetimi Resim 3.3’te gösterilmektedir [57].



Resim 3.3. ITC katı atık yönetimi (Ankara) [57]

3.8. Biyogaz Çevrimleri

Biyogaz çevrimleri biyokimyasal ve termokimyasal olarak ikiye ayrılır. Bu iki çevrimin çeşitleri şu şekildedir [58];

- Biyokimyasal Çevrimler
 - Biyometanizasyon (oksijensiz sindirim)
 - Fermantasyon
- Termokimyasal Çevrimler
 - Gazlaştırma
 - Piroлиз
 - Esterleşme
 - Doğrudan Yakma

3.8.1. Biyometanizasyon

Havasız çürütme biyolojik bir işlemdir. Mikro-organizmaların oksijensiz bir ortamda organik yapıdaki maddelerin çürütülmesi işlemidir. Bu işlem genellikle belediye katı atıklarının enerjiye çevrim sürecinde kullanılır. Oluşan biyogazın % 50-65'ini metan kalan

çoğunluğunu ise karbon dioksit oluşturmaktadır. Sürecin sonunda oluşan gaz ile gaz motorları veya türbinler kullanılarak güç ve ısı üretimi sağlanabilmektedir.

3.8.2. Fermantasyon

Fermantasyon bir maddenin bakteriler, mantarlar ve diğer mikroorganizmalar yardımı ile, genellikle ısı vererek ve köpürerek kimyasal olarak çürümesi olayıdır. Nişastanın önce şekere, daha sonra da şekerin doğrudan fermente edilmesiyle biyoetanole dönüştürülmesi ile sağlanır. Biyoetanol, hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır [59].

3.8.3. Gazlaştırma

Biyokütle gibi karbon içeriğine sahip katı atıkların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde edilmesine gazlaştırma denir. Gazlaştırma işlemi sırasında hava ile biyokütle denetimli olarak yakıt hücresine verilerek yakılır ve hidrojen, metan gibi yanabilir gazlar ile karbonmonoksit, karbondioksit ve azot oluşur [59].

3.8.4. Piroliz

Biyokütlenin 400-650°C de ısıtılarak oksijensiz ortamda enerjiye dönüştürülmesi işlemine piroliz denir. Piroliz sonucunda % 60 oranında maliyeti düşük ve kolay taşınabilir biyoyağ, % 20 oranında artık gaz olarak bilinen singaz yanıcı gazı ve % 20 oranında biyokömür meydana gelmektedir. Oluşan biyoyağ tekrar işlenebilmesi, sahip olduğu yüksek enerji ve kolay taşınabilirliği sebebiyle oldukça avantajlı bir yakıt türüdür [59].

3.8.5. Esterleşme

Esterleşme bitkisel yağın metanol veya etanol ile transesterleşmesiyle biyodizel oluşması ve önemli ölçüde de gliserin açığa çıkmasıdır [60].

3.8.6. Doğrudan yakma

Biyokütleden doğrudan yakma yöntemi ile enerji üretilmesi bilinen en eski yöntemlerden biridir. Son yıllarda daha yüksek verimli yakma sistemleri geliştirilmektedir. Yanma prosesi ile biyokütle içeriğinde bulunan yanabilir maddeler ile oksijenin hızlı kimyasal tepkimesidir. Bu kimyasal tepkime sonucunda karbondioksit, su buharı ve bazı metal oksit oluşur. Ayrıca tepkime ekzotermik olarak gerçekleşir [59].

3.9. Biyogazın Kullanım Alanları

Biyokütlenin işlenmesi ile elde edilen elektrik, ısı ve yakıt ana ürünlerdir. Biyogazın işlenmesi sonucu elde edilen organik gübre, kül ve biyokömür ise yan ürünleri oluşturmaktadır. Ayrıca biyogaz çevre dostu yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle uluslararası geçerliliğe sahip karbon sertifikası ile de gelir sağlayabilmektedir.

3.9.1. Isınma amacıyla

Biyogaz ısınma amacıyla gaz yakıtlarla çalışabilen sistemlerde kullanılacağı gibi termosifon ve şofbenlerde çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında hidrojen sülfür gazının ortama yayılımını önlemek amacıyla baca sistemi gereklidir.

3.9.2. Elektrik üretimi amacıyla

Hayvansal, bitkisel, evsel atıklardan biyogaz üretimi sağlanarak küçük veya büyük ölçekli tesisler ile elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Üretilen elektrik sadece şebekeye bağlı sistemler de kullanıldığı gibi elektrikle çalışan araçlar veya elektrik üretimi sağlayan ve gazla çalışan sistemlerde de kullanılabilir.

3.9.3. Yakıt olarak kullanmak üzere

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılmasının yanı sıra içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılabilmesi için belirli miktarda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir. Biyokütle kaynağına göre elektrik, ısı ve yakıt olarak değerlendirilen

yakıtların kullanılan çevrim yöntemleri ile uygulama alanları Çizelge 3.7.’de gösterilmektedir [61].

Çizelge 3.7. Biyokütle kaynakları, çevrim yöntemleri, yakıtlar ve uygulama alanları

Biyokütle	Çevrim Yön.	Yakıtlar	Uygulama alanları
Orman atıkları	Havasız çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Biyogaz	Sentetik yağ, Roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

3.9.4. Yan ürün olarak oluşan organik gübre

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, “Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliği”ne uygun olarak susuzlaştırma işlemi ile granül haline getirilebilir veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrede patojen mikroorganizmalar olmaması sebebiyle normal gübrelere göre daha verimlidir.

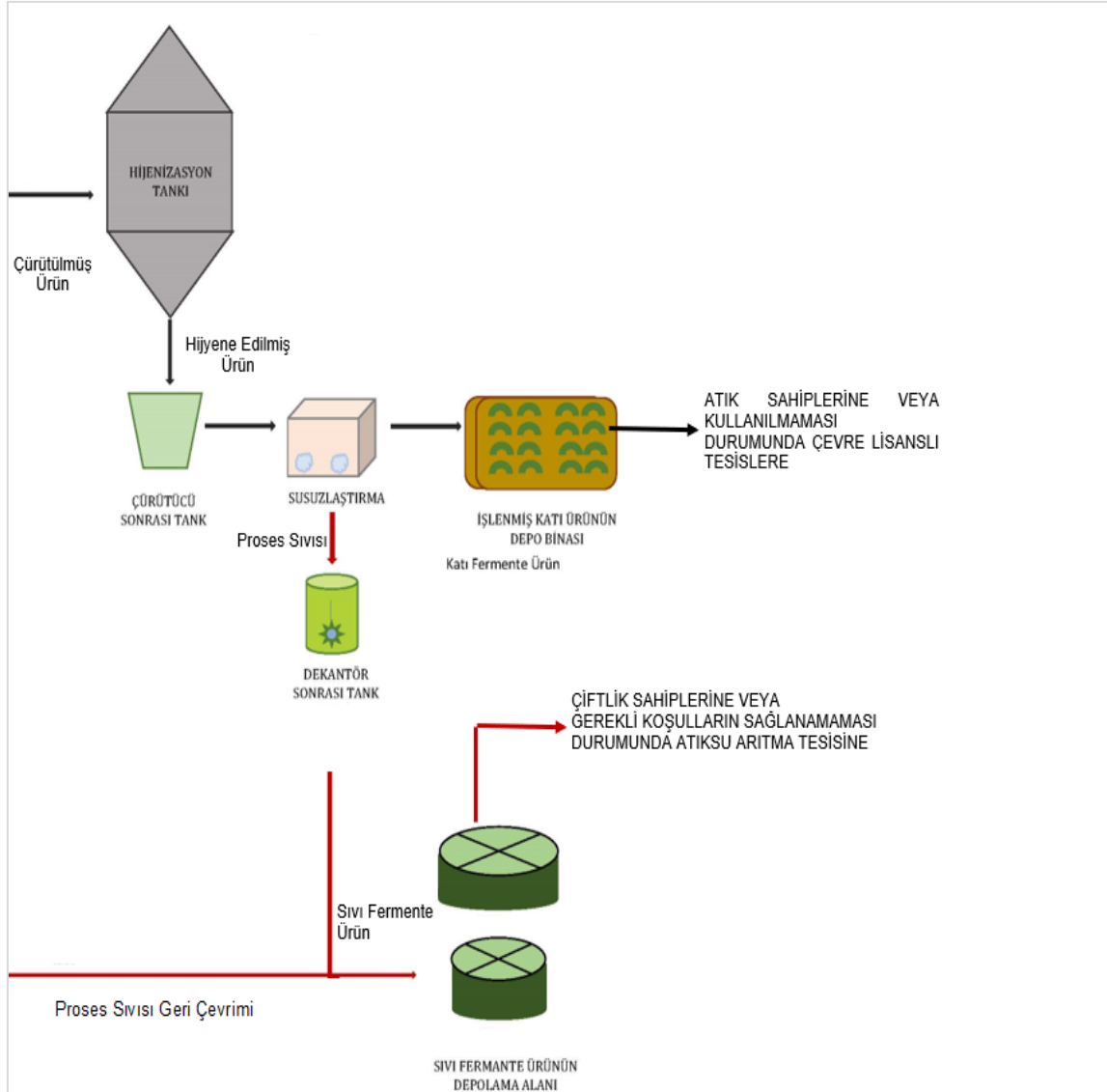
Hayvansal ve bitkisel atıklar kullanılarak kurulacak bir biyogaz tesisi için organik gübre üretim aşamaları şu şekildedir [62]:

Biyogaz santralinde hidroliz tanklarında fermente edilmiş ve metan gazı üretiminden sonra enerji üretimi için görevini tamamlamış atık çürütücünden alınarak patojen mikroorganizmalar ve yabancı ot ve tohumlardan arındırılmak üzere hijyenizasyon ünitesine

gönderilir. Bu sayede işlenmiş fermente sıvı susuzlaştırma ünitesine gönderilmeden önce son bir hijyenizasyon (pasterizasyon) işleminden geçirilmiş olur. Çürütücülerden bu tanklara dönüşümlü olarak sürekli şekilde beslenen işlenmiş sıvı fermente ürün 700 °C'de bir saat işlem gördükten sonra susuzlaştırma işlemi için hazır duruma ulaşır. Çürütücülerden sonra hijyenizasyon tanklarına ordan da çürütme sonrası tanklara alınan işlenmiş fermente ürün sıvı ve katı olarak iki farklı formda ayrılmak üzere susuzlaştırma binasında bulunan seperatör ve dekantörden geçirilir.

Çürütme ve hijyenizasyonu işlemlerinden sonra fermente sıvı sıkma pres vidalı seperatörden geçirilir. Seperatörden alınan sıvı tekrar sıkılmak üzere santrifürj yüksek devirli dekantöre gönderilerek fermente sıvının, % 1-2 kuru madde içeren fermente sıvı ürün ve % 30-35 kuru madde içeren fermente katı ürüne (torf) ayrıştırılması sağlanır. Sıvı ve katı olarak iki forma ayrılan işlenmiş gübrenin sıvı kısmı, sıvı fermente ürün depolama alanına; katı kısmı ise depolanmak ve satışa sunulmak üzere katı fermente ürün binasına alınır. Duba sistemi üzerinde yüzdürülen üst membran örtü sayesinde hem havayla temasın kesilmesi hem de az miktarda da olsa oluşan gazın toplanarak sisteme aktarılması sağlanmış olur. Bu aşamada üretilen biyogaz bir hat sayesinde çürütücülerin üzerindeki gaz depolama alanına aktarılarak sisteme dahil edilir.

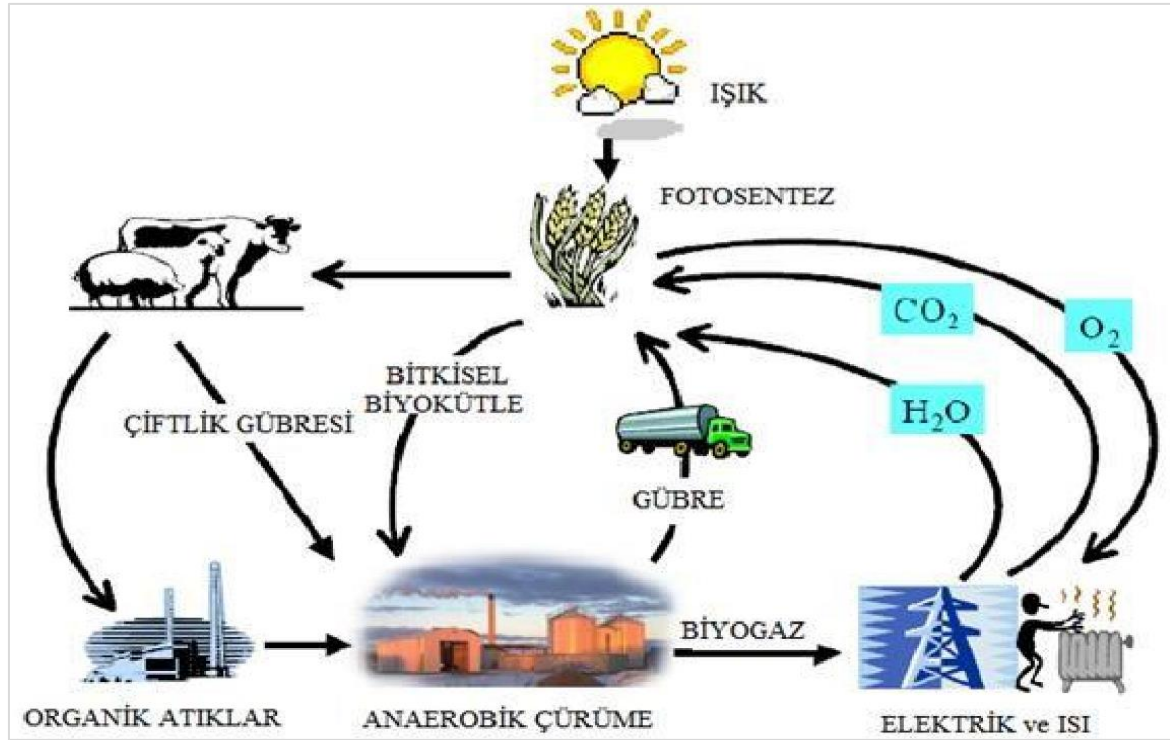
Katı fermente ürünün hemen hemen tamamı susuzlaştırma çıkışı tekrar atık sahiplerine verilir. Sıvı fermente ürünün ise tamamı arazilerine serilmek üzere çiftlik sahiplerine verilir. Bu ürünlerin çiftlik sahiplerine verilebilmesi için ilgili mevzuat kapsamında Tarım ve Orman Bakanlığı'nın onayı alınır. Tesisin biyogaz üretiminden sonra çürütülmüş ürünün işlenerek katı ve sıvı fermente ürün oluşumunu içeren akış şeması Şekil 3.6.'da gösterilmektedir [62].



Şekil 3.6. Fermente ürün üretim akış şeması [62]

3.10. Biyokütlenin Çevreye Etkisi

Biyogaz fosil yakıtların aksine sera gazı salınımına sebep olmaz. Bu nedenle çevre dostudur. Biyogaz üretiminde yakıt olarak kullanılan gübre CH_4 üretmektedir ve CH_4 çevreye zarar vermektedir. Biyogaz santralleri sayesinde gübrenin işlenerek elektrik, ısı veya yakıt üretilmesinin yanı sıra gübre organik fermente ürüne dönüştürülerek çevreye yararlı ve verimli bir gübreye dönüştürülmüş olur. Ayrıca hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır. Çevre dostu sürdürülebilir yaşam sağlayan biyogaz döngüsü Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Biyogaz döngüsü [63]

3.11. Biyogaz Santrali Ekipmaları

Hayvansal ve bitkisel atıkların kullanılacağı bir biyogaz tesisi için gerekli ekipmanlar ve özellikleri Çizelge 3.8’de yer almaktadır [62].

Çizelge 3.8. Biyogaz santrali ekipmanları [62]

Birim	Açıklama
Hidroliz Tankı	Dikey Tip Üstten Tam Karıştırmalı
Çürütücü	Dikey Tip Üstten Tam Karıştırmalı Tank Tipi Çürütücü
Karıştırma Tankı (Ön Atık Kabul Tankı)	Gelen Atıkların Kabul Edildiği, Katı Ve Sıvı Atıklar İçin Besleme Hazırlama Tankı
Tavuk Dışkısı Dengeleme Havuzu	Betonarme Yapı
Atık Kabul Birimi	Uzun Vadede 1 Hafta - 1 Aylık Beslenecek Bitkisel Katı Atıkların Depolanacağı Üzeri Örtülü Alan
Makina Odası	Merkezi Pompalama Sistemi- Isı Dağıtım Sistemi, Isı Değiştiriciler Ve Kontrol Panellerinin Bulunduğu Alandır.
Makina Odası	Merkezi pompalama sistemi- ısı dağıtım sistemi, ısı değiştiriciler ve kontrol panellerinin bulunduğu alandır.
İdari Bina Ve Kojenerasyon, Kontrol Binası	Kullanım alanı 1000 m ²
Susuzlaştırma Binası	Seperatör ve dekantörün yer aldığı binadır.
İşlenmiş Katı Fermente Ürün Depolama Binası	Seperatör çıkışı işlenmiş katı fermente ürünün depolanıp sevkedildiği binadır.
Sıvı Fermente Ürün Depolama Alanı	Seperatör ve dekantör çıkışı işlenmiş sıvı fermente ürünün depolandığı alandır. sıvı fermente ürün depolama alanının üzeri yüzer bir membran örtü ile kapatılmıştır.
Sıvı Fermente Ürün Depolama Alanı	Seperatör ve dekantör çıkışı işlenmiş sıvı fermente ürünün depolandığı alandır. Sıvı fermente ürün depolama alanının üzeri yüzer bir membran örtü ile kapatılmıştır.
Harici Biyogaz Deposu	Çift kat membran hava destekli şişme biyogaz deposu hacim çalışma basıncı
Flare	Güvenlik ateşi; üretilen biyogazın gaz motorlarında kullanılmadığı zamanlarda güvenli bir şekilde yakılarak berteraf edildiği ünitelerdir.
Proses Sıvısı Dengeleme Ve Çevrim Tankı	Seperatör ve dekantör çıkışı inceltilmiş sıvının Seyreltme amaçlı karıştırma tanklarına gönderilmeden önce depolandığı tanktır.
Seperatör Sonrası Tank	Seperatör Ve Dekantör Çıkışı İnceltilmiş Sıvının Sıvı Fermente Ürün Depolama Alanına Ve Proses Sıvısı Çevrim Tanklarına Gönderilmeden Önce Depolandığı Tanktır
Çürütücü Sonrası Tank	Son Çürütücüden Gelen İşlenmiş Fermente Ürünün Seperatörlere Gönderilmeden Önce Depolandığı Tanktır
Hijyenizasyon Ünitesi	Pasterizasyon Ünitesi 8x25 m ³ Paslanmaz Çelik Tam Karıştırmalı Ve Isıtmalı Hijyenizasyon Tankı
Biyofiltre	Karıştırma Tankı - 1 Üzerinde Bulunan Çıkması Muhtemel Kötü Kokuları Filtre Eden Doğal Reçine Yapıdır.
Tekerlek Yıkama Ünitesi	
Giriş Kontrol Binası	
Kantar	

Biyogaz Santrallerinde Maliyet Analizi

Biyogaz santrallerinin yatırım maliyetinin belirlenmesinde rol oynayan giderler şu şekildedir:

- Santralin kurulacağı arazi-arsanın maliyeti
- Bina-inşaat maliyeti
- Makine-ekipman maliyeti
- Proje mühendislik ve danışmanlık hizmetleri maliyeti
- Alınacak izin ve onaylar için gerekli ödemeler

Bu maliyetler her proje için farklılık gösterebilecek maliyetlerdir. Projenin yatırım tutarının belirlenmesinde rol oynayan bu giderler kurulacak tesisin lokasyonu, kullanılacak ekipmanların materyal cinsi, tesisin kurulu gücü gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir.

4. YANMA VE OKSİ YANMA

4.1. Yanma

Yanma, yakıtların havadan elde edilen oksijen kullanılarak hızlı oksidasyonu ile ısı ve sıcak yanma ürünlerinin oluştuğu bir kimyasal reaksiyondur. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen sağlandığı durumda yakıtlar çoğunluk olarak CO_2 ve H_2O 'ya dönüşür [64]. Ayrıca düşük oranda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri de açığa çıkmaktadır. Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında oluşur. Bu sebeple en kolay yanma gaz yakıt türlerinde, en zor yanma ise katı yakıt türlerinde meydana gelmektedir. Yanma reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için üç temel aşama vardır. Bunlar;

- Türbülans (karışım oluşturma süreci)
- Sıcaklık (tutuşma süreci)
- Zaman (yanmanın tamamlanması süreci)

Bu gerekliliklerin sağlanabilmesi için, yakıt ve havanın en iyi şekilde içiçe karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, yanıcı karışım sıcaklığının tutuşturma sıcaklığından yüksek hale getirerek yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanıncaya kadar yanıcı karışımın sıcaklığı, tutuşma sıcaklığından yüksek olan yanma odasında kalması şartının oluşturulması gerekir. Bu aşamaların üçüde aynı zamanda, karşılıklı etkileşim içinde ve çok karmaşık oluşum mekanizmalarıyla meydana gelir [65].

Yanma sırasında kullanılan gerçek hava miktarı ile yakıtın yanması için gerekli stokiometrik (teorik) hava miktarının birbirlerine oranları hava fazlalık katsayısını verir. Yanma reaksiyonunun tam olarak oluşabilmesi için yanma odasına teorik hava miktarından bir miktar fazla hava gönderilir [64, 66]. Yanmanın tam olarak gerçekleşmesi işletmenin ekonomik olma durumunu etkiler. Kötü yanma olayı kayıpların artmasına ve ısı ekonomisinin düşmesine yol açacaktır. Yanmış gazların miktarı yanmanın eksik veya tam olduğunu gösterir. Yanma çalışmalarında, hava fazlalık katsayısı kazanlar için en kritik işletme parametresidir. Yakıtı yakmak için gerekli teorik miktarlar stokiometrik oksijen ve buna karşılık olan stokiometrik hava miktarlarıdır. Uygulamalarda, genellikle bu miktardan daha fazla hava verilmesi gerekir. Teorik (stokiometrik) hava-yakıt oranı 1kg yakıtı yanması için gereken havanın kütlesi olarak ifade edilir [64, 67, 68].

4.2. Oksi Yanma ve CO₂ Tutulması

Oksi-yakıt yanma, fosil yakıtların hava yerine oksijenle zenginleştirilmiş bir gaz karışımı ile yakılması işlemidir. Bu, esas olarak CO₂ ve H₂O içeren bir baca gazının yanı sıra argon ve oksijen gibi küçük bir kirlilik konsantrasyonu ile sonuçlanır. Bu şekilde, oksi-yakıt yanma işlemi, doğrudan fiziksel sıkıştırma ve soğutma teknikleriyle (düşük sıcaklıkta bir ayırma / damıtma işlemi gibi) CO₂ salınımının azalmasını sağlar. Oksi yanmanın avantajları;

- CO₂ salınımını azaltır
- Azalan baca gazı akışı sayesinde emisyon kontrolü sağlar
- Reaktör hacminin küçülmesini sağlar

Oksi yakıtla yanma, yanma sürecinde birincil oksidant olarak hava yerine saf oksijeni kullanan sistemlerdir. Yakıt saf oksijenle yakıldığında, yakıtın alev sıcaklığı klasik yakma işleminden daha yüksek olmaktadır. Oksi yanma sürecinde havadaki azot bileşenleri ısınmadığından dolayı, yakıt tüketimi düşmekte ve yüksek alev sıcaklıkları mümkün hale gelmektedir. Bununla birlikte, bu durum yakıcının ve yakıcı duvarların aşırı ısınmasına neden olabilmekte ve malzemenin sıcaklığa dayanıklılığı açısından sorun teşkil edebilmektedir. Bu nedenle yakıcı üzerinde bir modifikasyon yapılması ve yakıcının daha dayanıklı malzemelerden yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bazı sistemlerde ise yanma odasında ortaya çıkan yüksek sıcaklığı düşürmek amacı ile baca gazının bir miktarı yanma ortamına geri yollanarak saf oksijenli ortam seyreltilmektedir. Geri dönüşüm miktarının ne kadar olması gerektiği konusunda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Oksi yanma prosesinde CO₂ ayırma tekniği uygulanan sistemlerde bu miktarın baca gazı debisinin 2/3'ü kadarının devri daim yapılması gerektiği belirtilmiştir [69].

Enerji üretiminde karbondioksit emisyon miktarının azaltılabilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Karbondioksiti tutma, taşıma ve depolama konusunda iklim değişikliğiyle mücadelede etkin rol alabilmek için çalışmalar yoğun bir şekilde yürütülmektedir. Karbondioksit tutmanın amacı yüksek basınçta yüksek konsantrasyonda bir depolama sahasına nakledilebilecek bir karbondioksit akışı elde etmektir. Fosil yakıtların yakılmasıyla açığa çıkan karbondioksit miktarının hedeflenen emisyon değerlerinde tutulması için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Buna karşın karbondioksit tutulmasında temel olarak üç

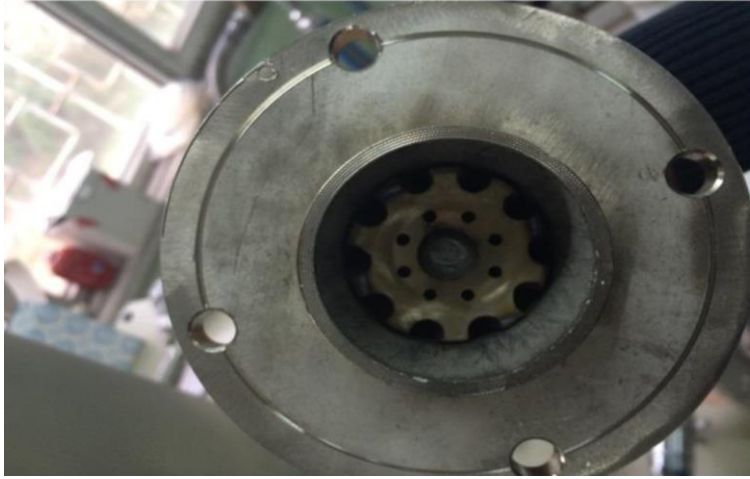
değişik yöntem mevcuttur. Bunlar; yanma sonrası yakalama, yanma öncesi yakalama ve oksijen yakma sistemleri ile yakalamadır.

Yakıtların oksijen zengin ortamda yakılarak karbondioksit emisyonlarının azaltılmasında gelecek vadede yeni bir teknoloji olarak yerini almıştır. Bu teknoloji ile, normal hava yerine oksijen zengin hava, ya da saf oksijen ile yakma gerçekleştirilerek baca gazındaki karbondioksit konsantrasyonunun artırılması amaçlanmaktadır. Bu sayede, hava içinde yüksek oranda bulunan azot (hacimce % 79) büyük ölçekte bertaraf edilmekte ve yakıt azotun azaltıldığı atmosferde yakılmaktadır. Azot oranının düşük, karbondioksit oranının yüksek olduğu bir baca gazının elde edilmesi, karbondioksit tutma teknolojisinde enerji ve yatırım maliyetlerinin büyük ölçüde düşmesini ve karbondioksitin kolayca tutulabilmesini sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda karbondioksit tutulması, oksijen yanma ile oluşan karbondioksit zengin baca gazlarından karbondioksitin ayrılmasında yeni bir teknoloji olarak yerini almıştır. Karbondioksitin kriyojenik olarak tutulması, baca gazındaki karbondioksitin faz değişikliği için gereken gazların sıkıştırılması ve soğutulması aşamalarından oluşmaktadır. Operasyon koşullarına göre karbondioksit katı ya da sıvı halde tutulabilmektedir. Kriyojenik karbondioksit ayırma prosesinin en önemli yararlarından biri, karbondioksitin saf halde sıvı formda elde edilmesi ve böylece sıvı formdaki karbondioksitin taşınmasının kolaylığıdır [70].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Düzenegi

Yakma deneyi yakıtı farklı ısı değer aralıklarında yakabilecek kesitlerde tasarlanmış olan Resim 5.1’de gösterilen brülörlerde yapılmıştır.



Resim 5.1. Ön karışimsız metan brülörü

Brülörün bağlanacağı yanma odası aksenal olarak belli aralıklarla prob deliklerine sahiptir. Bu sayede yine farklı ısı değerlerde emisyon gazı ve sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Yanma odası 0,4 metre çapında ve 1 metre uzunluğundadır. Yanma odası paslanmaz çelikten yapılmış olup, kumlama tekniği ile görüntüsü estetik olarak iyileştirilmiştir. Resim 5.2’de görüleceği üzere yanma odası girişinden itibaren 0,1 m, 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m ve 0,9 m’de ve bacada olmak üzere 6 adet prob delikleri bulunur. Bu delikler ile yanma odası içerisindeki aksenal ve radyal yöndeki sıcaklık ve emisyon değerleri alınarak metan ve biyogazların yanma karakteristikleri karşılaştırılabilmektedir. Resim 5.2’de gösterilen yanma odasının alev bölgesini görebilmek için, yanma odası üzerine bir adet gözetleme camı bulunmaktadır. Bu gözetleme camı, yüksek sıcaklıklara dayanabilen temperli camdan üretilmiştir.



Resim 5.2. Yanma odası

Yakma sisteminin güvenliğini sağlamak için sistemde bir adet kontrol panosu bulunmaktadır. Resim 5.3'te gösterilen kontrol panosu gaz hattında bulunan selenoid ventillerin açma/kapama işlemlerinin yanı sıra pilot hattını devreye alıp çıkarma ve yanma odasının baca kısmına bağlanmış olan PT-100 tipi bir termokupldan aldığı verilere göre, set edilen değeri doğrultusunda sistemi, güvenlik açısından kapatma görevlerine sahiptir.



Resim 5.3. Kontrol panosu



Resim 5.4. Gaz hattı ve bu hatlardaki armatürler ve Yakma havası hattı

Resim 5.4'te brülörlere gaz beslemesi yapmak için tasarlanan gaz hatları ve bu hatlarda kullanılan armatürler ile yakma havası hattı görülmektedir. Metan ve biyogazların yanmasını gerçekleştirecek olan yakıcı hava beslemesi bu hat ile yapılmaktadır.



Resim 5.5. Hava kompresörü

Yakma havasının beslenmesini sağlamak için, sisteme entegre edilmiş Resim 5.5'te gösterilen bir kompresör bulunmaktadır. Yüksek basınçta hava depolanması ve yanma işlemi sırasında gerekli hava debisinin hatta beslenmesi için kullanılmaktadır. Yüksek basınçta gelen hava, hatta olması gereken basınca düşürülebilmesi için hava hattının girişinde pnömatik regülatör bulunmaktadır.



Resim 5.6. Taşınabilir baca gazı analizörü

Yanma odası boyunca sıcaklık ve emisyon değerleri için Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Resim 5.6’da gösterilen taşınabilir baca gazı analizörü ve özellikle alev bölgesinden alınacak ölçümler için tasarlanan yüksek sıcaklığa dayanıklı seramikten yapılmış Resim 5.7’de gösterilen gaz probu kullanılmıştır.



Resim 5.7. Seramik uçlu gaz probu

5.2. Biyogaz Üretimi

Ankara İli, Sincan İlçesinde yer alan 3,2 MWe kurulu gücündeki “De Solar 7 Biyogaz Santrali”nde kullanılan atığın biyogaz üretimi hesaplanmıştır.

Öncelikle tesiste kullanılan hayvansal ve bitkisel atıkların biyokütle karakterizasyonları yapılmıştır. Büyükbaş hayvan dışkısı numunesine ait biyokütle karakterizasyonu değerleri aşağıdaki gibidir;

Toplam Nem İçeriği: % 80 (kütlece w/w)

Toplam Kuru Madde İçeriği : % 20 (% 80 organik madde, % 20 kül ve sabit karbon)

Organik Kuru Madde içeriği: % 16

C/N oranı (Kuru madde bazında): 18

Kuru yükün organik madde içeriği: % 80

Biyogaz verimi: 345 ml biyogaz / beslenen gr organik madde

Analiz edilen büyükbaş hayvan atığının 1 tonu içerisinde:

Toplam kuru madde ve su miktarı: $1 \times 0,2 = 0,2$ ton kuru madde, 0,80 ton su bulunmaktadır.

Toplam organik kuru madde: $1 \times 0,16 = 0,16$ ton organik kuru madde bulunmaktadır.

Tarımsal kaynaklı atıklar ve mısır silağı numunesine ait biyokütle karakterizasyonu değerleri aşağıdaki gibidir;

Toplam Nem İçeriği: % 66

Toplam Kuru Madde İçeriği : % 34 (% 94 organik madde, % 6 kül ve sabit karbon)

Organik Kuru Madde içeriği: % 32

C/N oranı (Kuru madde bazında): 52

Kuru yükün organik madde içeriği: % 94

Biyogaz verimi: 620 ml biyogaz / beslenen gr organik madde

Analiz edilen bitkisel atıkların 1 tonu içerisin de:

Toplam kuru madde ve su miktarı: $1 \times 0,34 = 0,34$ ton kuru madde, 0,66 ton su bulunmaktadır.

Toplam organik kuru madde: $1 \times 0,32 = 0,32$ ton organik kuru madde bulunmaktadır.

Tesiste günlük yaklaşık 420 ton büyükbaş hayvan dışkısı ve atıkları ile 20 ton bitkisel kaynaklı atık kullanılmaktadır.

Bu atık miktarlarına göre biyogaz üretimi hesabı ve değerleri izelge 5.1’de verilmiştir:

Büyükbaş hayvan dışkısı ve atıkları;

Kuru Madde Miktarı: Toplam atık miktarı x Toplam kuru madde içeriği=420 x 0,2=84 ton/gün

Organik Kuru Madde Miktarı: Kuru Madde Miktarı x Kuru yükün organik madde içeriği=84 x 0,8 = 67,2

Üretilen Biyogaz Miktarı = Organik Kuru Madde Miktarı (ton/gün) x Biyogaz Verimi (m³ biyogaz/ton OKM) = 67,2 x 345 = 23 184

Tarımsal kaynaklı bitkisel atıkları için;

Kuru Madde Miktarı: Toplam atık miktarı x Toplam kuru madde içeriği=20 x 0,34 = 6,8 ton/gün

Organik Kuru Madde Miktarı: Kuru Madde Miktarı x Kuru yükün organik madde içeriği=6,8 x 0,94 = 6,4

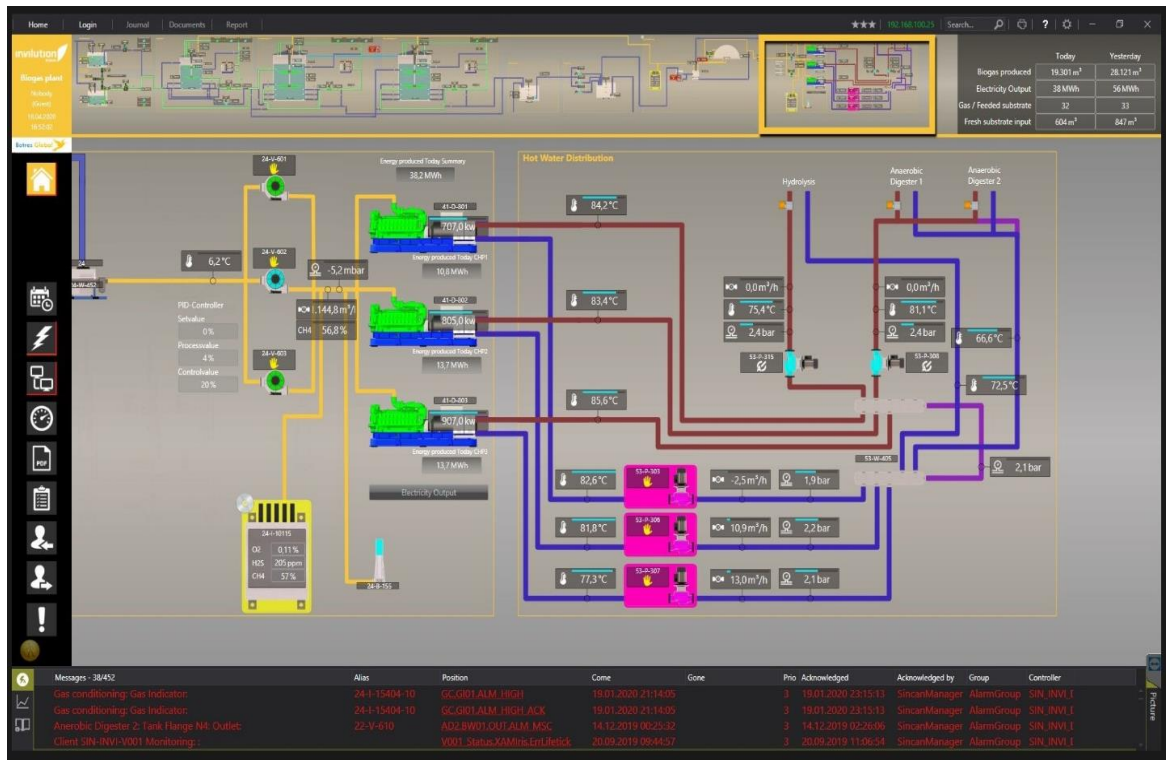
Üretilen Biyogaz Miktarı = Organik Kuru Madde Miktarı (ton/gün) x Biyogaz Verimi (m³ biyogaz/ton OKM) = 6,4 x 620 = 3 965

Çizelge 5.1. Biyogaz üretim tablosu

Ham Madde (Atık) Cinsi	Taze (Yaş) Girdi Miktarı Ton/Gün	Kuru Madde Oranı % Kütlece	Kuru Madde Miktarı Ton/Gün	Organik Kuru Madde Oranı % Kuru Maddede Kütlece	Organik Kuru Madde Miktarı Ton/Gün	Biyogaz Verimi m ³ biyogaz/ton OKM	Üretilen Biyogaz Miktarı (İçerik)	
							m ³ /gün	Metan oranı(%)
Büyük Baş Hayvan Dışkısı ve Atıkları	420	20	84	80	67,2	345	23 184	59
Tarımsal Kaynaklı Bitkisel Atıklar	20	34	6,8	94	6,4	620	3 965	52,5
Toplam	440	20,6	90,8	81	73,6	369	27 149	58

Hesaplama da kullanılan metan gazı yüzdesi ile tesiste 19.04.2020 tarihinde kullanılan atığın metan gazı yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Buna tesiste üretilen biyogazın metan gazı yüzdesi % 56,8 olduğu görülmüştür. Tesiste kullanılan atıktan üretilen biyogazın metan oranı günlük kullanılan atığın türüne, içeriğindeki hayvansal ve bitkisel atık oranlarına göre değişebilmektedir. Ayrıca toplanılan gübrelere yağmurlu veya karlı havalarda su karışabildiği için hava şartları da atıktan üretilen biyogazın metan içeriğini etkilemektedir.

Söz konusu tarihte alınan metan gazı yüzdesini de gösteren scada ekran çıktısı Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. De Solar 7 Biyogaz Enerji Santrali scada ekran çıktısı

Biyogaz tesisinde kullanılan atıkların girdi olarak sağlayacağı kuru madde, organik kuru madde ve bu değerlere karşılık gelen biyogaz verimliliği ile gaz üretim değerleri Çizelge 5.1. 'de verilmiştir. Üretilen metan gazına göre yıllık olarak üretilecek elektrik miktarı hesabı aşağıda yer almaktadır:

Üretilen Biyogazın Alt Isıl Değeri = Metan gazının alt ısıl değeri x Biyogazın Metan oranı

Üretilen Biyogazın Alt Isıl Değeri = $36,0 \text{ MJ/Nm}^3 \times 0,58 = 20,88 \text{ MJ/Nm}^3$, Normal şartlar altında(sıcaklık ve basınç)

Gaz Motoru Elektrik Verimi (Tesiste kullanılan) = % 40,2 (tam yükte) = % 39 (% 75 yükte)

Kurulu Elektrik Üretim Gücü = $3 \times 1.067 \text{ kW}_e = 3.201 \text{ kW}_e$

Günlük Ortalama Çalışma saati = Üretilen biyogaz x Verim x Isıl değer /3,6/Kurulu güç (3,6 Çevrim faktörü; 1kwh=3,6 MJ)

Günlük Ortalama Çalışma saati = $27\,149 \text{ m}^3 \times 0,39 \times 20,88 \text{ (MJ/m}^3) / 3,6 / 3201 \text{ kW}_e = 19,18$ saat

Yıllık Ortalama çalışma saati = 7.000 saat (% 80 Kapasite faktörü)

Yıllık Elektrik enerjisi üretimi = $3,201 \text{ kW}_e \times 7.000 \text{ saat} = 22\,407\,000 \text{ kWh}$

Tesiste paslanmaz çelikten üretilmiş, üstten karıştırıcılı ve alt borulama sistemli 4900 m^3 hacimli bir adet hidroliz tankı ve 9600 m^3 hacimli 2 adet çürütücü tank bulunmaktadır. Toplam 3 adet tank Resim 5.8’de gösterilmektedir. Tesiste yaşanabilecek en büyük sorun çürütücülerin taşması ve bunun sonucunda oluşabilecek büyük sorunlardır. Bu nedenle bütün çürütücüler üstten malzeme taşıma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılıdır.

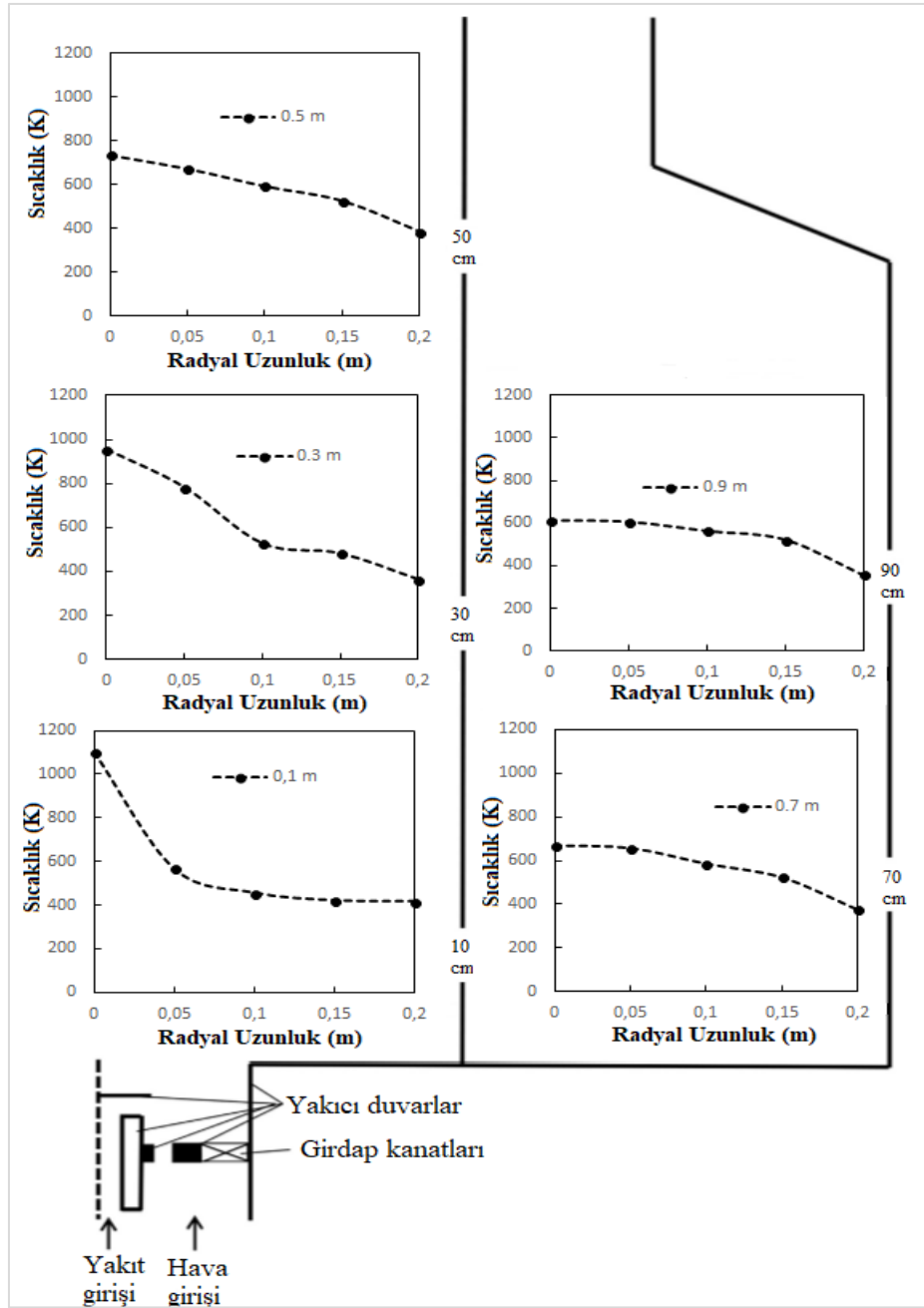


Resim 5.8. De Solar 7 Biyogaz Enerji Santralinde bulunan çürütücü ve hidroliz tankları

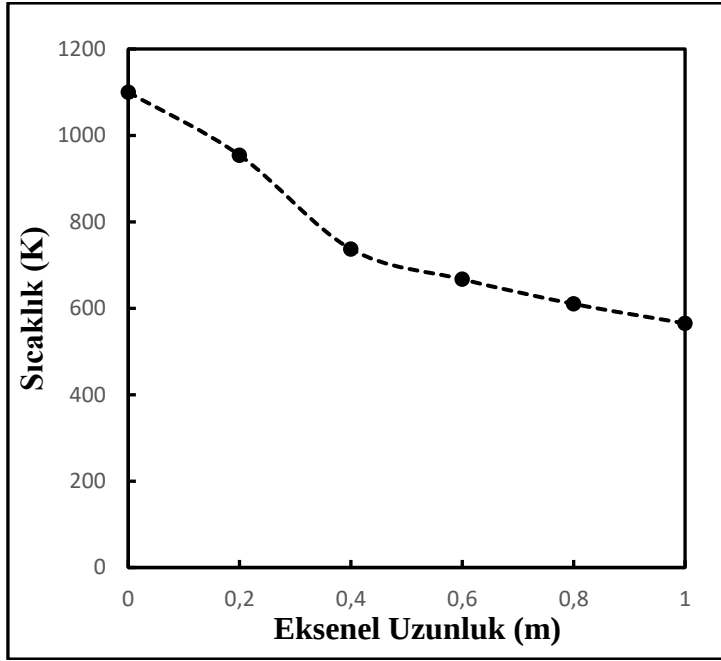
5.3. Biyogaz ile % 40 O₂ - % 60 CO₂ Karışımının Yakılması

Deneyisel çalışmada Resim 5.2’de gösterilen yanma odasında % 55 CH₄ içeren biyogaz yakıtı ile % 40 O₂ - % 60 CO₂ oksitleyici karışımı yakılmıştır. Yakıt debisi 1,95 m³/h oksitleyici debisi 7,56 m³/h olarak ölçülmüştür. Yanma reaksiyonu sırasında oluşan sıcaklıklar yanma odasının eksenel olarak 5 farklı prob deliğinde ve her prob deliğinin radyal olarak 5 farklı noktasında ölçülmüştür.

Şekil 5.2’de deneyisel olarak % 55 CH₄ içeren biyogaz ile % 40 O₂ - % 60 CO₂ yanması sonucu oluşan sıcaklık değerlerinin radyal olarak dağılımları, Şekil 5.3’te ise sıcaklıkların eksenel yönde ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Deneysel radyal sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 5.3. Deneysel eksenel sıcaklık dağılımı sonuçları

Deneysel sonuçlara göre radyal olarak yanma odası ekseninden yanma odasının duvarı doğrultusunda sıcaklık düşme eğilimi göstermektedir. Ayrıca eksenel olarak yakıt girişinden itibaren yanma odasının bacası doğrultusunda yükseklik boyunca sıcaklığın düştüğü gözlenmiştir.

5.4. Yanmanın Sayısal Modellemesi

CFD (Computational Fluid Dynamics) veya Türkçe olarak HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), temel olarak akışkan davranışının etkili olduğu problemlerin, sayısal metot ve algoritmalar ile bilgisayar üzerinde çözülerek analiz edildiği, akışkanlar mekaniğinin bir dalıdır. Günümüzde endüstriyel işletmelerde ve Ar-Ge çalışmalarında birçok işlem ve cihazların simülasyonunda yararlı çözümler sunarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada, ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Ansys Fluent yazılımı kullanılmıştır. k- ϵ standard türbülans modeli, türbülans modeli olarak seçilmiş olup, üç boyutlu sayısal modellemeler için PDF/Mixture Fraction yanma modeli ve P-1 radyasyon modeli kullanılmıştır.

Bu çalışmada, referans alınan brülör ve model yanma odasında yanma analizi parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler;

- Model yanma odası geometrisi,
- CFD modellemesi,
- Kullanılan biyogazların temel özellikleri,
- Analizler için belirlenen sınır şartları,

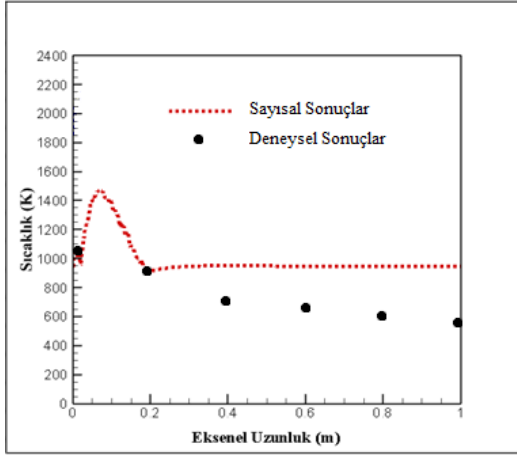
şeklinde sıralanır. Bu parametrelere göre yapılan sayısal modelleme ile yanma odasının sıcaklık dağılımı ve emisyon performansının tahmini gerçekleştirilmiştir.

Sayısal modelleme % 55 CH₄, % 1,53 N₂, % 0,3 O₂, % 43,1 CO₂ ve % 0,7 H₂S içeriğine sahip biyogaz ile iki farklı oksitleyici kullanılarak tekrarlanmıştır. Bu oksitleyiciler ve akış hızları şu şekildedir;

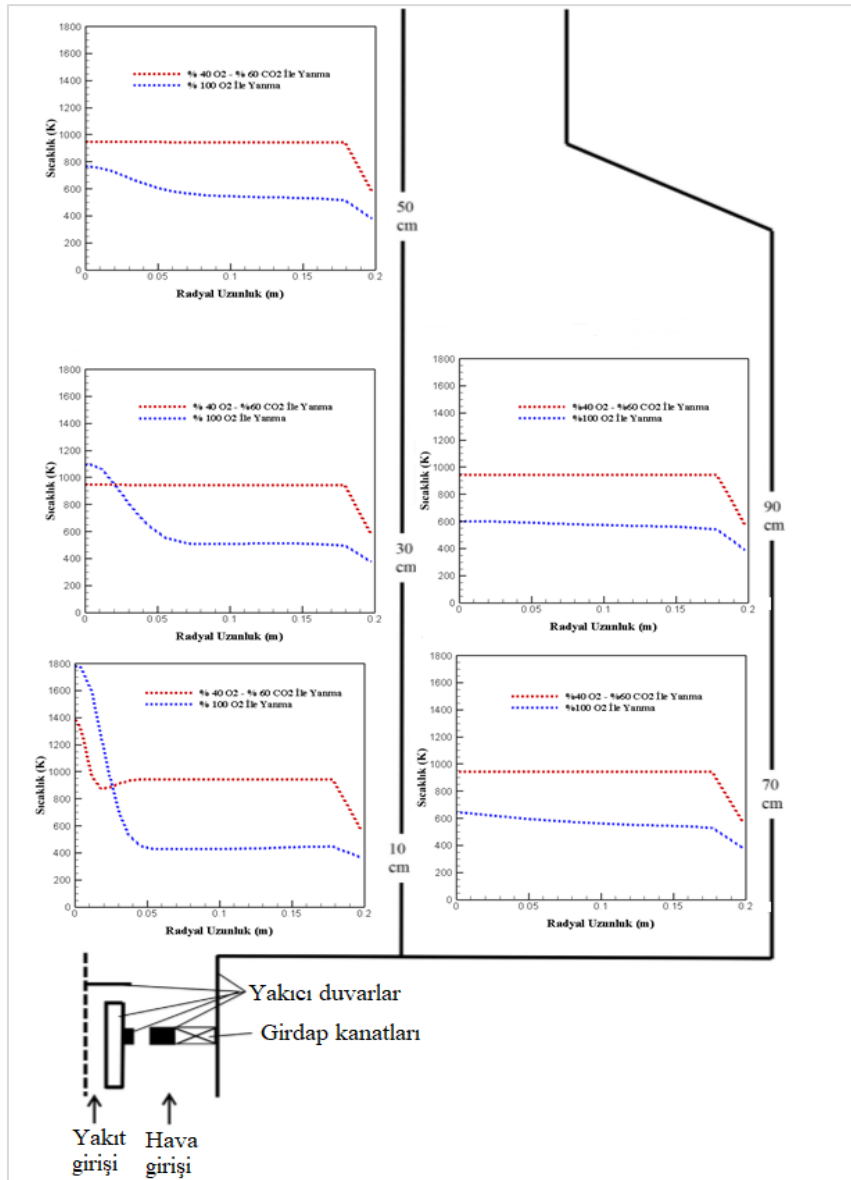
- % 40 O₂ - % 60 CO₂ - 1,038 m/s
- % 100 O₂ – 0,545 m/s

% 40 O₂ - % 60 CO₂ oksitleyicisi ile dağıtılmış yanmanın deneysel çalışması tekrarlanmış ve % 100 O₂ oksidantı ile oksi yanma karakteristikleri elde edilerek dağıtılmış yanma karakteristikleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Sıcaklık, O₂, CO₂, CO and NO_x dağılımları eksenel ve radyal yönde incelenmiştir.

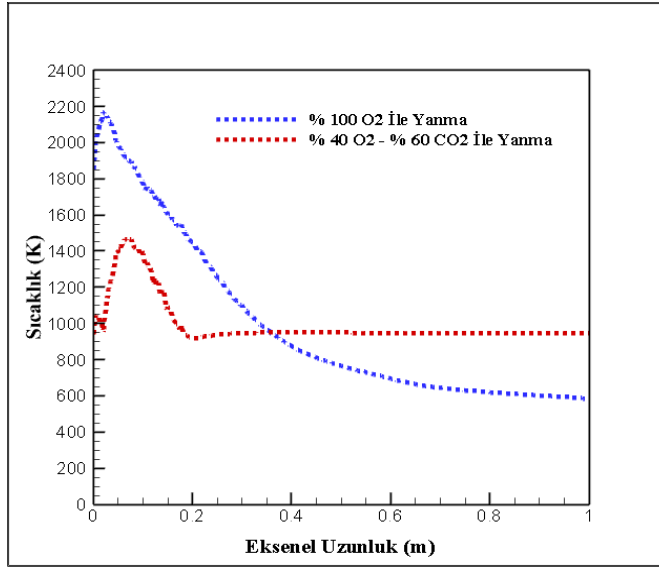
Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen eksenel sıcaklık dağılımı ile aynı koşullarda gerçekleştirilen sayısal modelleme tahminlerinin karşılaştırma grafiği şekil 5.4.'te gösterilmektedir. Buna göre deneysel sıcaklık değerlerinin sayısal modelleme tahminlerine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ancak eksenel uzunluk boyunca sıcaklığın değişme eğrisi benzerlik göstermiştir. Her iki analizin değerleri eksenel yakıt girişinden itibaren baca boyunca eksenel yönde düşüş eğiliminde olmuştur.



Şekil 5.4. Deneysel ve sayısal eksenel sıcaklık dağılımları

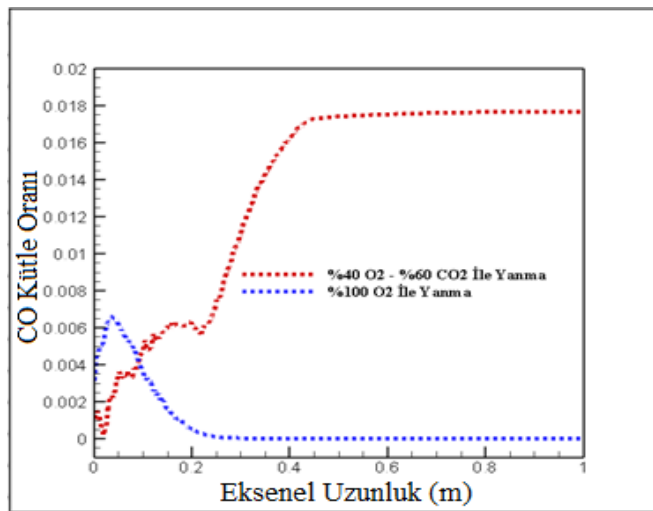


Şekil 5.5. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal sıcaklık dağılımları

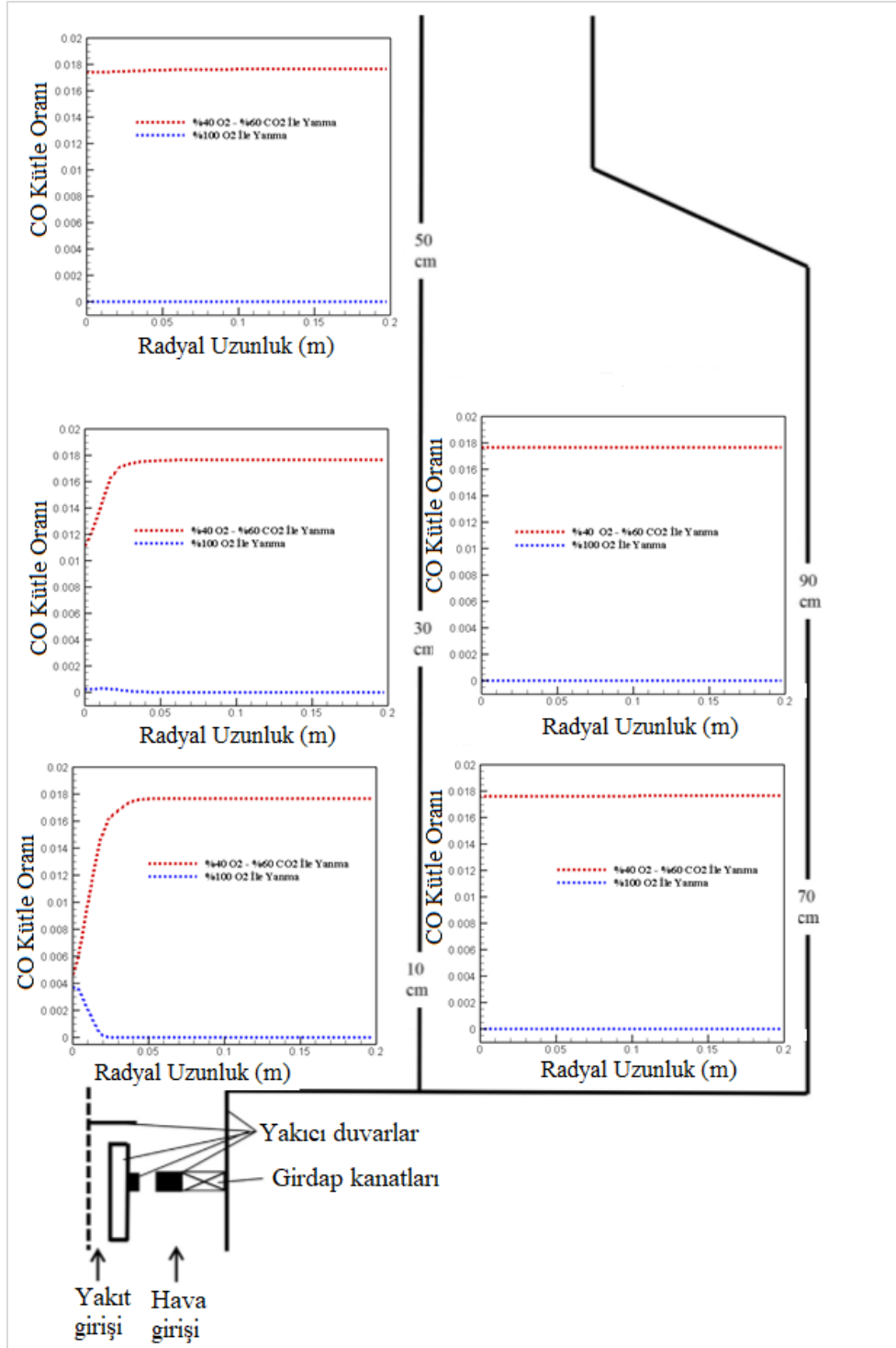


Şekil 5.6. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için aksel sıcaklık dağılımları

Oksitleyici olarak % 40 O₂ - % 60 CO₂ karışımının kullanıldığı dağıtılmış yanma ve % 100 O₂ kullanıldığı oksijen yanma için radyal ve aksel olarak sıcaklık dağılım grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.5'te görüldüğü üzere aksel hızda 10 cm ve 30 cm'de alınan radyal değerlerde % 100 O₂ içeren oksitleyicinin kullanıldığı oksijen yanma tahminlerinin dağıtılmış yanmaya göre yüksek olduğu görülmüştür. Her iki yanmada içinde sıcaklık değerleri yakıtın giriş yaptığı alev bölgesinde hızlı bir artış göstermiş, alev bölgesinden uzaklaştıkça düşüş olmuştur. Dağılımlar incelendiğinde, alevin, yanma odası içerisinde yavaş yavaş yayılmaya başladığı anlaşılmaktadır. Yanma odası duvarına doğru gidildikçe, bu durum daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

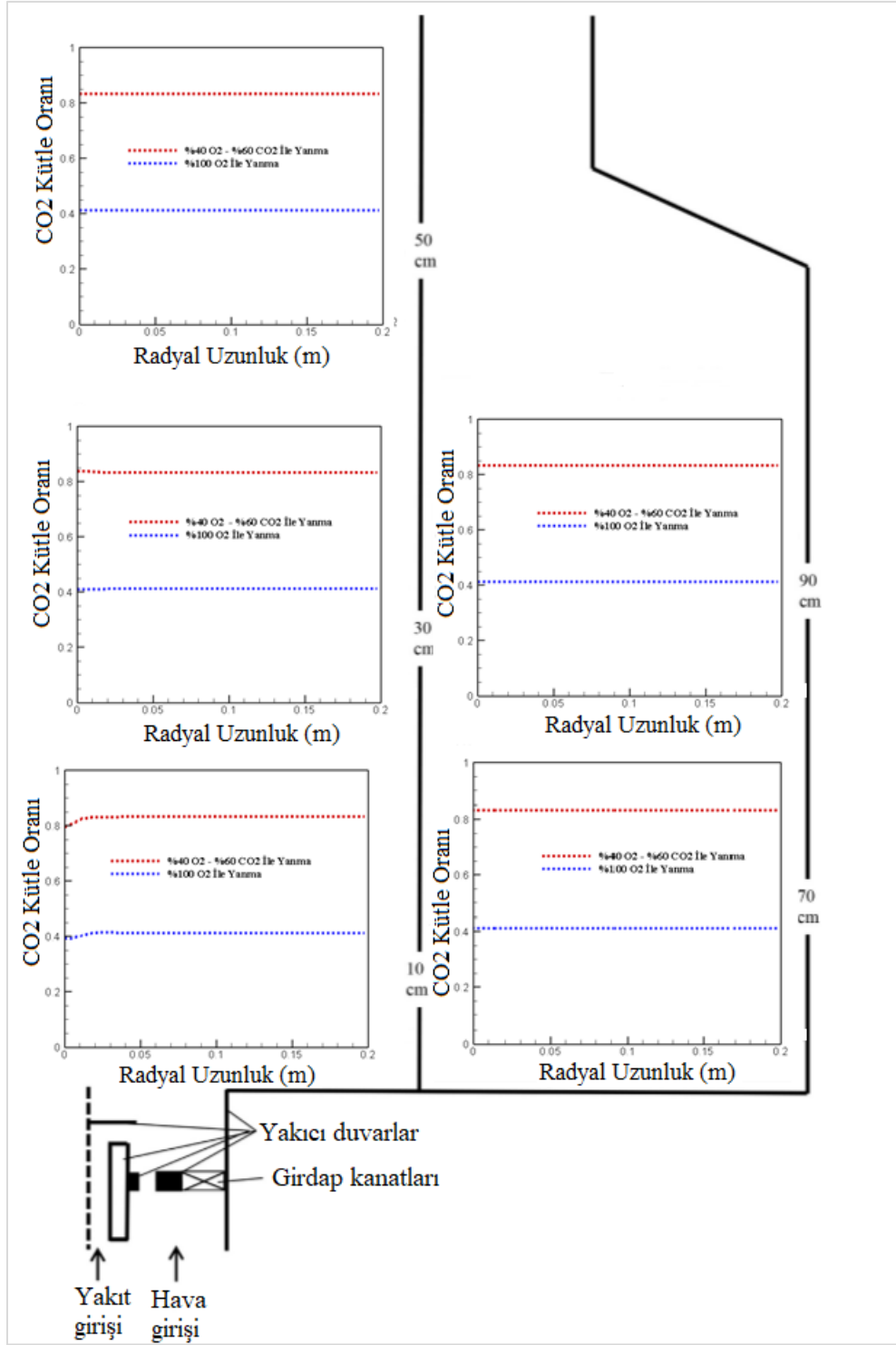


Şekil 5.7. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için aksel CO kütle oranı dağılımları

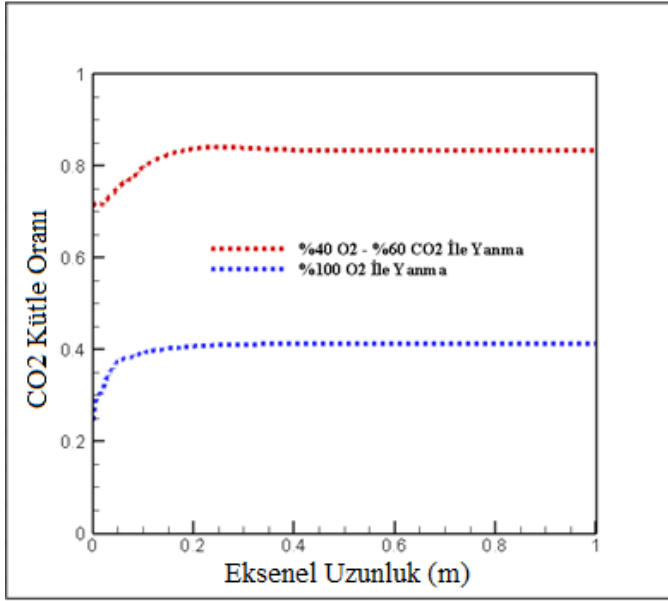


Şekil 5.8. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal CO kütle oranı dağılımları

Şekil 5.7’de verilen aksel olarak CO dağılımları incelendiğinde dağıtılmış yanmada 0,5 metreye kadar artış olduğu, 0,5 metreden sonra ise sabit olduğu görülmektedir. Oksijen yanma için yakıt girişinde hızlı bir artış olduktan sonra hızlı düşüşe geçtiği ve 0,2 metreden sonra değişmediği görülmektedir. Şekil 5.8’de verilen radyal CO dağılımlarında yakıtın giriş noktası haricindeki noktalarda değişim olmadığı görülmektedir.

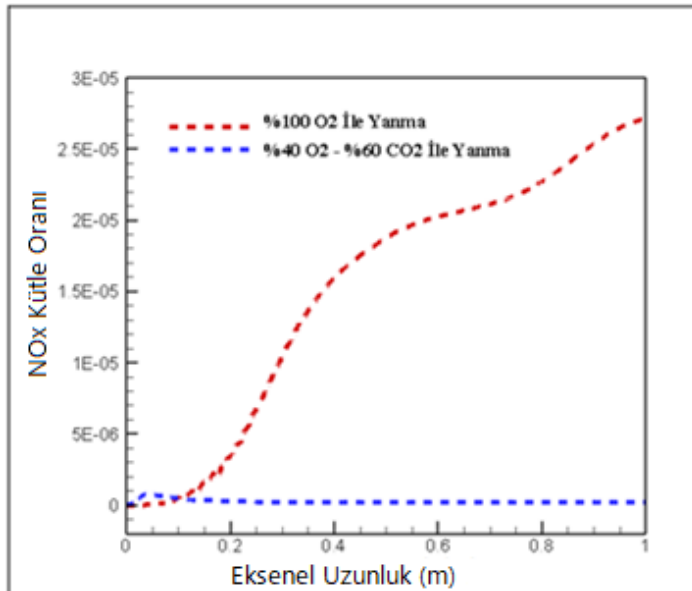


Şekil 5.9. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal CO₂ kütle oranı dağılımları

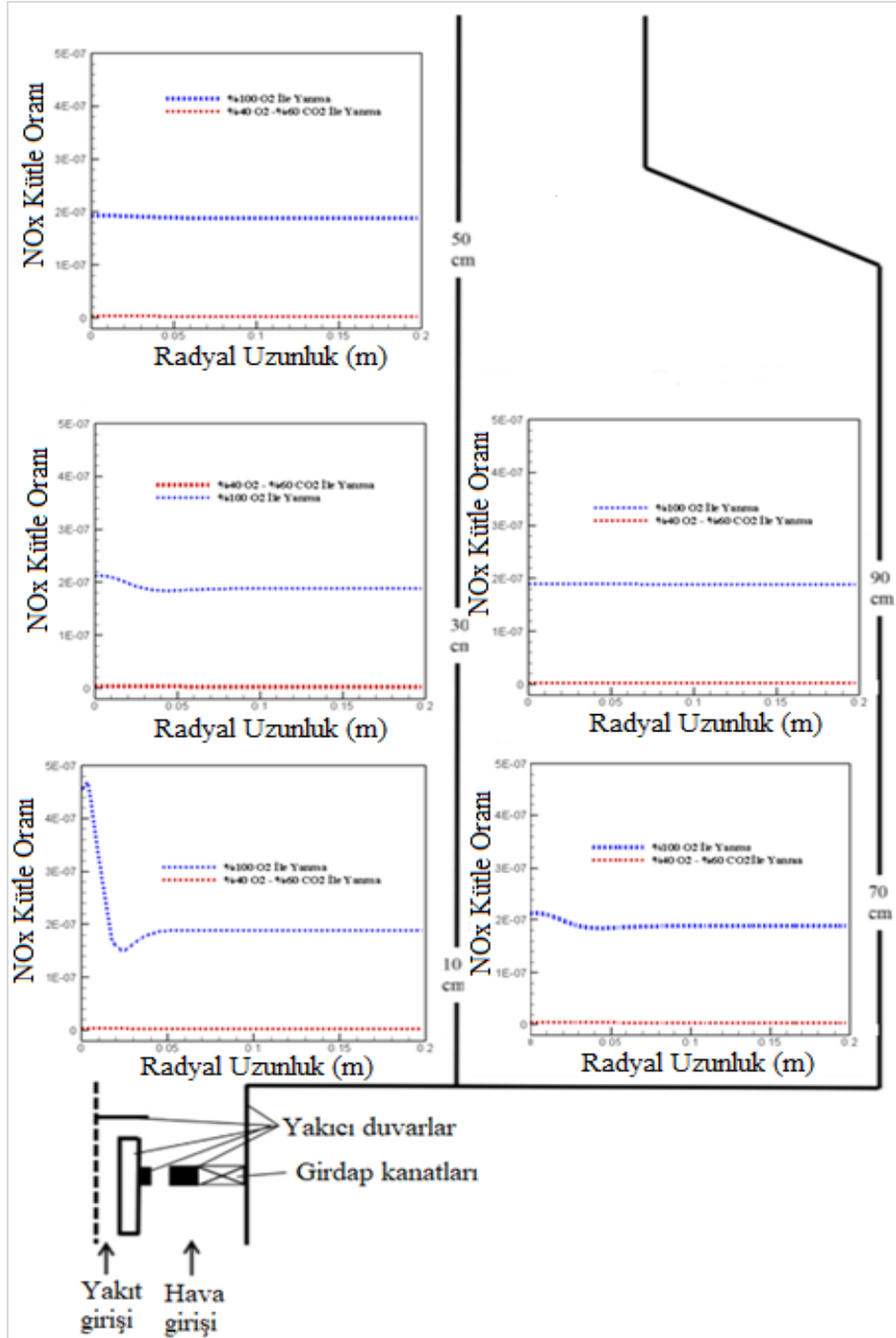


Şekil 5.10. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel CO₂ kütle oranı dağılımları

Şekil 5.9.'da gösterilen radyal CO₂ dağılımları incelendiğinde her iki yanma içinde sabit dağılım olduğu görülmektedir. Dağıtılmış yanma için CO₂ değerleri daha yüksektir. Eksenel yönde ise 0,1 metreye kadar yavaş artış eğiliminden sonra sabitlendiği Şekil 5.10'da görülmektedir.

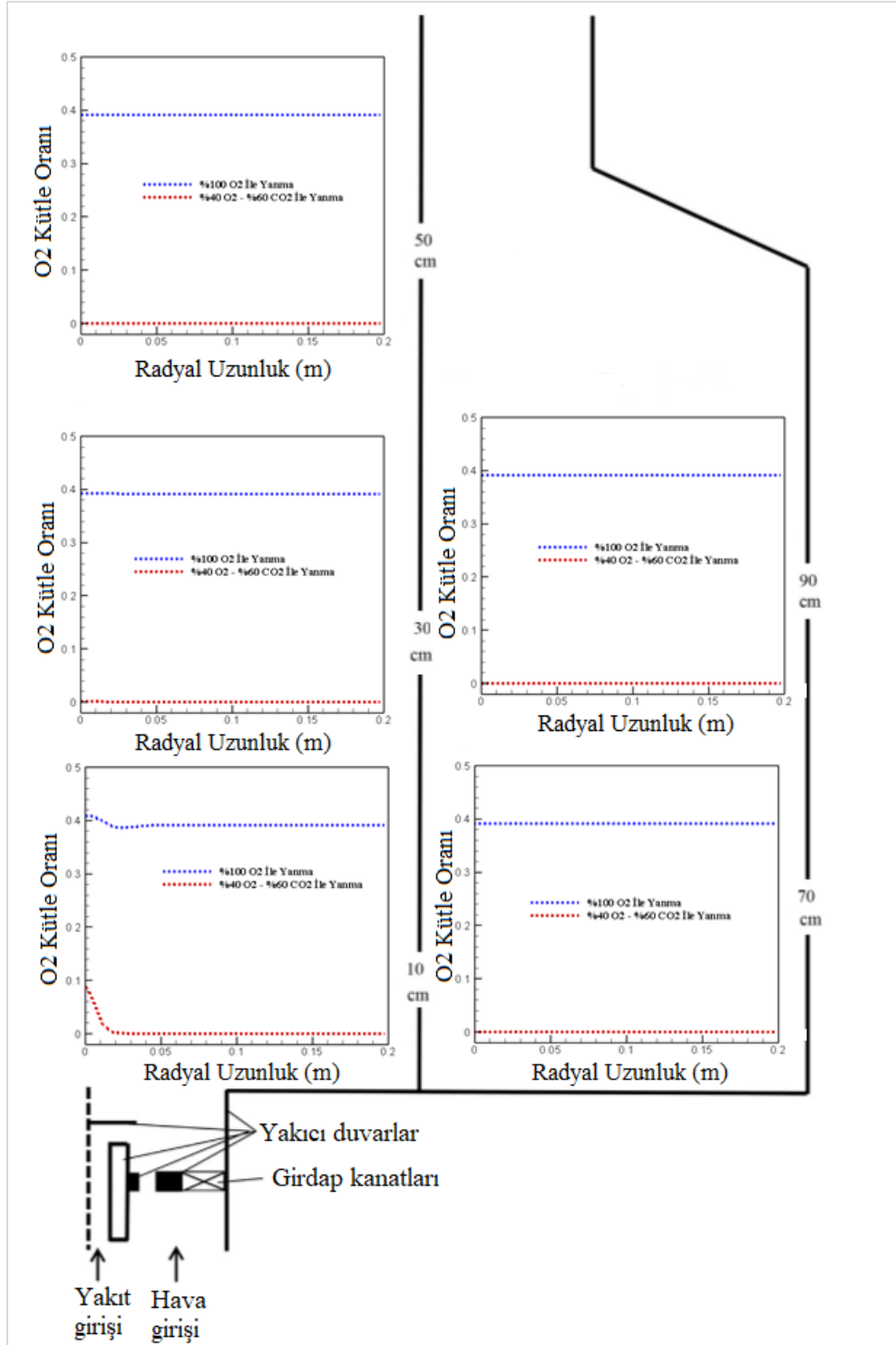


Şekil 5.11. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel NO_x kütle oranı dağılımları



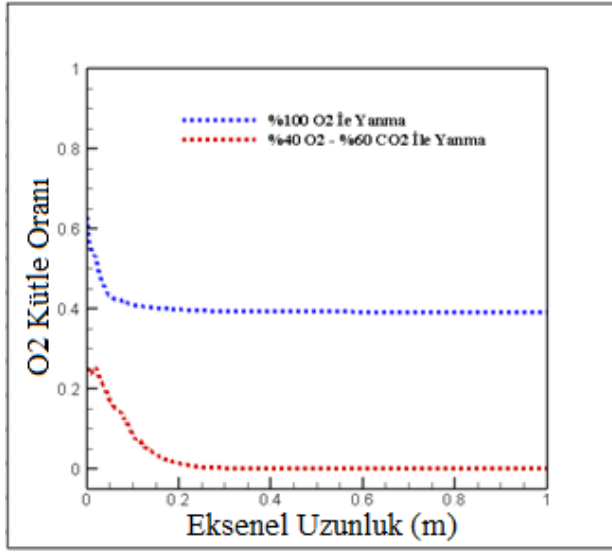
Şekil 5.12. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal NO_x kütle oranı dağılımları

Şekil 5.11. ve 5.12’de verilen radyal ve aksiyel olarak NO_x dağılımları incelendiğinde dağıtılmış yanma için NO_x değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Oksijen yanmada ise aksiyel yönde artış trendindeyken radyal olarak yakıt giriş bölümü haricinde sabit bir trendde olduğu görülmüştür.



Şekil 5.13. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için radyal O_2 kütle oranı dağılımları

Dağıtılmış yanma için O_2 dağılımları incelendiğinde yakıt giriş noktası haricinde O_2 değeri sıfır olarak görülmektedir. Oksijen yanma için ise radyal yönde sabit bir dağılım göstermiştir.



Şekil 5.14. Dağıtılmış yanma ve oksijen yanma için eksenel O_2 kütle oranı dağılımları

Eksenel yönde O_2 dağılımları incelendiğinde her iki yanma içinde 0,2 metreye kadar azalma eğilimi gözlenmiştir, bu noktadan sonra ise sabit bir dağılım göstermiştir. Ayrıca dağıtılmış yanma için eksenel olarak 0,2 metreden sonraki O_2 değeri sıfırdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan biyogaz dünyanın birçok ülkesinde artan bir ilgiyle birlikte kullanılmaya devam edilmektedir. Ülkemizde de biyogaz santralleri sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Sayısı artan biyogaz santralleri sayesinde çevre dostu yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak sürdürülebilir bir yaşama katkı sağlanmış olmaktadır.

Bu çalışmanın araştırma ve hesaplama aşamasında Ankara ili Sincan ilçesinde bulunan bir biyogaz santralinde biyogaz üretimi ve yıllık üreteceği elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın deneysel aşamasında % 55 CH₄ içeren biyogaz ile % 40 O₂ - % 60 CO₂ oksitleyici karışımı yakılarak sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmayla aynı koşullarda sayısal modellemesi yapılmıştır. Ayrıca aynı biyogaz yakıt değerleri kullanılarak % 100 O₂ içeriğindeki saf oksijenin oksitleyici olarak kullanıldığı oksi yanma ile ikinci bir sayısal modelleme yapılmıştır.

Deneysel ve sayısal olarak aynı koşullar altında gerçekleştirilen dağıtılmış yanma sonuçları karşılaştırıldığında sıcaklık değerlerinin deneysel sonuçları daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca deneysel yanma için eksenel yönde sıcaklık 1100 K'den 359 K'e kadar düşüş gösterirken sayısal modelleme tahminlerine göre 1400 K'den 900 K'e düşüş olduğu görülmüştür. Sayısal analizde ise eksenel yönde 0,2 metreden sonra sıcaklığın 900 K değerinde sabitlendiği görülmüştür. Hem deneysel sonuçlar hem sayısal modelleme tahminlerine göre sıcaklık eğilimleri benzerlik göstermektedir.

Sayısal modelleme sonucu elde edilen oksi yanma ve dağıtılmış yanma için sıcaklık ve emisyon tahminleri yapılmıştır. Sıcaklık tahminleri karşılaştırıldığında yakıtın giriş bölgesine yakın alev sıcaklığında oksi yanma için sıcaklık değerleri daha yüksektir. % 100 O₂ ile yanmada inert diyebileceğimiz ısıyı çeken bir gaz olmadığı için yanma daha güçlü bir şekilde gerçekleşerek alev sıcaklığı oksi yanma için daha yüksek çıkmaktadır.

CO dağılımları eksenel yönde incelendiğinde dağıtılmış yanmada 0,5 metreye kadar artış olduğu, 0,5 metreden sonra ise sabit olduğu görülmektedir. Oksi yanma için yakıt girişinde

hızlı bir artış olduktan sonra hızlı düşüşe geçtiği ve 0,2 metreden sonra değişmediği görülmektedir. Saf oksijenle yanma gerçekleştiği zaman oksitleyici ile yakıtın içerisindeki karbon atomu daha hızlı ve efektif bir şekilde reaksiyona girmektedir. Dağıtılmış yanmada ise CO₂ inert gazı sebebiyle daha yavaş gerçekleşir. CO₂ dağılımı karşılaştırıldığında dağıtılmış yanma için daha yüksek dağılım değerleri olduğu görülmüştür. Dağıtılmış yanma da kullanılan oksitleyici içeriğindeki % 60 oranında CO₂ sebebiyle oksijen yanmaya göre daha yüksek dağılım göstermiştir. NO_x dağılımında yakıtın içerisindeki düşük azot oranı sebebiyle her iki analiz içinde çok düşük sonuçlar elde edilmiştir. O₂ dağılımı incelendiğinde oksijen yanma oksitleyici içerisindeki yüksek O₂ seviyesi sebebiyle yüksek dağılım göstermiştir.

Ülkemizde hem çevre dostu olması hem yenilenebilir bir enerji kaynağı olması sebebiyle her gün kullanımı yaygınlaşan biyogazın en verimli şekilde yakılabilmesi için en uygun ortam koşullarının sağlanması ve uygun oksitleyici kullanılması önem arz etmektedir. Karbondioksit emisyonlarının azaltılması için kullanılan bir yöntem normal hava yerine oksijenle zengin hava, ya da saf oksijen ile yakılarak baca gazındaki karbondioksit konsantrasyonunun artırılması esasına dayanmaktadır. Bu sayede, hava içinde yüksek orandaki azot büyük ölçüde bertaraf edilebilir. Düşük sıcaklıklarda karbondioksit tutulması, oksijen yanma sonucu oluşan karbondioksitle zengin baca gazlarından karbondioksitin ayrılması konusunda yeni bir teknolojidir. Bu teknolojinin sağlanabilmesi için en uygun O₂ içeriğine sahip oksitleyici ile uygun ortam koşullarının sağlanması verimli bir biyogaz kullanımı için önemli bir rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: T.C. Resmi Gazete, 19 Aralık 1984, sayı: 18610. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18610.pdf>, Son Erişim Tarihi: 14 Mayıs 2020.
2. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019-2023) stratejik planı*. URL: https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf, Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020.
3. İnternet: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2020). Elektrik piyasası lisans yönetmeliği. URL: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-159-3/yonetmelikler>, Son Erişim Tarihi: 14 Mayıs 2020.
4. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Web Sitesi. URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, Son Erişim Tarihi: 14 Mayıs 2020.
5. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2018). 2018 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu; EPDK. *Ankara*.
6. İnternet: Wikipedia. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji_kaynaklar%C4%B1 Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020.
7. World Bioenergy Association. WBA Global Bioenergy Statistics 2018, Summary Report; 5-10.
8. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Web Sitesi. URL: <https://bepa.enerji.gov.tr/> Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
9. Ilbas, M., Sahin, M. and Karyeyen, S. (2016). 3D numerical modelling of turbulent biogas combustion in a newly generated 10 KW burner. *Journal of the Energy Institute*, S1743-9671(16)30488-3.
10. Ilbas, M. and Sahin, M. (2016). Analysis of the effect of H₂O content on combustion behaviours of a biogas fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 3651-3659.
11. Ilbas, M. and Sahin, M. (2017). Effects of turbulator angle and hydrogen addition on a biogas turbulent diffusion flame. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25735-25743.
12. Şahin, M. (2018). Combustion characteristics of various biogas flames under reduced oxygen concentration conditions. *Energy Sources*, 2415-2427.
13. Farghali, M., Andriamanohiarisoamanana, F. J., Ahmed, M. M., Kotb, S., Yamamoto, Y., Iwasaki, M., Yamashiro, T. and Umetsu, K. (2020). Prospects for Biogas production and H₂S control from the anaerobic digestion of cattle manure: The influence of microscale waste iron powder and iron oxide nanoparticles. *Waste Management*, 101, 141-149.

14. Shakeel, M. R., Sanusi, Y.S. and Mokheimer, E. M. A. (2018). Numerical modeling of oxy-methane combustion in a model gas turbine combustor. *Applied Energy*, 228, 68-81.
15. Khalil, A.E.E. and Gupta, A.K. (2011). Swirling distributed combustion for clean energy conversion in gas turbine applications. *Applied Energy*, 88, 3685–93.
16. Liu, A., Yang, Y., Chen, L., Zeng, W. and Wang, C. (2020). Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gas turbine. *Fuel*, 267, 117312.
17. Ersoy, E. and Ugurlu, A. (2020). The potential of Turkey's province-based livestock sector to mitigate GHG emissions through biogas production. *Journal of Environmental Management*, 255, 109858.
18. İlbaş, M. ve Yılmaz, İ. (2002). Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1-2), 18-27.
19. Huynh, C.V. and Kong, S. (2012). Combustion and NO_x emissions of biomass-derived syngas under various gasification conditions utilizing oxygen-enriched-air and steam. *Fuel*, 107, 455-464.
20. Arghode, V. K. and Gupta, A. K. (2010). Effect of flow field for colorless distributed combustion (CDC) for gas turbine combustion. *Applied Energy*, 87, 1631–1640.
21. Kayahan, U. (2017). *Experimental and theoretical investigation of oxy-combustion in fluidized beds*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, VII.
22. Çekiç, Y. (2015). *Tekirdağ Malkara linyit kömürünün farklı sıcaklıklarda farklı oksijen yakma koşullarında yakılmasında optimum sıcaklık ve oksijen miktarının belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, XVII.
23. Shah, I.A., Gou, X., Zhang, Q., Wu, J., Wang, E. and Liu, Y. (2018). Experimental study on NO_x emission characteristics of oxy-biomass combustion. *Journal of Cleaner Production*, 199, 400-410.
24. He, P. J. (2010). Anaerobic digestion: an intriguing long history in China. *Waste Management*, 30(4), 549–50.
25. Bond, T. and Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy For Sustainable Development*, 15, 347-354.
26. Ni, J.Q. and Nyns, E.J. (1996). New concept for the evaluation of rural biogas management in developing countries. *Energy Conversion and Management*, 37(10), 1525–1534.
27. Meynell, P. J. (1976). *Methane: Planning a Digester*. New York: Schocken Books, 3.

28. Garcia, G. (2007). *Farm scale anaerobic digestion integrated in an organic farming system*, Master Thesis. Uppsala, Sweden, 8.
29. Koçer, N. N., Öner, C., ve Sugözü, İ. (2006). Türkiye’de Hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 4(2), 17-20.
30. Ilgar, R. (2012). Hayvan varlığına göre Çanakkale biyogaz potansiyelinin tespitine yönelik bir çalışma. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 35, 89-106.
31. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Web Sitesi, URL: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle/yetistirciligi.aspx>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
32. İnternet: T.C. Resmi Gazete, 10 Mayıs 2005, sayı: 5346. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050510.htm>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
33. Bayrakçeken, H. (1997). *Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 1.
34. Deviren, H., İlkılıç, C. ve Aydın, S. (2017). Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 79-89.
35. Aktaş, A. (2008). *Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çamur Granüllerinin Oluşmasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 75-76.
36. İnternet: Wikipedia. URL <https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz>, Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020.
37. Hill, D. T. (1982). A comprehensive dynamic model for animal waste methanogenesis. *Transactions of the ASAE*, 25(5), 1374-1380.
38. Buffiere, P. S. (1995). Comprehensive modeling of methanogenic biofilms in fluidized bed systems: mass transfer limitations and multisubstrate aspects. *Biotechnology and Bioengineering*, 725-736.
39. Ahiring, B. K. (1994). Status on science and application of thermophilic anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 241-249.
40. Gül, N. (2006). *Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 10-11.
41. Ahiring, B. K., Ibrahim, A. A. and Mladenovska, Z. (2001). Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure. *Water Research*, 2446-2452.
42. Şahin, M. (2016). *Konvansiyonel Yakıcılarda Biyogaz Yanma Karakteristiklerinin Analizi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17.

43. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2010). Biyogaz klavuzu; FNR, Gülzow.
44. İnternet: Öztürk, M. (2017). *Hayvan gübresinden biyogaz üretimi*. URL: http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf, Son Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020.
45. Varol, A. (2009). *Mezofilik Şartlarda Spirulina Platensis'in biyogaz üretim veriminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 4-14.
46. Gunaseelan, V. N. (1997). Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. *Biomass and Bioenergy*, 13, 83-114.
47. Yokuş, İ. (2011). *Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 35-36.
48. Pekin, B. (1983) Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji). *Ege Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları*, 3, 368-385.
49. Ram, M. S., Singh, L., Suryanarayana, M.V. S. and Alam, S. I. (2000). Effect of Iron, Nickel and Cobalt on Bacterial Activity and Dynamics During Anaerobic Oxidation of Organic Matter. *Water, Air, and Soil Pollution*, 117, 305–312.
50. İlkiliç, C. ve Deviren, H. (2011). *Biyogazın oluşumunu etkileyen fiziksel ve kimyasal parametreler*. 6 th International Advanced Technologies Symposium, 123-131, Elazığ.
51. İnternet: Kossmann, W., Uta Pönitz, U., Habermehl, S., Thomas Hoerz, Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. Biogas Digest, Biogas Basics Volume I. Germany: Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), URL: https://biogas.ifas.ufl.edu/ad_development/documents/biogasdigestvol1.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
52. Singh, R., Malik, R. K. and Tauro, P. (1985). Anaerobic Digestion of Cattle Waste at Various Retention Times: A Pilot Plant Study. *Agricultural Wastes*, 12, 313- 316.
53. Eryaşar, A. ve Koçar, G. (2009). Biyogaz üretiminde basıncın etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 187-193.
54. Yu, H. W., Samani, Z., Hanson, A. and Simith, G. (2002), Energy Recovery from Grass Using two –phase Anaerobic Digestion. *Waste Management*, 22, 1-5.
55. Seadi, T. A. (2008). Biogas Handbook. URL: <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
56. Türkmenler, H. (2019). Seyhan atıksu arıtma tesisinde biyogaz üretim verimliliğinin araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 95-101.
57. İnternet: ITC Entegre Katı Atık Yönetimi. (2020). URL: <http://www.itcturkiye.com/tr/mamak-ankara/11920>, Son erişim tarihi: 15.05.2020.

58. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fbct.pdf> Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
59. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı. (2020). URL: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevrimekno.aspx, Son erişim tarihi: 15.05.2020.
60. Ekinci, E. K., Gündüz, G., and Oktar, N. (2015). Biyodizel yan ürünü gliserinin esterleşme ve asetilasyonu ile değerli kimyasalların üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 443-450.
61. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Web Sitesi, URL: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutlecevrimekno.aspx>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
62. Online Çevre Proje İnşaat Müh. Dan. Yazılım Bilişim ve Teknolojileri San. Tic. Ltd Şti. (2018). Üregen Biyogaz Enerji Tesisi (5 MWe/5,2 MWm/5,9 MWt) fizibilite raporu; *Ankara*.
63. İnternet: Solar Akademi Web Sitesi URL: http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=1906 , Son Erişim Tarihi: 15.05.2020.
64. Yılmaz, İ. (2001). Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 4-7.
65. İlbaş, M. ve Yılmaz, İ. (2002). Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1-2), 18-27.
66. Makina Mühendisleri Odası. *Baca Gazı Emisyon Ölçümü, Mühendis El Kitabı*. Yayın No:233.
67. İlbaş, M., Syred, N., Bowen, P. and Doherty, T.O. (1996). *Study to Characterise an Industrial oil Burner-Furnace*. 27 The twenty-sixty International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Italy.
68. İlbaş, M., Doherty, T.O., Bowen, P. and Syred, N. (1995). *Prediction of NO_x and Combustion Performance of Cooled Cyclone Combustors*, 3 rd European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, Portugal.
69. Bektaş, A. (2018). *Sentez Gazlarının Oksi-Yakıt Yanması: Deneysel Karakterizasyon ve Sayısal Modelleme*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39.
70. Çelikleş, B. (2016). *Oksi Yanma Şartlarında Oluşan Karbondioksitin Soğutma/sıkıştırma Yöntemiyle Tutulması Üzerine Deneysel Çalışmalar*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 44-45.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜREGEN GÜLER, Nurhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.03.1993, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (539) 703 89 71
 e-mail : nurhanuregen@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D.	Devam Ediyor
Lisans	Atılım Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	2016
Lisans	Atılım Üniversitesi / Makine Mühendisliği (Çift Ana Dal)	2016
Lise	Gazi Üniversitesi Vakfı Özel Fen Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2020	ESA Grup Enerji İnşaat Otomotiv San. Tic. A.Ş.	Enerji Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. İlbaş, M., Üregen Güler, N. and Şahin, M. (2020). 15th International Combustion Symposium. Oral Presentation, Kayseri.
2. Üregen, N., Pehlivanoglu, K., Özdemir, Y. and Devrim, Y. (2017). Development of polybenzimidazole/graphene oxide composite membranes for high temperature PEM fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2636-2647.

3. Özdemir, Y., Üregen, N. and Y. and Devrim. (2017). Polybenzimidazole based nanocomposite membranes with enhanced proton conductivity for high temperature PEM fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4), 2648-2657.

Hobiler

Puzzle, Fotoğrafçılık, Yoga



GAZİ GELECEKTİR..