



T.C.

İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE ve ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLİKÇİ BİR ÇİFTLİK TİPİ BİYOGAZ TESİSİNİN
TASARIMINA, FİZİBİLİTESİNE VE KURULUMUNA DAİR BİR
ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans Tezi

ELİF CURA

HAZİRAN 2022



T.C.

İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE ve ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLİKÇİ BİR ÇİFTLİK TİPİ BİYOGAZ TESİSİNİN
TASARIMINA, FİZİBİLİTESİNE VE KURULUMUNA DAİR BİR
ÇALIŞMA**

Yüksek Lisans Tezi

ELİF CURA

DANIŞMAN

Prof. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Alper BAYRAKDAR

HAZİRAN 2022

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

İmza

ELİF CURA

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı taahhüt ederim.

İmza

Prof. Dr. ERKAN ŞAHİNKAYA

İMZA SAYFASI

ELİF CURA tarafından hazırlanan ‘Yenilikçi Bir Çiftlik Tipi Biyogaz Tesisinin Tasarımına, Fizibilitesine ve Kurulumuna Dair Bir Çalışma’ başlıklı bu yüksek lisans tezi, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA

.....

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Prof. Dr. Barış ÇALLI

Marmara Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Yasin KARAGÖZ

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/06/ 2022

TEŞEKKÜR

Tezimin oluşumdan tamamlanmasına kadar geçen süreçte kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, olumlu tavırlarıyla beni cesaretlendiren, beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan büyük bir mutluluk duyduğum tez danışmanım Prof. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA 'ya çok teşekkür ederim.

Yardım, bilgi ve tecrübeleriyle tezim için değerli zamanını ayırarak her türlü desteği veren ikinci tez danışmanım Doç. Dr. Alper BAYRAKDAR 'a çok teşekkür ederim.

Tezimin KOSGEB bünyesi tarafından desteklenmesini sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasin KARAGÖZ'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen, beni her zaman destekleyen ve yanımda olan sevgili arkadaşlarım Ebru GÖCEN'e ve Sevcan AÇIKGÖZ'e çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduklarını bildiğim, benim için her türlü fedakârlıktan kaçınmayan, beni cesaretlendiren ve güvenen ailem Hatice CURA, Mehmet CURA ve Aslıhan CURA URAY'a çok teşekkür ederim.

ÖZET

YENİLİKÇİ BİR ÇİFTLİK TİPİ BİYOGAZ TESİSİNİN TASARIMINA, FİZİBİLİTESİNE VE KURULUMUNA DAİR BİR ÇALIŞMA

Cura, Elif

Yüksek Lisans Tezi, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre
ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Prof. Dr. Erkan Şahinkaya

İkinci Danışman: Doç. Dr. Alper Bayrakdar

Haziran, 2022. 115 Sayfa.

Günümüzde nüfusun hızlı bir şekilde artması ve teknolojik ilerlemelerin sonucunda sanayileşme faaliyetlerinin gelişerek artması sebepleriyle enerjiye ve enerji kaynaklarına ihtiyaç giderek artmaktadır. Var olan enerji kaynakları talebi karşılayamamakta, bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim alternatif olarak görülmektedir. Ek olarak hayvansal atıklardan kaynaklı çevresel problemler de düşünüldüğünde biyogaz, önemli bir alternatif enerji kaynağı olarak gösterilebilir.

Hayvansal atıkların anaerobik fermantasyonu sonucu açığa çıkan biyogaz, yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir alternatiftir. Anaerobik fermantasyon işlemi ile üretilen biyogaz yaşam alanlarının ısınma ve elektrik ihtiyacını karşılarken bu prosesin bir diğer çıktısı olan fermente olmuş madde gübre olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, büyükbaş hayvan atıklarından ülkemiz şartlarında kullanılabilecek, ekonomik, modern, karıştırma ve ısıtma içeren, kolay bir şekilde işletilebilecek çiftlik tipi bir biyogaz reaktörü tasarlanmış ve maliyetleri belirlenmiştir.

Tez çalışmasının “giriş” bölümünde Dünyada ve Türkiye’de enerji ihtiyacı ve kaynakları incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik inceleme detaylı bir şekilde yapılmıştır.

Tez çalışmasının “bulgular” bölümünde, anaerobik fermantasyon prosesi sonucunda biyogaz üretimi ve aşamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Türkiye’nin hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı belirlenmiştir. Dünyada yapılan mobil biyogaz sistemleri incelenerek, bu çalışmada tasarımını yaptığımız sistemle karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın “tartışma, sonuç ve öneriler” bölümünde çiftlik tipi biyogaz sistemi için hesaplamalar ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Maliyet analizleri ve çiftçinin edebileceği kâr oranı hesaplanarak gerçekleştirilerek olan biyogaz sisteminin kurulumunun fizibilite çalışması tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Biyogaz tesisi, Enerji, Hayvancılık, Fermantasyon, Metan

ABSTRACT

A STUDY ON THE DESIGN, FEASIBILITY AND INSTALLATION OF AN INNOVATIVE FARM-TYPE BIOGAS PLANT

Cura, Elif

Master Thesis, Department of Environment and Energy Systems Engineering,
Environmental and Energy System Engineering Program

Advisor: Prof. Dr. Erkan Şahinkaya

Second Advisor: Assoc. Prof.Dr. Alper Bayrakdar

June, 2022. 115 Pages

Today, the demand for energy and energy resources is increasing due to the rapid increase in population and industrialization activities as a result of technological advances. Existing energy sources cannot meet the demand, so the tendency toward renewable energy sources is seen as an alternative. In addition, considering the environmental problems caused by animal waste, biogas can be considered as an important alternative energy source.

Biogas, which is a usable gas produced as a result of anaerobic fermentation from animal waste known as organic waste, can be shown as an important alternative among renewable energy sources. The heating, electricity production and fertilizer needs of living spaces can be provided thanks to biogas production, and thus, the rate of preference is increasing day by day.

In the “introduction part” of the thesis, energy needs and resources in the World and in Turkey have been examined. A detailed examination of renewable energy sources has been made.

In the “results part” of the thesis, biogas production and its phases as a result of the anaerobic fermentation process have been explained in detail. The amount of biogas

that can be produced from animal waste in Turkey has been determined. The mobile biogas systems where made in the world have been examined and compared with the system established in this thesis study.

In the “discussion and recommendations part” of the study, calculations and designs for the farm type biogas system have been carried out. The feasibility study of the developed innovative biogas system has been conducted.

Keywords: Biogas, Biogas plant, Energy, Farming, Fermentation, Methane



İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. DÜNYADAKİ ENERJİ İHTİYACI VE ENERJİNİN KARŞILANDIĞI ...	1
KAYNAKLAR.....	1
1.2. TÜRKİYE’DE ENERJİ İHTİYACI VE ENERJİNİN KARŞILANDIĞI ...	3
KAYNAKLAR.....	3
1.3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ.....	6
1.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bakımından Türkiye’nin Potansiyeli	6
1.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	7
1.4. ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ	12
1.4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyogaz	12
1.4.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Hayvansal Atıklar	13
1.4.5. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Teknolojisi.....	20
1.4.5.1. Anaerobik Fermentasyon-Havasız Çürütme.....	20
1.4.5.2. Anaerobik Arıtım Sırasında Gerçekleşen Biyokimyasal Reaksiyonlar Dizisi.....	21
1.4.5.3. Anaerobik Çürütme İşlemi İçin Önemli Parametreler	24
1.5. BİYOGAZ POTANSİYELİ BELİRLENMESİ VE ANAEROBİK REAKTÖR ÖRNEKLERİ	30
1.5.1. Türkiye’nin Biyogaz Potansiyeli	30
1.5.2. Anaerobik Reaktör Tipleri.....	35
1.5.3. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi Üzerine Bazı Çalışmalar	37
1.6. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRLERİ.....	38

1.7. ÖNERİLEN PROJENİN AMAÇ VE HEDEFLERİ	49
2. BULGULAR.....	52
2.1. HAYVANSAL ATIK MİKTARLARININ BELİRLENMESİ	52
2.1.1. Türkiye'nin Hayvan Gübresi Potansiyeli	52
2.1. ÜLKEMİZDEKİ ÇİFTLİKLERİN BÜYÜKLÜKLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI	57
2.3. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRÜNÜN TASARIMI.....	58
2.3.1. Reaktör Boyutlandırılması	58
2.3.2. Üretilecek Biyogaz ve Enerji Miktarları	60
2.3.2. Karıştırıcı ve Karıştırıcı Motoru Tasarımı İçin Hesaplamalar	63
Isı Değiştirici ve Isı Transfer Hesaplamaları	65
2.4. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRÜ İMALATI VE MONTAJI	67
2.4.1. Tasarım Aşamaları	67
2.4.2. İmalat Aşamaları.....	69
2.4.3. Montaj Aşamaları	79
2.4.4. Tasarlanan Reaktörün Maliyet Hesaplamaları ve Faydası	84
3. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	88
4. KAYNAKÇA.....	90
5. EKLER.....	96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi.....	2
Tablo 1.2. Türkiye'nin birincil enerji ihtiyacı verileri.....	5
Tablo 1.3. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu güç gelişim verileri.....	7
Tablo 1.4. Rüzgâr hızlarına göre rüzgâr enerjisi kapasiteleri.....	8
Tablo 1.5. Türkiye'nin yıllık güneş enerji potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	10
Tablo 1.6. Kolektör verimleri.....	11
Tablo 1.7. Biyogazın içerik oranları.....	12
Tablo 1.8. Hayvan atığı potansiyelleri.....	14
Tablo 1.9. Türkiye'de yer alan biyogaz tesisleri.....	15
Tablo 1.10 Anaerobik çürüme reaksiyonları için önemli parametreler.....	25
Tablo 1.11 Mikroorganizmaların rejenerasyon süreleri.....	26
Tablo 1.12. Türkiye'de mevcut olan ve planlanan biyogaz üretim.....	33
Tablo 1.13. Türkiye'de enerji üretimi, tüketimi ve biyokütle enerjisinin rolü.....	34
Tablo 2.1 TÜİK 2021 verilerine göre büyükbaş hayvan sayıları.....	52
Tablo 2.2. Büyükbaş hayvan sayılarına göre üretilebilecek enerji ve biyogaz miktarları.....	53
Tablo 2.3. Hayvan sayısına göre reaktör hacimleri ve boyutlandırmaları.....	60
Tablo 2.4. Hayvan miktarına göre metan üretim miktarları.....	61
Tablo 2.5. Hayvan sayısına göre günlük enerji üretim miktarları.....	62
Tablo 2.6. Hayvan sayısına göre günlük biyogaz üretim miktarları.....	62
Tablo 2.7. Cd katsayıları.....	63
Tablo 2.8. Hesaplama için seçilen hortumun özellikleri.....	65
Tablo 2.9. Çürütücü tankı hesaplama için kriterler.....	65

Tablo 2.10. Satın Alma maliyetleri.....	86
---	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ülkemizde enerji kaynakları kullanım oranları ve Üretim oranları	4
Şekil 1.2. Şehirler bazında güneş enerji potansiyeli	9
Şekil 1.3. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü Örneği	11
Şekil 1.4. Anaerobik Fermantasyon	22
Şekil 1.5. Hayvansal Atıkların Enerji Değeri	31
Şekil 1.6. Hayvansal Atıkların Enerji Değeri	31
Şekil 1.7. Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin illere göre dağılımı	32
Şekil 1.8. Türkiye'nin enerji ihtiyacı	33
Şekil 1.9. Çin ve Johhanesburg'den çürütücü örnekleri	39
Şekil 1.10. Biotech Biyogaz Sistemi	40
Şekil 1.11. Sintex Biyogaz Çürütücüsü	42
Şekil 1.12. Fenghuo Biyogaz Çürütücüsü	43
Şekil 1.13. Sistema Biyogaz Sistemi akış diyagramı	44
Şekil 1.14. Puxintech Biyogaz Sistemi	45
Şekil 1.15. Teenwin DIY biyogaz çürütücüsü	46
Şekil 1.16. Homebiogas çürütücü sistemi	47
Şekil 1.17. Foresight Biyogaz Sistemi	48
Şekil 2.1 Türkiye'de büyükbaş hayvan sayısına göre işletme büyüklüğü % dağılımı	57
Şekil 2.2. Türkiye'de yer alan büyükbaş hayvan sayıları	58

Şekil 2.3. Anaerobik çürütücü sistemi genel görünümü.....	68
Şekil 2.4. Biyogaz reaktör sistemi üstten görünümü.....	68
Şekil 2.5. Depo içerisindeki karıştırıcı sistemi.....	69
Şekil 2.6. Depo içerisindeki hortum serpantin sistemi görünümü.....	69
Şekil 2.7. Sac levha, tij ve motorun sistematik gösterimi.....	70
Şekil 2.8. 600 mm demir levhanın çizimi.....	71
Şekil 2.9. 155 mm demir levhanın çizimi.....	71
Şekil 2.10. Flanş çizimi.....	72
Şekil 2.11. Kaplin ve hortum bağlantı parçaları.....	73
Şekil 2.12. Hortum girişi ve çıkışı için yaptırılan parçalar.....	73
Şekil 2.13. Seloneid vana (sol) ve gübrenin reaktöre ekleneceği plastik parça.....	74
Şekil 2.14. Vana ve sensörün programlanması ve elektronik kart hazırlanması.....	74
Şekil 2.15. Koruyucu kapağın resimleri.....	75
Şekil 2.16. Reaktör giriş parçası.....	75
Şekil 2.17. Reaktör çıkış	76
Şekil 2.18. Pnömatik hortum bağlantısı.....	76
Şekil 2.19. Biyogaz depo bağlantısı.....	77
Şekil 2.20. Hidrojen sülfür absorpsiyon sistemi.....	77
Şekil. 2.21. Karıştırıcı paneli.....	78
Şekil 2.22. Karıştırıcı panelinin teknik resim çizimi.....	78
Şekil 2.23. Reaktör için 5 tonluk depo.....	79
Şekil 2.24. Karıştırıcı sisteminin reaktöre eklenmesi, pompa ve güneş kollektörü bağlantıları.....	80
Şekil 2.25. Hayvan gübresinin besleneceği bölüm.....	80
Şekil 2.26. Fermente olmuş hayvan gübresinin alınacağı bölüm.....	81
Şekil 2.27. Biyogaz bünyesinde yer alan hidrojen sülfür temizleme ünitesi.....	81

Şekil 2.28. Reaktör içerisinde sıcaksu devir daiminin yapılacak olduğu serpantin ...	82
Şekil 2.29. Güneş kolektörü.....	82
Şekil 2.30. Reaktörün yarı toprağa gömülü vaziyete getirilmesi.....	83
Şekil 2.31. Reaktörün yarı toprağa gömülü vaziyete getirilmesi.....	83



KISALTMALAR

- kWh: Kilowatt saat
- GWh : Gigawatt saat
- MW: Megawatt
- W: Watt
- TEP: Ton Eşdeğer Petrol
- BTEP: Bin Ton Eşdeğer Petrol
- Ktoe: Kilo ton petrol eşdeğeri
- EJ: Eksajoule
- IEA: Uluslararası Enerji Ajansı
- m³: metreküp
- m² : metrekare
- Kg: kilogram
- TSS: Toplam Askıda Katı Madde
- VSS: Uçucu Askıda Katı Madde
- TS: Toplam Katı Madde
- VS: Uçucu Katı Madde
- °C : Santigrat Derece
- KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
- COD: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
- BOİ: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
- BOD: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
- vd: ve diğerleri

1. GİRİŞ

Global ölçekte hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin artması sonucunda, gelişmekte olan ülkelerin enerji ve hammadde ihtiyaçları büyük oranda artış göstermektedir. Ülkemizde son yıllarda sanayileşme ve endüstriyel alanlarda gelişmenin artmasıyla, bu hammadde ve enerji gereksinimi önemli bir sorun haline gelmektedir. Bu ihtiyacın sonucu olarak petrol, doğalgaz, kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu fosil yakıtların kullanımının sonucunda da ülkemizin dış kaynaklara bağımlılığı artmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde biyogaz, küçük yerleşim yerlerinde (köyler, çiftlikler vb.) önemli bir enerji ve gübre kaynağı olabilme potansiyeline sahiptir. Hayvancılık faaliyetleri sonucunda çıkan hayvansal atıkların miktarı azımsanmayacak derecede fazla olacaktır. Ülkemizde ne yazık ki hayvansal atıkların potansiyeli verimli bir şekilde değerlendirilememektedir. Bu atıkların büyük bir oranı hiçbir işlemten geçirilmeden açık alanlarda uzun süre bekletildikten sonra gübre olarak kullanılmaktadır. Bu bekletmenin sonucunda da istenmeyen bakteriler, patojenler ve virüsler direkt olarak toprağa geçmekte ve toprak ve su kaynaklarını kirletmektedir. Türkiye’de bir yılda yaklaşık olarak 193 milyon ton hayvan atığı oluşmaktadır [1]. Bu atıklar doğru bir şekilde değerlendirilemediği için de ülkemizde milyonlarda lira ekonomik kayıp yaşanmaktadır.

1.1. DÜNYADAKİ ENERJİ İHTİYACI VE ENERJİNİN KARŞILANDIĞI

KAYNAKLAR

Dünya’nın enerji talebi artan sanayileşme, teknolojik imkanların gelişmesi ve nüfus artışıyla birlikte hızlı bir şekilde artmaktadır.

IEA'nın hazırladığı 2021 Enerji Raporuna göre, Dünya enerji kaynakları kullanımının her sene %1,3 oranında artarak 2020 yılından 2030 yılına kadar enerji kaynakları kullanımının 670 EJ miktarına ulaşacağı tahmin edilmiştir. Kömür kullanım oranının 2025 yılına kadar artma eğilimine devam edeceği, petrol ve gaz kullanımının talebinin ise azalmayarak 2030 yılına kadar artarak devam edeceği belirtilmektedir. Bunun yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin de artmasıyla birlikte, bu oranların fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında eşit oranlarda bölüneceği tahmin edilmektedir. Bu tahmine göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla fosil yakıtlara olan talebin 2030 yılına gelindiğinde şimdiki talep miktarı olan %79'dan %75 oranına düşeceği raporda belirtilmiştir [2].

Tablo 1.1. Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi ^[3]

	1980		1990		2000		2011		2035	
Kaynak Türü	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
Petrol	3.107	43	3.230	37	3.649	36,4	4.130	31,5	5.023	27
Kömür	1.788	24,8	2.331	25	2.295	22,9	3.776	28,8	5.523	30
Doğalgaz	1.235	17	1.668	19	2.088	20,8	2.793	21,3	4.380	23
Nükleer	186	2,6	526	6	675	6,7	669	5,1	1.019	5
Hidrolik	148	2,1	194	2	225	2,3	301	2,3	460	2
Biyokütle	748	10,4	903	10	1.045	10,4	1.313	10,0	1.741	9
Diğer yenilenebilir	12	0,1	36	0,4	55	0,5	131	1,0	501	3
Toplam	7.224	100	8.779	100	10.034	100,0	13.113	100,0	18.676	100

Yılmaz [3] yaptığı çalışmada geçmiş birincil enerji kaynağı tüketim verilerine dayanarak 2035 yılı için enerji kaynakları tüketimini hesaplamıştır (Tablo 1.1). Tablo incelendiğinde toplam enerji tüketimi 1980 yılında 7.224 Mtep iken 2000 yılında 13.113 Mtep olduğu, 2035 yılına gelindiğinde 18.676 Mtep'e kadar artacağı belirtilmiştir. Yine aynı tablo incelendiğinde, kömür kullanım oranının her sene

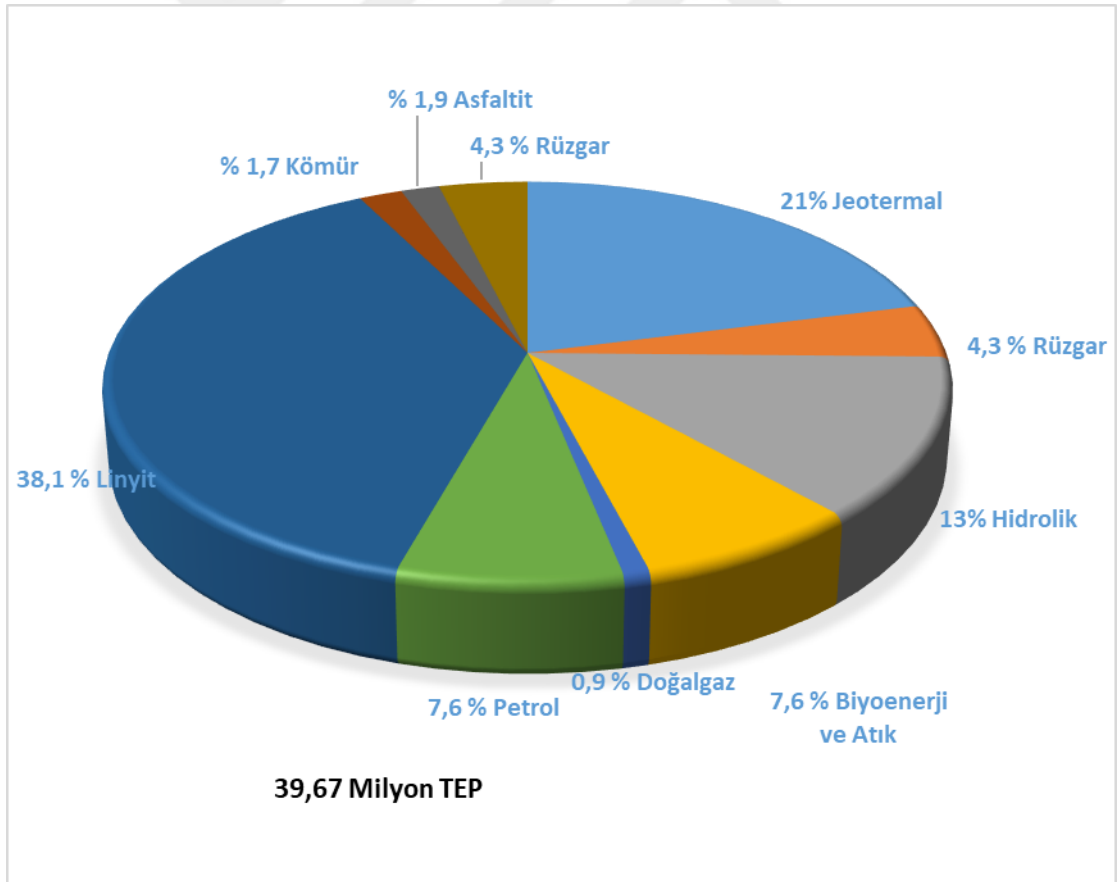
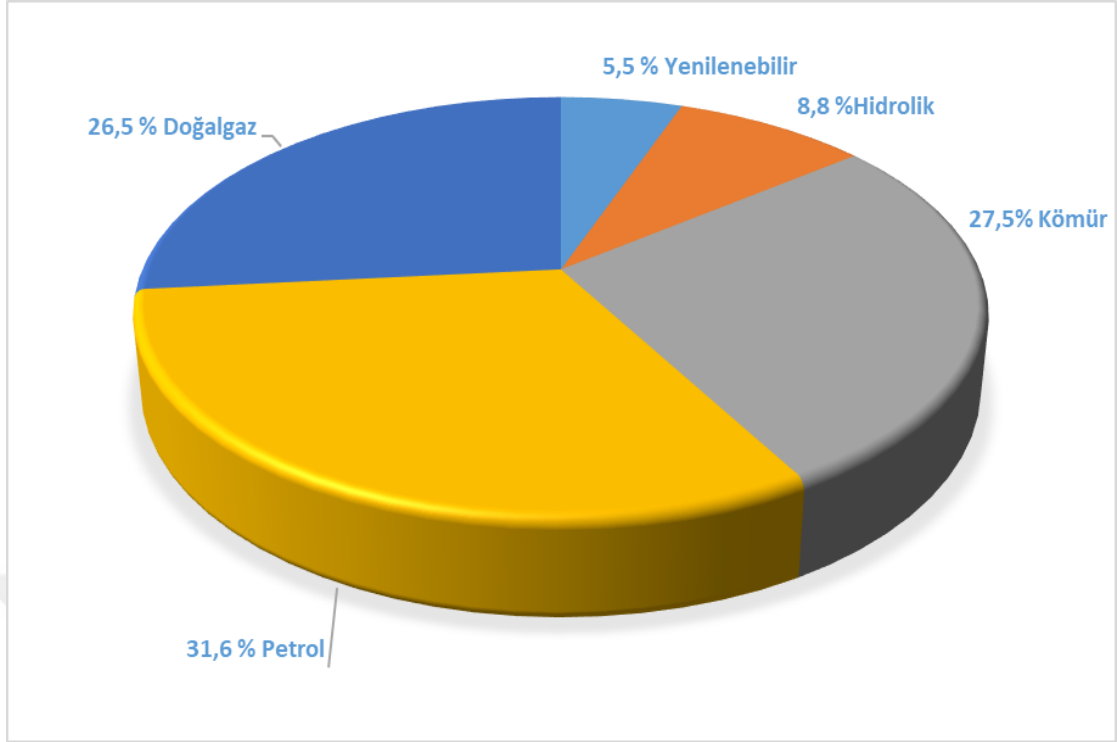
giderek artarak %30 oranına ulaşacağı, fakat petrol kullanımının azalarak toplam enerji tüketiminde %27 oranına düşeceği görülmektedir. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı 1980 yılında %12,6 iken 2035 yılına gelindiğinde bu oranın %14'e kadar yükseleceği Tablo 1.1'de görülmektedir [3].

Çin ve Amerika örnekleri incelendiğinde; kömür üretiminde Çin'in başı çektiği ve kömür üretiminin yarısının Çin'de yapıldığı belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışmada, dünya enerji ihtiyacının %17'sinin kömürden sağlandığı, Çin'in ise enerji ihtiyacının %58'ini kömürden temin ettiği belirtilmiştir. Amerika'nın dünyada son 3 yıl boyunca en fazla petrol üreten ülke konumuna geldiği gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda dünya petrolünün %17'si ve doğalgazın da %23'ünün ABD'de üretildiği görülmektedir [4].

Yapılan araştırmalar incelendiğinde; Dünyada kömür ve petrol kullanımının her zaman revaçta olacağı, bununla birlikte yıllar ilerledikçe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla birlikte, fosil yakıtların kullanımının bir miktar azalabileceği görülmektedir.

1.2. TÜRKİYE'DE ENERJİ İHTİYACI VE ENERJİNİN KARŞILANDIĞI KAYNAKLAR

Artan nüfus ve gelişmekte olan sanayi-teknoloji-üretim sebebiyle ülkemizde enerji talebi artmaya devam etmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacının çoğunu yurtdışından ithal ederek karşılamaktadır. Türkiye'nin 2020 yılında doğalgaz ithalat oranının 44 milyar metreküp olduğu, elektrik ithalatının ise 223 milyon kWh olduğu kaynaklarda belirtilmiştir [5].



Şekil 1.1. Ülkemizde enerji kaynakları kullanım oranları (153,5 Mtep) ve Üretim oranları (39,67 Mtep) ^[6]

Ülkü ve Yalpir [6] tarafından yapılan çalışmaya göre, ülkemizin doğalgaz enerjisi kullanım oranının 40,7 TEP ile %26,5 olduğu fakat kendi kaynaklarımız ile sadece 0,357 TEP karşılayabildiğimizi, aynı şekilde petrol kullanımının 48,5 TEP ile %31,6 olduğu ancak yerli kaynaklar kullanarak sadece 3,01 TEP karşılayabildiğimiz görülmektedir (Şekil 1.1). Bu sebeple enerji kaynakları kullanımının yıllar ilerledikçe artmasıyla birlikte ithal enerjiye ihtiyacımızın da artacağı görülmektedir.

Yılankıran ve Doğan [7] tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına olan ihtiyacını yapay sinir ağları metodu kullanarak hesaplanmıştır. Buna göre Tablo 1.2'de de belirtildiği üzere, 2022 yılı sonunda enerji ihtiyacı 157.3 BTEP olması beklenirken, 2023 yılı sonuna gelindiğinde enerji ihtiyacının giderek artacağı ve 161 BTEP değerine ulaşacağı beklenmektedir.

Tablo 1.2. Türkiye'nin birincil enerji ihtiyacı verileri ^[7]

Yıllar	Birincil Enerji Arzı (BTEP)
2019	145.509
2020	149.452
2021	153.394
2022	157.337
2023	161.279

Araştırmalar incelendiğinde, ülkemizin birincil enerji ihtiyacının giderek artması beklenirken, yeterli kurulu güce sahip olmadığımız için enerji ihtiyacımızın artması ve bu sebeple enerji ihtiyacının ithal kaynaklardan karşılama oranlarının artacağı öngörülmektedir.

1.3.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

1.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bakımından Türkiye’nin Potansiyeli

Dünya’da artan nüfus, hızlı sanayileşme ve teknolojik ilerlemelerle birlikte enerji kaynaklarına talep artmaktadır. Dünya genelinde enerji kaynakları %80-90 oranında fosil yakıtlardan elde edilebilmektedir [8]. Fakat mevcut olan enerji kaynakları artık artan kapasiteyi karşılayamamaktadır. Üretilen enerji ile tüketilen enerji miktarı arasındaki bu dengesizlik, ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde daha fazla sorun olarak gündeme gelmektedir.

Fosil yakıtlar çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalarda her yıl atmosfere 100 milyon ton kükürt bileşikleri, 2 milyon ton kurşun, 20 milyar ton karbondioksit ve diğer zararlı kimyasalların salındığı belirtilmektedir [9].

Fosil yakıtların kullanımı azaltmak ve artan enerji talebini karşılamanın alternatif yolu olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kullanımının faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [8]:

- Enerji kaynakları için dış ülkelere bağımlılığının azalması
- Yenilenebilir enerji tesislerinin düşük yakıt giderlerine sahip olması
- Çevre dostu kaynaklar olmaları
- İklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlamaları
- Temiz ve tükenmez enerji kaynakları olarak gösterilmeleri

Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından yüksek bir kapasiteye sahip olduğu belirtilmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kurulu gücü potansiyeli olarak Dünya’da 12. ve Avrupa’da 5. sırada gösterilmektedir [8]. Yine aynı araştırmaya göre ülkemizin hidroenerji, jeotermal, güneş, rüzgâr enerji potansiyelleri sırasıyla 216 milyar KWh, 31500 MWt, 500 Mtep/yıl, 400 milyar Kwh olarak belirtilmektedir [10].

Tablo 1.3. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu güç gelişim verileri^[11]

Kaynak	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 / 9
Hidroelektrik	22.289	23.643	25.868	26.682	27.273	28.291	28.503	30.984	31.447
Rüzgar	2.760	3.630	4.498	5.751	6.516	7.005	7.591	8.832	10.168
Güneş	0	40	310	833	3.421	5.063	5.995	6.667	7.534
Biyokütle	224	288	345	467	575	739	1.163	1.485	1.782
Jeotermal	331	405	624	821	1.064	1.283	1.515	1.613	1.650
Yenilenebilir Toplam	25.583	28.006	31.645	34.554	38.849	42.381	44.768	49.581	2.581

Tablo 1.3 incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları kurulu tesis kapasitelerinin 2021 yılına kadar, yıllık ortalama %10 oranında bir büyüme ile giderek arttığı gözlemlenmektedir. 2013 yılında toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 25.583 GW iken, 2021 yılına gelindiğinde bu sayının iki katına ulaşarak 52.581 GW'a eriştiği görülmektedir. Türkiye'de toplam elektrik üretimi içerisinde yenilenebilir enerji tesislerinin kapasitesi 2013 yılında %40 iken, bu kapasitenin 2021 yılında %52 seviyelerine kadar önemli derecede artacağı belirtilmektedir. Kurulu güç bakımından hidroelektrik santrallerinin 32.447 GW olarak başı çektiği görülmektedir. Biyokütle enerjisi kaynaklı tesis yatırımlarının da küçümsenmeyecek derecede fazla olduğu, 2013 yılında kapasitenin 224 GW iken, 2021 yılına gelindiğinde ise 1782 GW olarak arttığı gözlemlenmektedir [11].

1.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.3.2.1 Hidroelektrik Enerjisi

Yenilenebilir enerji sistemleri arasında kullanım oranı en yüksek hidroelektrik enerjisidir. Hidroelektrik enerjisi, suyun akışı neticesinde oluşan enerji potansiyelinden yararlanarak elektrik üretilmesi olarak tanımlanmaktadır, hareket eden su kütesinin enerjisi olarak da tanımlanabilmektedir. Suyun hareketinden dolayı

oluşan akım enerjisi, kanallar ve borular vasıtasıyla yüksek noktadan türbinlere iletilir ve türbin sistemlerinin jeneratörleri döndürmesi sonucunda elektrik enerjisi oluşur [9].

Hidroelektrik santrallerinden daha fazla yararlanılmasının sebepleri olarak; ülkemizin coğrafi yapısının santral kurmaya elverişli olması, ülkemizde akarsu rejimlerinin fazla olması ve buna karşılık 579 adet akarsu kaynaklı hidroelektrik santrallerinin olması ve tarımda sulama amaçlı olarak da kullanılabilmeleri gösterilmektedir [9].

1.3.2.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, rüzgârın hareket enerjisinin sırasıyla önce mekanik enerjiye ardından elektrik enerjisine döndüren sistemlere verilen tanımdır. Rüzgâr enerjisi hava kirliliği sorununu azaltması, tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, fazla yakıt maliyeti sorunun olmaması, dışa bağımlılığı azaltması, kurulan rüzgâr türbinlerinin patlama veya radyasyon oluşturma risklerinin olmaması, enerji güvenliğini sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir [12].

Tablo 1.4. Rüzgâr hızlarına göre rüzgâr enerjisi kapasiteleri ^[8]

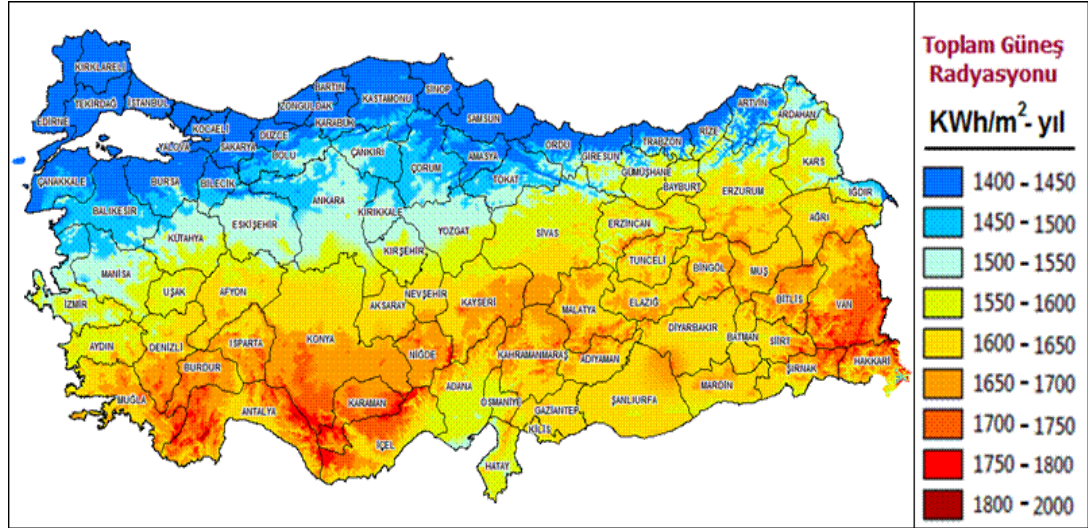
Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı- 50 m (m/s)	Güç Yoğunluğu-50 m (W/m²)	Kapasite (MW)
7.0-7.5	400-500	29.259,36
7.5-8.0	500-600	12.994,32
8.0-9.0	600-800	5399,92
>9.0	>800	195,84
	Toplam	47.849

Tablo 1.4’de verilen bilgiler incelendiğinde, ülkemizde 50 metre yüksekliğinde olan rüzgâr santrallerinden ortalama güç yoğunluğu olarak en yüksek kapasite olan 29.259 MW değeri, yıllık ortalama rüzgâr hızı olan 7-7,5 m/s hız aralığında gerçekleşmektedir [8].

1.3.2.3. Güneş Enerjisi

Popüler enerji yatırımlarından olan güneş enerjisi, güneşlenme gün sayısı fazla olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) ve fotovoltaiik enerji (PV) olarak iki farklı şekilde güneş enerjisinden elektrik enerjisi çevrim tekniği bulunmaktadır. CSP tekniğinde ilk olarak kondansatörler (yoğunlaştırıcılar) topladıkları güneş enerjisini ısı enerjisine çevirirler, daha sonra elde edilen ısı enerjisi, ısı motorları vasıtasıyla Rankin, Brayton ve Stirling çevrimleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Diğer bir teknik olan PV ile de şu şekilde enerji elde edilir; PV sistemleri yarı iletken katmanlardan oluşmaktadır. Böylece toplanan güneş ışınları başka bir enerji türüne dönüştürülmeden direkt olarak güneş enerjisine çevrilebilmektedir. Özellikle kırsal bölgelerde yaygın olarak kullanılan bir teknik olarak bilinmektedir [13].

Güneş enerjisinin tükenmeyen enerji kaynağı olması, kullanımında yakıt gereksiniminin olmaması, tesislerinin bakımının kolay olması, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, çevre dostu tesisler olması, çevreye zararlı gaz salınımı yapmamları sebebiyle sık tercih edilen enerji sistemlerindendir [14].



Şekil 1.2. Şehirler bazında güneş enerji potansiyeli [15]

GEPA (Türkiye Güneş Enerji Potansiyel Atlası)’dan alınan verilere göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresinin 2741 saat olduğu ve güneşten gelen toplam radyasyon yoğunluğunun ise yılda 1.527 kWh/m² olduğu belirtilmektedir [15].

Güneş enerjisi diğer enerjilere göre daha temiz ve fosil kaynaklara ihtiyacımızın arttığı şu günlerde en güvenilir enerji kaynaklarından biridir. Dünya yüzeyine düşen güneşten gelen ışıyım enerjisi miktarı diğer fosil kaynaklı enerji miktarlarına göre 160 kat daha fazladır. Ek olarak nükleer, fosil ve hidroelektrik enerjisinden üretilecek olan yıllık enerjinin toplamından 15 bin kat daha fazla enerji güneş enerjisi yoluyla elde edilebilmektedir [16].

Tablo 1.5. Türkiye’nin yıllık güneş enerji potansiyelinin aylara göre dağılımı^[16]

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu						
Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu						
Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Tablo 1.5’ e göre Türkiye’de en çok Haziran ayında, en az Aralık ayında güneş enerjisinden faydalanılabilir. Yıllık olarak 10¹⁵ kW saat /yıl civarı enerji üretilir.

Bölge bazında bakılacak olunursa, Güneydoğu Anadolu bölgesinin 1980 kWh/m^2 olarak en fazla güneş enerjisi alan bölge olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.3. Vakum Tüplü Güneş Kolektörü Örneği ^[17]

Öz vd. [17] yaptıkları bir çalışmaya göre, vakum tüplü güneş kolektörlerin, ahşap tüplü ve cam kasalı güneş kolektörlerine göre veriminin Tablo 1.6’da da görüldüğü üzere %51 olarak daha fazladır. Yine aynı çalışmalarda 7 farklı deney koşullarında vakum tüplü kolektörlerin verimlerinin %60 oranında daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1.6. Kolektör verimleri ^[17]

	Ortalama Verim %
Vakum Tüplü Kolektör	51,97
Cam Kasalı Kolektör	43,7
Ahşap Kasalı Kolektör	40,47

İleride açıklanacağı üzere, bu tez çalışmasında biyoreaktörün ısıtılmasında vakum tüplü güneş enerjisi sistemi tercih edilmiş olup, böylece biyoreaktörün ısıtılmasında da yenilenebilir enerji tercih edilmiştir.

1.3.2.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal olarak belirlenen sahalardan açılan kuyulardan elde edilen akışkanların, rezervuarlarda toplanarak separatörler vasıtasıyla su ve buhar olarak ayrılması

sonucunda türbinler ve jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretilmesi işlemine, jeotermal enerji denilmektedir [8].

Jeotermal enerji tesislerinin türbin boyutlarının küçük olması, yüksek basınçlarda çalışması, tesislerde hava sızması problemlerinin olmaması, türbinlerin ucuz olması sebebiyle tercih edilen yenilenebilir enerji sistemlerindendir [18].

Enerji Bakanlığı'nın güncel verileri incelendiğinde, ülkemizin mevcut jeotermal enerji kapasitesinin 31500 MWt, elektrik üretimi için 2000 MWe olduğu belirtilmektedir. Ege, Marmara ve İç Anadolu'nun batı kısımlarında jeotermal enerji potansiyelinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir [19].

1.4. ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ

1.4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyogaz

Biyogaz; ayrışabilir olan organik atıkların/maddelerin anaerobik arıtma (havasız arıtma) yöntemiyle parçalanarak metan gazı (CH_4) karbondioksit gazı (CO_2) ve mikroorganizma biyokütlesi gibi son ürünlere dönüştürülmesi sonucu ortaya çıkan renksiz, havadan hafif ve yandığında mavi alev rengi oluşturan bir gaz karışımı olarak tanımlanır. Biyogazın bileşimi incelenecek olursa %50-70 oranında metan gazı, %30-40 oranında karbondioksit gazı, %5-10 oranında hidrojen gazı, %1-2 oranında azot gazı, %0,3 oranında su buharı ve az bir oranda hidrojen sülfür gazı içerdiği tespit edilmiştir. Biyogazın ısı değeri 20 MJ/m^3 olarak bilinir ve biyogazın yanma verimi ise %60 oranındadır [20].

Tablo 1.7. Biyogazın içerik oranları ^[20]

Gaz	Oran (%)
Metan (CH_4)	50-70
Karbondioksit (CO_2)	30-40
Hidrojen (H_2)	5-10
Azot (N_2)	1-2
Su buharı (H_2O)	0,3
Hidrojen Sülfür (H_2S)	0-1

House [21]'e göre, doğal gaz yaklaşık %90-95 oranında metan içermektedir, biyogazın içerisindeki metan oranının %50-70 oranında olduğu düşünülecek olursa biyogaza düşük dereceli doğalgaz da denilebilmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda 1 metreküp biyogazın 1,1 litre benzine; 1,7 litre biyoetanol gazına, 0,97 metreküp doğalgaza eşit olduğu belirlenmiştir [22]. Yine başka bir araştırmada 1 metreküp biyogaz 60-100 W değerinde enerji verebileceği ve bu enerjiyle ortam 6 saat aydınlatılabileceği, 5-6 kişilik bir aile için 3 öğün yemek pişirilebileceği, bir motorun 2 saat çalıştırılabileceği ve 1,25 kWh enerji üretilebileceği belirtilmiştir [20].

Biyogaz üretiminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [20]:

- Entegre atık sistemi açısından düşünüldüğünde yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Çevre dostu enerji ve gübre üretilmesi sağlanır.
- Atıkların kaynağında geri kazanılması ve arıtılması sağlanır. Hayvan gübresi ve yemek atığı gibi organik atıklarının doğrudan yakılması veya doğrudan gübre olarak kullanılmasının önüne geçilerek bertarafı yapılır böylece organik katı ve sıvı atık problemi çözülmüş olur.
- Temiz bir enerji kaynağı elde edilir.
- Fermente gübre adı verilen toprak kalitesini artıran ve bitkiler için besleyici maddeler içeren gübre elde edilmiş olur. Böylece atıklar faydalı bir şekilde toprağa kazandırılmış olur.
- Hayvan gübresinin kokusu arıtım sonucunda azalmış olur.
- Hayvan gübresi içerisinde yer alan patojenler giderilmiş olur.
- Atmosfere salınan metan gazı ve amonyak gazının emisyonlarında ciddi oranda azalma sağlanır.
- Hayvan gübrelerinden gelebilecek; insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek ve yeraltı sularının kirlenmesine sebep olacak kimyasal faktörlerin giderilmesi sağlanır.

1.4.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Hayvansal Atıklar

Biyogaz üretiminde büyük çoğunlukla büyükbaş hayvan gübresiyle çalışılmaktadır. Büyükbaş hayvan gübreleri tekil olarak veya başka organik atıklarla karıştırılarak biyogaz üretimine elverişli atıklardır [20]. Kontrolsüz bir şekilde atıldığında, çevreye

ciddi olumsuz etkileri olan organik içeriği yüksek olan hayvansal atıklar çevre dostu bir teknoloji olan anaerobik çürütme işlemi ile bertaraf edilerek ısı değeri yüksek olan metan gazı üretilip bu gazdan ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Ayrıca çürütme işleminin sonucunda toprak iyileştirici olarak kullanılan, azot fosfor bakımından zengin fermente gübre üretilmektedir. Bu gübre katı ve sıvı fazdan oluşmaktadır; katı faz tarımda ve bitki yetiştiriciliğinde toprağın kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir [23].

Bu tez çalışmasında biyogaz üretiminde hayvansal atıkların kullanılması hedeflenmiştir. Hayvan gübresi biyogaz üretiminde sıklıkla kullanılan organik atıklardır. Hayvan atıklarının kolay bir şekilde depolanabilmesi, depolama sürecinde pH değerinin sabit kalması hayvan atıklarının kullanılmasının tercih sebeplerindendir. Biyogaz üretiminde reaktörlerde hayvan atıkları gıda atıkları ile de belirli oranlarda karıştırılıp kullanılabilirler. Bu atıklardan biyogaz üretim işleminin sonucunda azot muhtevası yüksek ve organik madde muhtevası sabit oranda ürün elde edilmiş olur. İnsan ve bitki sağlığını olumsuz etkileyebilecek patojenik organizmaların giderimi sağlanmış olur. Tablo 1.8’de hayvan atıklarından elde edilebilecek gübre oranları verilmiştir. Büyükbaş hayvanların atıklarından üretilebilecek gübrenin, büyükbaş hayvan atığının %5-10’u oranında olacağı belirtilmiştir [20].

Tablo 1.8. Hayvan atığı potansiyelleri ^[20]

Organik Atık Kaynağı	Atık (kg gübre/gün)
Büyükbaş	Hayvan atığının %5-10’u
Koyun-Keçi	Hayvan atığının %4-5’i
Tavuk	Hayvan atığının %3-4’ü

1.4.3. Türkiye’ de Bulunan Lisanslı Biyogaz Tesisleri

Türkiye’ de 2021 yılı itibariyle 61 adet kurulu biyogaz tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler büyük çaplı tesislerdir. Toplam kurulu güç 229,78 MW olduğu, devreye alınan gücün

ise 192,03 MW olduğu gör÷lmektedir. Tablo 1.9'dan da anlaşılabileceği gibi, bu tesisler büyük çaplı tesislerdir [24].

Tablo 1.9. Türkiye'de yer alan biyogaz tesisleri [24]

TESİSLER	ŞEHİR	GÜÇ/DEVREYE ALINAN GÜÇ
Enfaş Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Bursa Karacabey	6.4 Mw/6.4
Enfaş Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Aksaray	6.4 Mw/6.4
Yapılcanlar Biyogaz A.Ş	Aksaray	1.2 Mw/1.2
Yapılcanlar 2 Biyogaz A.Ş.	Aksaray	1.07 Mw/1.07
Enfaş Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	İzmir Tire	4.2 Mw/4.2
Tire Biyogaz A.Ş.	İzmir Tire	4.8 Mw/4.8
Arf Bio Yenilenebilir Enerji A.Ş.	İzmir Ödemiş	4.8 Mw/4.8
Evb Biyogaz Ener.Üretim A.Ş	İzmir Halilbeyli	6.0 Mw/3.0
Energrom Enerji Üretim A.Ş	İzmir Foça	3.2 Mw/3.2
Toros Gönen Enerji Ür. A.Ş.	Balıkesir Gönen	3,62 Mw/3.62
Astosan Süt Biyogaz	Balıkesir Gönen	1.05 Mw/0.25
Mutlular Biyogaz A.Ş	Balıkesir Gönen	10.9 Mw/6.24
Karbio Elek.Üretim A.Ş.	Balıkesir Edincik	2.1 Mw/2.1

Balıkesir Biyogaz A.Ş.	Balıkesir-Şamlı	1.5 Mw/1.5
Energrom Biyogaz A.Ş	Balıkesir-Merkez	3.2 Mw/3.2
Afyon Enerji ve Gübre A.Ş.	Afyon Sülümenli	4.2 Mw/4.2
Afyon Biyogaz Elek.Üretim A.Ş.	Afyon Merkez	8.4 Mw/8.4
Akıncı Elek.Üre.A.Ş	Afyon Sandıklı	1.4 Mw/1.4
Bioden Enerji A.Ş.	Afyon-Başmakçı	4.0 Mw/4.0
Polres Elk. Üretim Ticaret A.Ş.	Ankara Polatlı	2.97 Mw/2.97
Padaş Enerji ve Gübre Üre.A.Ş.	Ankara Polatlı	3.0 Mw/3.0
Enerbes Elek.Üre.A.Ş	Ankara Polatlı	4.0 Mw/4.0
De Solar 7 Biy.En.Üretim A.Ş.	Ankara Sincan	3.2 Mw/3.2
Hüma Elektrik Üre.A.Ş	Ankara Çubuk	3.0 Mw/3.0
2BZ Elektrik Üre.A.Ş.	Ankara Çubuk	3.0 Mw/3.0
3A Bes Elek.Üre.A.Ş.	Ankara Akyurt	3.0 Mw/4.0
Onat Enerji A.Ş	Ankara Akyurt	3.12 Mw/3.12
Efeler Biyogaz Elek.Üretim A.Ş.	Aydın Germencik	4.8 Mw/4.8
Energrom Kuyucak Biyogaz	Aydın Kuyucak	1.5 Mw/1.0
Seleda Biyogaz En.A.Ş.	Babaeski-Kumrular	4.2 Mw/4.2

Ahi Suluova Biy.A.Ş.	Amasya	6.6 Mw/6.6
Sigma Elekt.Üre.A.Ş.	Amasya-Suluova	2.0 Mw/2.0
Zen Global Biy.A.Ş	Amasya	1.5 Mw/1.5
Karaman Enerji Ür.A.Ş.	Karaman	1.4 Mw/1.4
Gazibel A.Ş.	Gaziantep Oğuzeli	1.0 Mw/1.0
Askoç Enerji A.Ş.	Diyarbakır	4.27 Mw/3.5
Nizip Biyogaz A.Ş	Gaziantep	4.5 Mw/ 1.5
Atlas İnş.San.ve Tic.A.Ş	Burdur	3.0 Mw/3.0
Çorum Biyogaz A.Ş	Çorum	6.0 Mw/6.0
Askoç Enerji Üretim A.Ş	Diyarbakır	2.1 Mw/2.1
Ağman Ovacık Biy.A.Ş.	Müsellim-Lüleburgaz	4.8 Mw/4.8
Beüaş Elek.Üretim A.Ş	Şanlıurfa-Ceylanpınar	2.67 Mw/1.263
Kalemirler Ener.Üre.A.Ş	Alanya	0.5 Mw/0.5
WM Enerji Tic.A.Ş	Kütahya-Tavşanlı	1.5 Mw/1.5
GZL Enerji Tic.A.Ş.	Samsun	1.5 Mw/1.5
BYZ Enerji Tic A.Ş.	Kayseri	1.5 Mw/1.5
İstanbul Arıtma Elk.Üre.A.Ş	İstanbul Tuzla	1.0 Mw/1.0
Konya Şeker San.A.Ş.	Seydibey	1.56 Mw/1.56

Asya Biyogaz A.Ş	Konya	6.0 Mw /3.0
Beyaz Piramit A.Ş.	Konya	6.0 Mw/ 1.5
Konya Biyogaz A.Ş	Konya-Çumra	12.0 Mw/ 6.0
Toros Meram Biyogaz	Konya Meram	6.0 Mw/6.0
Gözlü Biyogaz A.Ş	Konya Sarayönü	3.47 Mw/0.25
Babil Biyogaz	Şanlıurfa	4.68 Mw/1.56
Çağlayanlar 2 Biyogaz A.Ş.	Kırşehir-Mucur	9.0 Mw/4.5
Emin Biyogaz A.Ş	Kırşehir	3.0 Mw/3.0
Enfaş Elek.Üret.A.Ş.	Bingöl	6.4Mw/2.1
Güney Biyogaz A.Ş	Denizli	3.12 Mw/3.12
KD Gübre ve Enerji A.Ş.	Eskişehir- Beylikova	4.68 Mw/1.56
Mudurnu Ener.A.Ş	Bolu	2.6 Mw/1.2
Zeyn Biyogaz A.Ş	Çankırı-Çerkeş	1.5 Mw/1.5

1.4.4. Fermente Gübre

Hayvan gübrelerinin uygun teknikler uygulanmadan tarım arazilerinde direkt olarak kullanılması gübreden alınabilecek verimi azaltmakta ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Günümüzde hayvancılığın hızlı bir şekilde artmasıyla hayvansal atıklar ciddi sorun oluşturmaya başlamıştır. Eğer fermente gübreler doğru şekillerde değerlendirilirse, bir atık olarak görülmeyecek, tarımsal üretimi arttıracak ticari bir ürün olarak kullanılabilir.

Gübreler doğru bir şekilde kullanılmadan toprağa direkt olarak verildiğinde bitkisel üretim miktarı, ürünün kalitesi, yer altı ve yer üstü su kaynakları, toprağın yapısı olumsuz olarak etkilenmeye başlar. Hayvanlara, insanlara, bitkilere ve toprağa hastalık yapıcı organizmalar yayılmaya başlar. Ayrıca çevreye ağır bir koku yayılır [25].

Hayvansal gübreler tarım alanlarında geçirgen topraktan sızarak taban suyuna ulaşır. Yağmurlu havalarda ve eğimli arazilerde yüzey suları da olumsuz etkilenir. Akarsular ve yağmurlarla gübreler taban sularını kirletir. Normal nitrat değeri 1 mg/ml olan çayır mera arazilerindeki sular gübre ile kirlendikçe bu değer 31 mg/ml ye kadar çıkar. Azot ise amonyak formuna girerek sularda balık ölümlerinin artmasına sebep olur. Gübre ile gelen organik maddeler sularda çürüyerek, su içerisinde yer alan oksijen miktarını azaltır. Ayrıca, gübre yüzey sularına karışarak alglerin ve otların su içerisindeki çoğalmalarını artırmakta, bunların çürümeye başlamasıyla da kirlilik artmaktadır [25].

Diğer bir sorun da gübreden yayılan kokudur. Yığılan gübreler den ilk olarak zayıf kokular çıkmaya başlar. Daha sonra ısınin ve nemin yükselmesiyle birlikte bakteri faaliyetleri (bakteriyolojik parçalanma) başlar. Ürik asit amonyum tuzlarına dönüşür. Amonyak çıkışının başlamasıyla da koku ağırlaşmaya başlar. Oluşan kokular rüzgârla birlikte yayılır. Gübreler yaşam alanlarına yakın yerlerde yayıldığında ağır bir koku oluşturmakta ve sinek gibi çeşitli haşeratların varlığının çoğalmasına sebep olmaktadır. Böylece bulaşıcı hastalıklar artabilir ve çevresel sağlık olumsuz olarak etkilenebilir [25].

Biyogaz üretimi tamamlandıktan sonra, reaktör içerisinde katı veya sıvı formda fermentasyon işlemi sonucunda olgunlaşan fermente gübre olarak adlandırılan gübre elde edilmektedir. Fermente olmuş atık veya çamur olarak da bilinen fermente gübreler Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) içeriğinden dolayı bitkilerin gelişmesi için bir besin kaynağı, toprak kalitesinin artırıcı ve organik madde içeriği yüksek olan iyileştirici maddelerdir [25].

Fermente gübre tarlalara farklı şekillerde uygulanabilir:

- Sıvı olarak
- Granül haline getirilerek
- Beton – toprak havuzlarda bekletilerek

Hayvan gübreleri tarlaya verilmeden önce bir sene bekletilmektedir. Bu süre fermente gübre üretimi ile birlikte 15-20 gün olmaktadır. Bekletme süresinin düşmesiyle birlikte gübrenin içerisinde alan ve bitkilere faydalı olan besin maddelerinin kayıpları böylece azalmaktadır [26].

Fermente gübre kullanımının faydalarına bakılacak olursa [27]:

-  orak olan arazilerde ve toprağın mineral kalitesinin yetersiz olduğu topraklarda %30 oranında verim artışı gözlenebilir.
- Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri gelişir.
- Toprağın içerisindeki faydalı mikroorganizma faaliyetleri artar. Böylece bitkiler zararlı mikroorganizmalara karşı güçlenmiş olur.
- Su toprakta daha fazla süre tutulur.
- Bitki kökleri toprağa kolayca yayılabilir.
- Kalitesini yitirmiş topraklarda, organik madde ve besin elementlerinin kazanımı sağlanır ve toprak eski haline dönebilir.
- Bu gübreler zararlı mikroorganizma içermezler.
- Nitrat veya amonyak seviyeleri tarım için uygun seviyeye ulaşır.

1.4.5. Hayvansal Atıklardan Biyogaz  retim Teknolojisi

1.4.5.1. Anaerobik Fermentasyon-Havasız  r tme

Biyogaz  retimi için bir dizi mikrobiyolojik süreç gerçekleşmektedir. Biyogaz  retiminde hammadde olarak organik atıklar kullanılmaktadır. Organik atıkların arıtılması ise mikrobiyal varlıkların katkılarıyla gerçekleştirilmektedir. Organik atıklar genellikle kolay bir şekilde biyolojik olarak parçalanabilen maddelerdir. Bu tez çalışmasında organik atıkların anaerobik arıtma (havasız arıtma/ r tme/anaerobik fermentasyon) yolu ile giderimine yönelik olarak çiftlik tipi bir biyogaz reaktörünün tasarımı, imalatı ve kurulumu hedeflenmiştir.

Anaerobik  r tme; hayvan gübresi, gıda atığı, evsel organik atıklar ve arıtma çamurları gibi organik içeriği yüksek atıkların hem bertarafı hem de bu atıklarından enerji üretimi anlamında son yıllarda ülkemizde daha yoğun bir şekilde uygulanmaya başlanan  evre dostu bir metot olarak bilinmektedir.

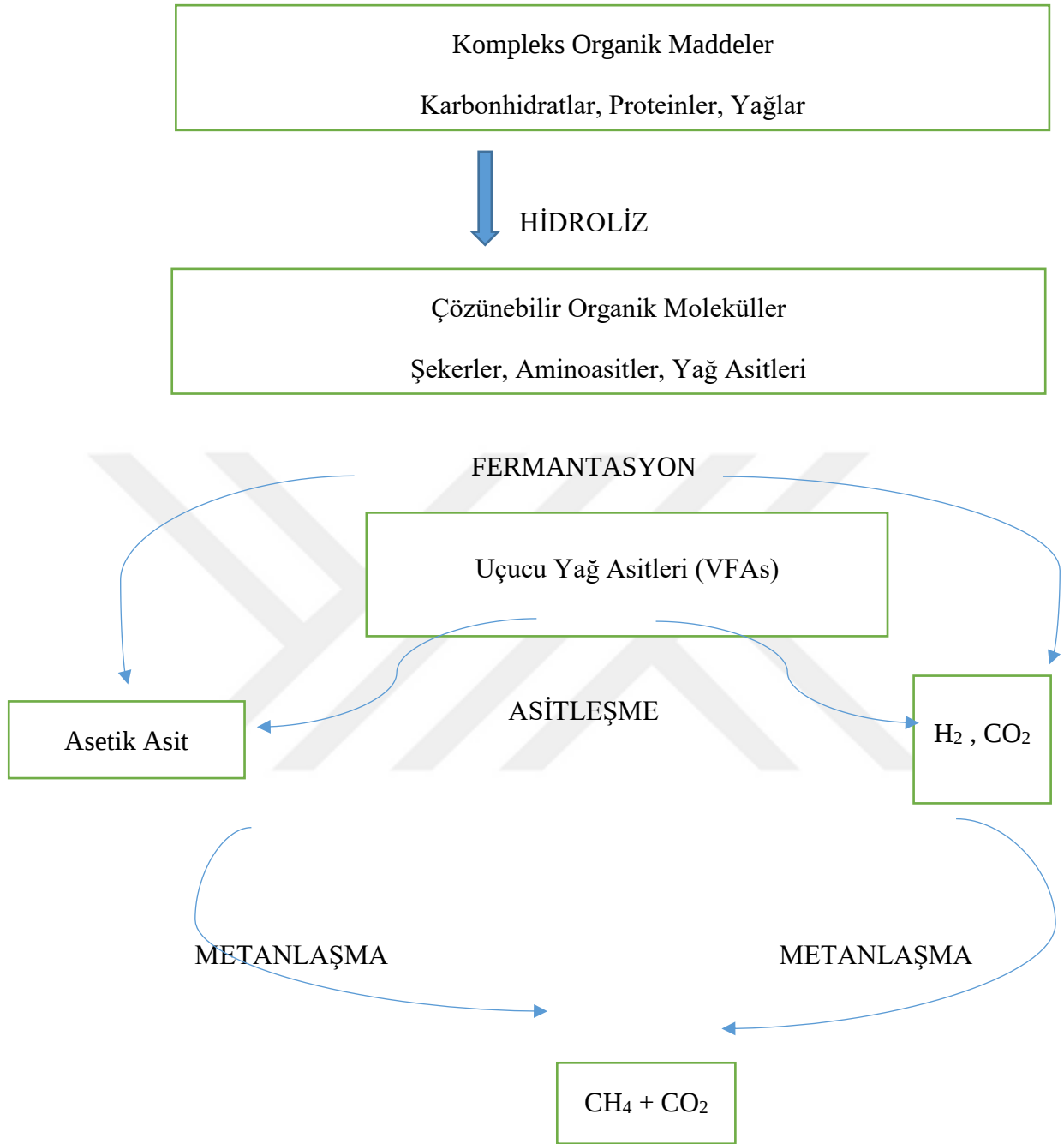
Zupancic ve Grilic [28] yaptıkları çalışmada anaerobik çürütme işlemini; biyolojik olarak parçalanabilen atıkların oksijen gazının kullanılmadığı, çürütme işlemini gerçekleştiren mezofilik-termofilik-fakültatif bakteriler ve arkeler için uygun sıcaklık koşullarının oluşturulduğu, giren ürünlerin biyogaza ve son fermentasyon ürününe dönüştürüldüğü arıtma prosesi olarak tanımlanmıştır.

1.4.5.2. Anaerobik Arıtım Sırasında Gerçekleşen Biyokimyasal Reaksiyonlar Dizisi

Biyogaz üretimi sentrofik bir uyum içinde çalışan farklı mikroorganizma grupları tarafından gerçekleştirilir. Bu sebeple karmaşık reaksiyon dizisi olarak da görülebilmektedir.

Anaerobik fermentasyon işleminde dört ana basamak bulunmaktadır:

1. Hidroliz
2. Fermentasyon
3. Asitleşme (Asetik Asit Oluşumu)
4. Metanlaşma (Metan Gazı Oluşum)



Şekil 1.4. Anaerobik Fermantasyon ^[20]

a. Hidroliz ve Fermantasyon

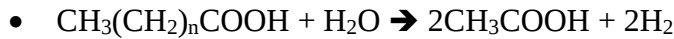
Hidroliz aşamasında organik polimerler hücre dışı enzimler yardımı ile hücre zarından geçebilecek monomer veya dimerlere parçalanırlar. Fermantasyon aşamasında çözünmüş organik maddeler biyolojik olarak başlıca uçucu yağ asitlerine (VFA), alkollere, hidrojen ve karbondioksite dönüştürülürler.

Biyokütle de denilen kompleks organik maddelerden kimyasal enerji üretilebilmesi için daha küçük yapıtaşlarına ayrılması gerekmektedir. Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi karbonhidratlar ($C_{10}H_{10}O_5$)_n, proteinler ($10C_2NH_3H_2O$) ve yağlar ($C_5OH_{90}O_{10}$) gibi karmaşık organik maddeler, yapı taşlarına ayrılarak şeker, yağ asidi ve gliserole dönüştürülürler. Hidroliz ve fermantasyon aşamasında hidrolitik ve fermantatif bakteriler önemli rol oynar. Hidroliz aşaması hidrolitik bakterilerin yardımıyla biyolojik olarak, hücre dışı enzimler ile gerçekleştirilebilmektedir [29,30].

Fermantasyon aşamasında ise karbonhidratlar ($C_{10}H_{10}O_5$)_n, proteinler ($10C_2NH_3H_2O$) ve yağlar ($C_5OH_{90}O_{10}$) parçalandıktan sonra karbondioksit (CO_2), asetik asit (CH_3COOH) ve çözülebilir uçucu organik maddelere ($[CH_3(CH_2)_nCOOH]$, VFA's) dönüştürülür. Uçucu yağ asitlerinin oluşum aşaması olarak da adlandırılır [20].

b. Asitleşme (Asetik Asit Oluşumu)

Asitleşme aşamasında asetojenik bakteriler aktifleşir. Hidroliz ve fermantasyon sonucu oluşan uçucu yağ asitleri asetik aside bu aşamada dönüştürülür. Bu aşamada asetojenik bakteriler iki farklı işlem gerçekleştirir. İlk işlemde uçucu yağ asitleri asetik asit ve hidrojene dönüşür. Bu işlemde üretilen asetik asit miktarı ikinci işleme kıyasla daha yüksektir.



İkinci işlemde açığa çıkmış olan karbondioksit ve hidrojen kullanılarak asetik asit oluşturulur.



c. Metanlaşma (Metan Gazı Oluşumu)

Anaerobik çürütme prosesinin en son aşaması metan oluşumudur. Metanojenler bu reaksiyonda devreye girer. Metanojenlerin bir kısmı önceki aşamalarda oluşmuş olan CO_2

ve H₂ gazlarını kullanarak CH₄ (metan gazı) ve H₂O (su buharı) oluştururlar. Diğer grup metanojenler ise ikinci aşamada oluşan asetik asidi dönüştürerek CH₄ (metan gazı), karbondioksit (CO₂) ve H₂O (su buharı) oluştururlar. Üretilen bu gazlar biyogazın temelini oluşturan gazlardır [20]. İstenmese de biyogaz içerisinde sülfat indirgeme neticesinde oluşan H₂S de bulunmaktadır

- $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

Genel olarak; ilk reaksiyon elde edilen metan miktarının %30'undan sorumlu iken, ikinci reaksiyon %70'inden sorumludur.

Metanlaşma aşamasında çalışan bakteriler çok yüksek ve çok düşük pH koşullarından etkilenebilirler. Bu yüzden bu aşama için en uygun pH aralığı 6.5-8 olarak belirlenmiştir [29].

1.4.5.3. Anaerobik Çürütme İşlemi İçin Önemli Parametreler

Anaerobik çürütme işlemi mikroorganizmalar varlığında gerçekleşmektedir. Mikroorganizmaların varlıklarını sürdürebilmesi ve optimum çalışma koşullarının oluşması bazı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler aşağıda belirtilmiştir.

- Sıcaklık
- Redoks Potansiyeli
- C:N Oranı ve Amonyum İnhibisyonu
- Uçucu Yağ Asidi (VFA) Konsantrasyonları ve pH Etkisi
- İnhibisyona Sebep Olabilecek Faktörler
- Bekletme Süresi
- Reaktör Yüğü
- Toplam Katı İçeriğı
- Biyogaz Özgöl Verimi
- Parçacık Büyüklüğü

Tablo 1.10 Anaerobik çürüme reaksiyonları için önemli parametreler ^[31]

Parametre	Hidroliz/Asit Oluşumu	Metan Oluşumu
Sıcaklık	25-34 °C	Mezofilik: 30-40 °C Termofilik: 50-60 °C
pH Değeri	5,2-6,3	6,7-7,5
C:N oranı	10-45	20-30
Redoks potansiyeli	+400-300 mV	-250 mV dan az
C:N:P:S oranı	500:15:5:3	600:15:5:3
İz elementler	-	Ni, Co, Mo, Se

Deublein ve Steinhauser [31] yaptıkları çalışmada; Tablo 1.9’da görüldüğü gibi; anaerobik çürütme aşamasının her bir basamağı için dikkat edilmesi gereken faktörleri sunmuştur. Hidroliz, fermentasyon ve asit oluşum aşamalarında sıcaklık aralıkları 25-34 °C iken bu değer metan oluşum aşamasında mezofilik metanojenler için 30-40 °C ve termofilik metanojenler için ise 50-60 °C dir. pH değerleri hidroliz, fermentasyon ve asit oluşum aşamalarında 5,2-5,3 iken bu değerler metan oluşum aşamasında 6,7-7,5 dir. C:N oranı ise hidroliz, fermentasyon ve asit oluşum aşamalarında 10-45 iken metan oluşumu aşamasında 20-20 arasındadır. C:N:P:S oranı hidroliz, fermentasyon ve asit oluşum aşamalarında 500:15:5:3 iken bu oran metan oluşum aşamasından 600:15:5:3 dür. Ni, Co, Mo, Se gibi elementler metan oluşumu aşamasında gerekmede olup, konsantrasyonlarının izlenmesi önemlidir.

Asetojenik bakteriler ve metanojenler için bazı koşullar birbirinden farklılık göstermektedir. Tablo 1.11’e göre de metanojenik arkelerin rejenerasyon sürelerinin diğer canlı organizmalara kıyasla daha kısa olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere bu canlıların daha yavaş büyüme hızına ve çevresel faktörlerden daha çabuk etkilenebileceği görülmektedir [29].

Tablo1.11 Mikroorganizmaların rejenerasyon süreleri ^[29]

Mikroorganizma	Rejenerasyon Süresi
Asidojenik bakteri	36 saatten az
Asedojenik bakteri	80-90 saat
Metanojenik arke	5-16 gün
Aerobik mikroorganizmalar	1-5 saat

a. Sıcaklık

Biyogaz üretiminde reaktör ortamının sıcaklık derecesi, metan oluşumun üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Metanojenler denilen metan gazını oluşturan bakteriler sıcaklık değişimlerinden hızlı etkilenirler. Metanojenler çok düşük ve çok yüksek sıcaklık koşullarında aktifliklerini yitirirler ve gaz üretmezler.

Her ne kadar termofilik reaktörlerde mikroorganizmaların büyüme hızları daha yüksek olsa da düşük işletme maliyetleri ve daha stabil reaktör performansları sebebiyle genellikle gerçek ölçekli uygulamalarda mezofilik koşullar altında işletilen çürütücüler tercih edilmektedir.

Metanojenik arkeler sıcaklık koşullarına bağlı olarak aşağıdaki gibi 3 gruba ayrılırlar [20];

- Sakrofilik: 10-20°C,
- Mezofilik: 20-40 °C,
- Termofilik: 40-60 °C.

Öztürk [29] termofilik sıcaklık koşullarında metan gazı üretiminin mezofilik koşullarına göre iki kat daha yüksek olabileceğini belirtmiştir. Kullanılacak olan reaktör hacminin ise termofilik koşullarda mezofilik koşullara göre yarı yarıya düşebilmektedir. Aynı çalışmada hidrolik bekleme süresi her iki koşul için aynı tutulmuş ve termofilik çalışma koşullarında mezofilik ortama göre daha yüksek organik yükleme yapılabildiği belirtilmiştir. Katı madde içeriği %15,8 olan hayvan gübresi termofilik şartlarda çalıştırıldığında HRT (hidrolik bekleme süresi) nin 6,3 gün olarak gözlemlendiği, yine aynı

yükleme oranında mezofilik şartlar oluşturulduğunda ise HRT'nin 10,4 gün olduğu tespit rapor edilmiştir. Oluşan katı madde miktarının ise mezofilik şartlarda daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Öztürk [29] yaptığı aynı çalışmada, 22°C'nin üstünde işletilen reaktörün daha iyi bir performans sağladığını belirtilmiştir. 10 °C altına ise metan gazı üretimin durduğu vurgulanmıştır. Reaktör içerisindeki sıcaklık koşullarının saatlik olarak sakrofilik koşullar için $\pm 2^{\circ}\text{C}$, mezofilik şartlar için $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve termofilik şartlar için $\pm 1^{\circ}\text{C}$ aralığında korunması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü ani sıcaklık değişimlerinde bakterilerin çalışma hızlarının düştüğü bilinmektedir.

Kaya ve Öztürk [20], biyogaz üretiminde en yüksek verimin 30-35 °C aralığında olduğunu rapor etmiştir. Reaktörde yer alan amonyak miktarının sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını, metan bakterilerinin de bu durumdan olumsuz etkilendiği ve sonuç olarak biyogaz üretiminin azaldığı belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada 5 dereceden fazla ani sıcaklık değişimlerinin bakterinin çalışma aktivitesini olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Beş dereceden fazla ani sıcaklık değişimlerinde reaksiyon sonucunda uçucu asit birikmesinin olmasından dolayı bakteri faaliyetinin durabileceği, fakat bu durumla baş etmenin yolunun, daha büyük reaktörler kullanılması olduğu belirtilmiştir [20].

b. pH

Biyogaz üretiminde aktif rol oynayan metanojenik bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda aktivitelerini sürdürürler. Bir biyogaz tesisinde ortalama pH'nın 6,5-8 değerleri arasında tutulması gerekmektedir.

Dobre ve Nicoale [32] yaptıkları çalışmalarda; yüksek biyogaz üretim verimi için pH değerlerinin hidroliz ve fermentasyon aşamalarında 5-6, metan oluşumu aşamasında ise 6,5-8 arasında olması gerektiğini vurgulamıştır.

Ortamda çözünmüş organik madde miktarı artışı asit miktarını artırabilir çünkü asit üretimi metan üretiminden daha hızlıdır. Bu durumdan metanojenler olumsuz olarak etkilenirler ve inhibisyon başlayabilir ve metan üretimi durmaya başlar. pH değeri düşmeye devam ederek 5 in altına inerse, metan üretim reaksiyonları duracaktır [20,32].

pH değeri 8,5 değerinin üzerine çıkarsa ortam koşulları metan üreten bakteriler için olumsuz olmaya başlayacaktır. Çünkü metan üreten bakteriler organik azotu fermente ettikten sonra, reaksiyon sonucunda ortamda amonyak gazı (NH_3) açığa çıkacak ve bu durum amonyak inhibisyonuna neden olacaktır [20].

Anaerobik reaktör sistemlerinde pH değerleri bikarbonat tampon sistemi ile kontrol edilebilmektedir. Bikarbonat (HCO_3^-) tampon sistemleri CO_2 gazının kısmi basıncına ve ortamdaki temel asit ve gaz bileşenlerine bağlıdır. Ortamda asit ve baz birikiminin sonucunda tampon çözelti devreye sokularak pH değişimleri azaltılabilir. Eğer sistemin tampon çözelti değerleri aşılsa, pH değerleri değişecek ve süreç bozulacaktır [32].

Bir diğer koruma sistemi ise H_2 kullanımıdır. H_2 gazının metan üreten bakterilerin aktifliğini sağlayarak ortamın pH dengesini koruduğu belirtilmiştir [33].

c. Karbon/Azot Oranı

Karbon (C) ve Azot (N) çürütme işlemi sırasında metanojenlerin büyüüp gelişmeleri için ana besin kaynaklarıdır. Çünkü mikroorganizmalar organik atığın içerisinde yer alan karbonu enerji kaynağı olarak, azotu ise yeni hücreler oluştururken ve gelişmeleri için gerekli olan protein içeriğini elde etmek için kullanmaktadırlar [25].

Biyogaz reaktör sisteminin performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri olan karbon/ azot oranı (C/N) yapılan araştırmalarda 20/1-30/1 olarak optimum oran olarak belirtilmiştir [22]. Bu oranlar organik atığın cinsine göre değişmektedir [25].

Karbon/azot oranının kontrolü çok önemlidir. Kontrolü uygun yapılamazsa, metanojenik arkelerin çalışması olumsuz etkilenebilir. Yüksek C/N oranı biyogaz üretimi durmasına sebep olabilmektedir. Çünkü ortamda karbon miktarı yüksek olacaktır ve bakterilerin gelişmeleri için gerekli olan azot miktarı yetersiz kalmış olacaktır [33].

Karbon/azot oranı çok düşük olduğunda ise özellikle 10'un altına düştüğünde, metan üretimi tekrar olumsuz etkilenecektir. Çünkü ortamda fazla amonyak üretimi olacaktır ve amonyak (NH_3) azot formunda ortamda birikmeye başlayacaktır. Amonyakın birikmesi sonucunda ortamın pH seviyesini artırarak 8,5 değerine çıkmasını sağlayacaktır, bu da

metanojenlerin çalışmasına zarar verebilecektir [25]. C/N oranını yükseltmek için reaktör girişinde farklı organik atıkların karıştırılarak oranın dengelenmesi tavsiye edilmektedir.

d. Bekleme Süresi (HRT)

Bekleme süresi; biyogaz reaktörüne beslenen organik atığın reaktör içerisinde ortalama kalma süresidir. SRT (katı bekleme süresi) ve HRT (hidrolik bekleme süresi) olarak iki farklı süre tanımı bulunmaktadır. Bekleme süresi hesaplanırken; toplam reaktör hacminin günlük yüklenen madde hacmine oranı olarak hesaplanmaktadır [20].

HRT; organik atıkların mikroorganizmalar tarafından çürütme işlemi sonucunda, biyogaz üretilmesi için geçen süre olarak tanımlanır. Organik atığın reaktör içerisinde bekletilme süresi olarak da tanımlanmaktadır.

$$HRT = \frac{\text{Reaktör hacmi}}{\text{Debi}} = \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 / \text{gün}}$$

olarak formülize edilmiştir.

Anaerobik reaktörlerde biyogaz üretimi verimi, bekleme süresinin artmasıyla birlikte doğru orantılı artmaktadır. Biyogaz üretiminin hızı ise bekleme süresiyle ters orantılı olarak azalmaktadır. Biyogaz sistemlerinde HRT ve sıcaklık birlikte değerlendirilebilir. Reaktör işletim sıcaklığına bağlı olarak HRT değerleri 2—120 gün arasında değişmektedir. Daha sıcak bölgelerde bu değer 40-50 gün iken, soğuk bölgelerde 100 gün olarak değişmektedir [32].

Hayvan gübresinin içerisinde yer alan organik maddelerin çürüme hızı, seçilecek olan HRT süresini etkileyen faktörlerdendir. HRT'nin değişiminin incelenebileceği ve HRT'yi en çok etkileyen basamak hidroliz basamağıdır. Hayvan atıklarının içerisinde yer alan organik maddelerin çürüme hızı sırasıyla; karbonhidratlar, yağlar, proteinler, hemiselüloz ve selüloz olarak gerçekleşmektedir. Karbonhidratlar ve yağların hidrolizi daha kolay gerçekleşmektedir. Büyükbaş hayvan gübrelerinin içeriğinde daha çok selülozlar bulunmaktadır [33].

Hidrolik bekleme süresi düşük olursa, reaktör içerisindeki bakteriler hızlı bir şekilde yıkanmaya başlar ve sistemdeki uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bunun sonucunda

fermantasyon reaksiyonları tamamlanamaz. Bu durum biyogaz üretiminin azalmasına sebep olur [33].

Reaktör içerisindeki sıcaklık ile gerekli hidrolik bekletme süresi ters orantılıdır. Sıcaklık arttıkça ihtiyaç duyulan HRT düşer. Bunun sebebi olarak, sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda reaksiyonların daha hızlı gerçekleştiği gösterilebilir. Bu sebeple reaktör tasarımı yapılırken sıcaklığa uygun olarak hidrolik bekleme süresinin seçilmesi önemlidir [33].

1.5. BİYOGAZ POTANSİYELİ BELİRLENMESİ VE ANAEROBİK REAKTÖR ÖRNEKLERİ

1.5.1. Türkiye'nin Biyogaz Potansiyeli

Enerji tüketimi dünyada ve özellikle Türkiye'de nüfus artışına paralel olarak yükselmektedir. Artan enerji ihtiyacı ile birlikte fosil kaynak kullanımı gittikçe artmakta, bu durum iklim değişikliğine ve ciddi ekonomik sorunlara sebep olmaktadır. Enerji Bakanlığı'nın verilerine göre 2000-2010 yılları arasında enerji tüketimi iki katına, 2010-2020 yılları arasında ise 5 katına kadar çıkmıştır [34]. Avrupa'da ise 2015 yılında toplam enerjinin %2-3'ü sadece biyogaz enerjisinden sağlanmıştır [35].

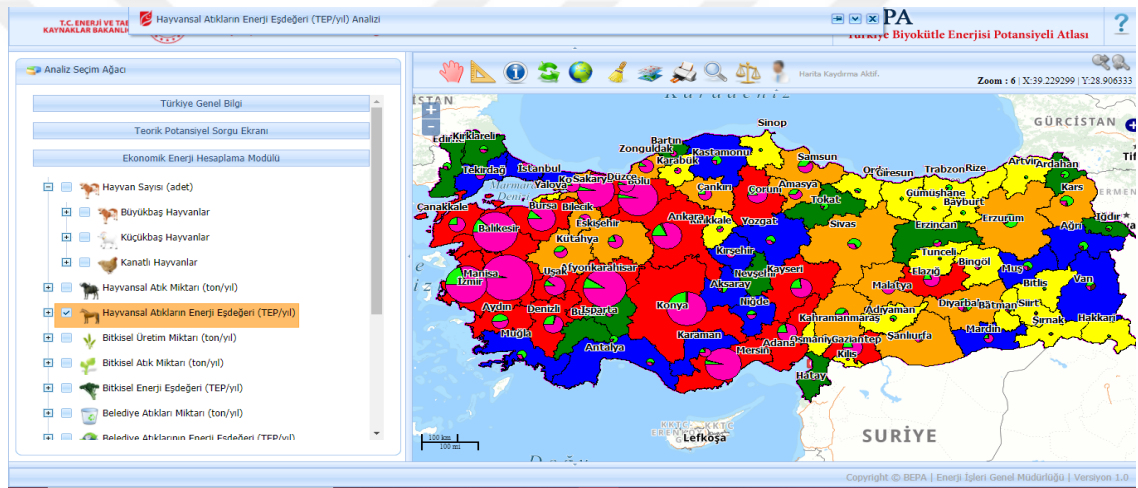
Bazı uluslararası şirketlerin araştırma sonuçlarına göre ise 2050 ile 2100 yıllarına kadar dünyada enerji ihtiyacının 7 katına kadar çıkacağını öngörülmektedir [36].

Türkiye'de nüfusun %25'i geçimini tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Ayrıca Türkiye'nin enerji potansiyelinin yaklaşık %22-27'si hayvansal ve tarımsal atıklardan gelmektedir [37]. Bu durum düşünüldüğünde biyogazdan gelecek enerji sayesinde kırsal kesimlerde elektrik ve ısı ihtiyaçlarının karşılanması ve kaliteli fermente gübrenin üretilmesi ve kullanılması diğer kentsel yaşam alanlarına göre daha fazla olacaktır. Böylece çiftçiler fazladan elektrik, ısı ve gübre masrafına ihtiyaç duymayacaklardır [38,39].

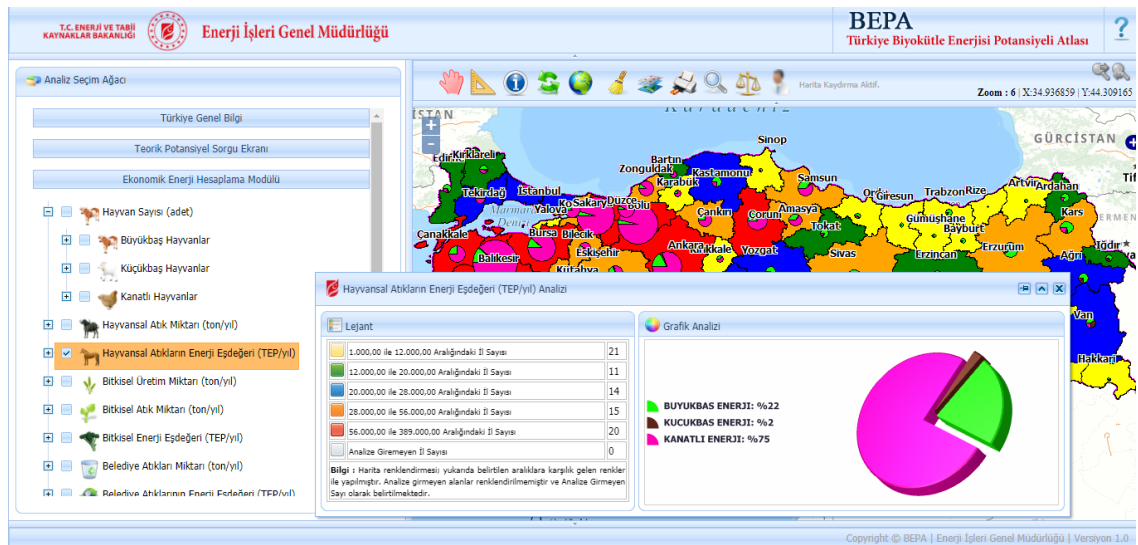
Türkiye'de hayvansal atıklardan gelecek enerji potansiyeli ne yazık ki uygun bir şekilde değerlendirilmemektedir. Bu atıklar yakılarak veya doğrudan toprağa verilerek bertaraf edilmeye çalışılmakta, çok az bir miktarı ise açık havada belirli bir süre bekletildikten

sonra gübre olarak kullanılmaktadır. Bu durum gübrelerin ayrışma süreçlerinde istenmeyen gazların, patojenlerin, vektörlerin ve minerallerin ortama ve toprağa salınmasına sebep olmaktadır [23]. Hayvan atıklarının bu şekilde yok edilmeye çalışılması ekilebilir alanların, meraların ve nehirlerin kirlenmesine sebep olmaktadır.

Enerji Bakanlığı'nın güncel verilerine göre Türkiye'de büyükbaş hayvanlardan gelen atık miktarı yaklaşık 193 milyon ton; yıllık enerji eş değeri ise yaklaşık olarak 4 milyon 385 bin Ton eşdeğer petroldür dur. Bu atıkların %22 sini büyükbaş hayvanlar oluşturmaktadır [40]. Bu veriler ışığında Türkiye'de biyogaz üretiminden gelebilecek enerji miktarının küçümsenemeyecek derecede fazla olduğu görülmektedir.

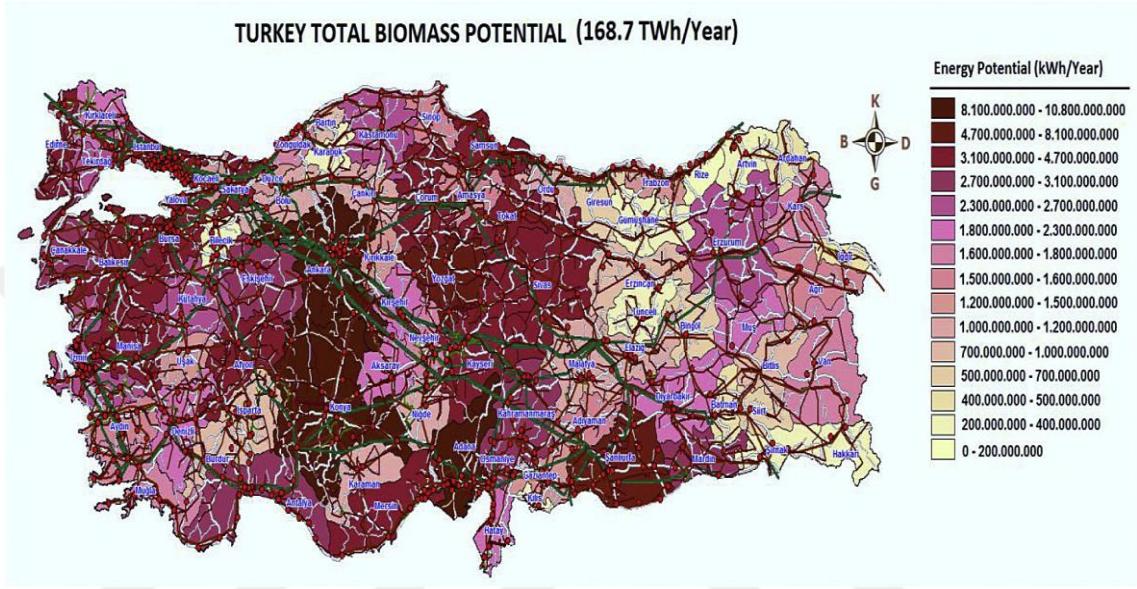


Şekil 1.5. Hayvansal Atıkların Enerji Değeri [40]



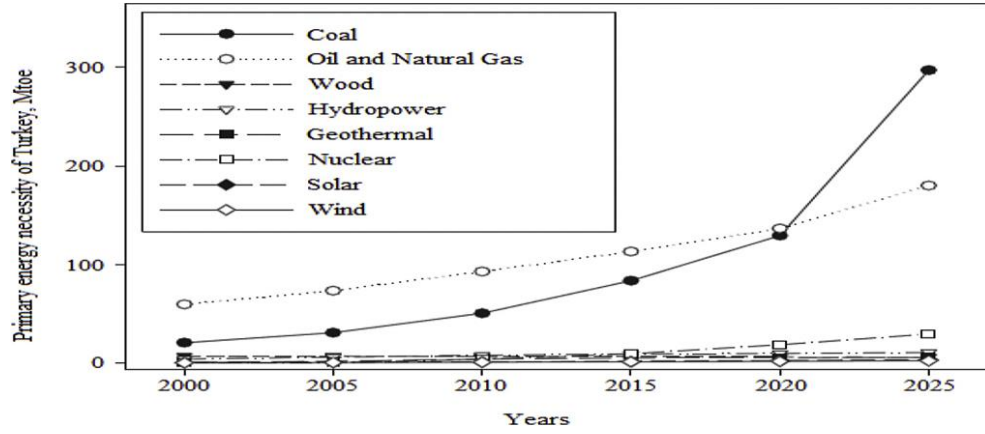
Şekil 1.6. Hayvansal Atıkların Enerji Değeri [40]

BEPA'dan (Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası) alınan güncel tablolarda belirtilen verilere göre, hayvansal atıklardan gelebilecek enerjinin potansiyelinin %22'si büyükbaş hayvanlardan olduğu görülmektedir (Şekil 1.5-1.6). Bu veri bu projenin önemini bir kez daha göstermektedir.



Şekil 1.7. Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin illere göre dağılımı ^[41]

Türkiye'nin toplam biyogaz potansiyeli yaklaşık 1-1,5 milyon ton gaz eşdeğeri (Mtoe) ne karşılık gelmektedir. İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde biyogaz potansiyelinin daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 1.7). Ancak, Türkiye'deki mevcut lisanslı biyogaz tesisleri gerçek potansiyelinin ne yazık ki çok altında kalmaktadır [41,42].



Şekil 1.8. Türkiye'nin enerji ihtiyacı ^[43]

Şekil 1.8'de görüldüğü üzere Türkiye'nin enerji ihtiyacının yıllar geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu tez çalışmasının ve projenin en önemli faydası, enerji ve gübre anlamında dışa bağımlı olan ülkemizin sahip olduğu biyogaz ve organik gübre potansiyelini verimli şekilde kullanmaya olanak sağlayacak ve böylece enerji ve gübre anlamında dışa bağımlılığı azaltacak olmasıdır.

Tablo 1.12. Türkiye'de mevcut olan ve planlanan biyogaz üretim ^[43]

Yıllar	Modern biyokütle (ktoe)	Klasik biyokütle (ktoe)	Toplam (ktoe)
2008	1640	5976	7616
2010	1710	5754	7464
2012	2121	5364	7485
2014	2543	5082	7625
2016	2854	4856	7710
2018	3284	4568	7852
2020	3598	4234	7832
2022	3860	3976	7836
2024	4086	3785	7871
2026	4472	3556	8028
2028	4732	3322	8054
2030	4940	3300	8240
Toplam	39.840	53.773	93.613

Tablo 1.12’de belirtilen verilere göre, 2030 yılına kadar biyokütle enerjisinden üretilecek biyogaz enerjisinde artış özellikle modern teknolojilerin gelişmesine bağlı olarak artan yatırımlar sebebiyle üretimin daha fazla olacağı öngörülmektedir. Böylece ülkemizin enerji ihtiyacının bir kısmının biyogazdan sağlanacağı söylenebilir.

Tablo 1.13. Türkiye’de enerji üretimi, tüketimi ve biyokütle enerjisinin rolü (1000 TOE/yıl) ^[43]

	2000	2005	2010	2014
Toplam enerji talebi	77.624	82.010	106.663	121.540
Toplam enerji üretimi	26.808	23.626	32.440	31.348
Yenilenebilir kaynaklardan tedarik	10.149	10.783	10.541	9360
Biyokütle ve atıklar	6546	5550	4562	3492
Odun/odun atığı	6541	5542	4133	3365
Biyogaz	5	9	14	34
Kentsel katı atık	-	-	-	0.1
Biyoyakıtlar	0	0	21	16
Biyokütle ve atıklar	8.43%	6.77%	5.45%	4.90%
Odun/odun atığı	8.43%	6.76%	5.42%	4.90%
Biyogaz	0.01%	0.03%	0.05%	0.09%
Kentsel katı atık	-	-	-	-
Biyoyakıtlar	0.000%	0.000%	0.04%	0.08%

Tablo 1.13’de görüldüğü üzere, 2000 yılından 2014 yılına kadar biyogaz üretiminin artışı ve enerji üretimindeki payının yükselişi görülmektedir. Ülkemizin enerji talebi artan nüfus ve sanayileşmenin sonucunda gittikçe arttığı görülmektedir. Toplam enerji üretimi olan 31 MTOE/yıl oranının toplam enerji talebi olan 122 MTOE/yıl oranını karşılayamadığı görülmektedir. Artan sanayileşme ve nüfusun sonucunda da hayvansal atıklar ve kentsel atıkların yıllar ilerledikçe hızlı bir şekilde artışı tabloda görülmektedir.

1.5.2. Anaerobik Reaktör Tipleri

1.5.2.1. Anaerobik Lagünler

Anaerobik lagün prosesi, kırsal kesimlerde daha yaygın olarak kullanılan bir anaerobik arıtma işlemidir. Havuz şeklinde inşa edilirler ve topraktan yapılan çeşitleri bulunmaktadır. Düşük organik yükleme oranları ile çalışılır. Ucuz olmaları sebebiyle Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bir arıtma prosesi olarak bilinmektedir [44].

Örneğin; Gonzalez, Cornejo, Guido, Dendooven ve Noya [45]; Meksika’da domuz çiftliğine 2700 m³ kapasiteli, 6 m derinlikte ve 1.5 mm kalınlıkta polietilen malzemeden anaerobik lagün havuzu inşa ederek domuz atıklarını anaerobik arıtma prosesinden geçirmişlerdir. 7000 hayvandan alınan atıklar sonucunda, 35-55 °C mezofilik-termofilik çalışma koşulları oluşturularak, hayvan atıklarını 1:6-1:10 oranında su ile karıştırarak elde edilen posa daha sonra lagün içerisine bırakılarak reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Günlük 322.25 m³ biyogaz üretimi elde edilmiştir.

1.5.2.2. Kontak Reaktörler (ACR)

Kontak reaktörler, AKM leri yüksek olan atıklarda/atıksularda kullanılan bir arıtma işlemidir. Kontak reaktör sistemleri; ana reaktör tankı ve çökeltme tankları ve olmak üzere iki sistemden oluşmaktadır. Çökeltme tankı içerisinde çökmüş olan çamur, tekrar ana reaktör tankına döndürülerek arıtma işlemi devam ettirilir. Kontak reaktör arıtma sisteminin en önemli parametreleri; SRT ile substrat ve mikroorganizmaların birbirleriyle kontak (etkileşim) dereceleridir [46].

BOİ giderimi %91-%95 oranında sağlanır. Düşük organik yükleme (2-2,5 kg bKOİ/m³) ile sistem çalışabilmektedir [47].

1.5.2.3. Tam Karıştırmalı Sürekli Reaktörler (CSTR)

Anaerobik arıtma tekniklerinden birisi de tam karıştırmalı sürekli reaktör sistemleridir. CSTR olarak adlandırılan bu sistemlerde çürütücünün sürekli ve tam karıştırılması sağlanarak mikroorganizmaların askıda tutulur. Bu şekilde substrat ve çamurun birbirine olan bağı sağlanarak arıtma performansı artırılmış olur. Reaktörler genelde iki aşamalı sistemler olarak kurulmaktadır [46].

Yoğun konsantrasyonlu atıklar için (bKOİ: 5.000-8.000 mg/L) için daha elverişli sistemlerdir. Arıtma prosesi boyunca üretilen enerji, tüketilen enerjiden fazladır [47].

1.5.2.4. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (UASB)

Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (UASB) sistemleri, granül halinde bulunan ve kolay çökebilen çamur tabakası ve gaz separatörlerinden oluşur. Reaktörün altından beslenen atıksu, granül halinde olan substrat tabakasıyla temas ederek arıtma işlemi başlar. Atıksu daha sonra reaktörün içinde veya dışında yer alan separatörler vasıtasıyla katı, sıvı ve gaz fazlarına ayrılır. Biyokütle tekrar reaktör içerisine döndürülür, fakat gaz ve sıvı fazlar reaktörü terk eder. Organik yükleme hızları 4-15 kg COD/m³ dür [47].

1.5.2.5. Akışkan Yataklı ve Genleşmeli Çamur Battaniyeleri (EGSB)

Akışkan yataklı biyoreaktörlerde reaktörün alt kısmından beslenen atık/atıksu, yukarıya doğru akarken, mikroorganizmaların veya granül aktif karbon yüzeylerine bir film halinde tutunur ve suyun akışı sırasında substratı tüketerek burada büyümeye başlar. Üretilen biyogaz ise reaktörün üst tarafından toplanır [47]. Akışkan yataklı reaktörlerin avantajları olarak; düşük bekletme süresi olması/düşük bekletme süresiyle yüksek arıtım performansı elde edilmesi, fazla miktarda sabit biyokütlelerin kullanılması, düşük çamur üretimi ve reaktörün tıkanma sorununun olmaması belirtilmektedir [48].

Genleşmeli reaktör de aynı çalışma mantığına sahiptir [47]. Fakat bu reaktör sistemde mikroorganizmaların üzerinde büyüdüğü taşıyıcı malzeme akışkan yataklı reaktördeki gibi akışkan hale getirilmeyip, suyun geri devri ile sadece kısmi bir genleşme sağlanmaktadır.

1.5.2.6. Membran Reaktörler

Membran reaktörler, atık yapısının katı-sıvı olarak membranlar aracılığıyla ayrılmasını sağlayan sistemlerdir. Biyokütle sıvı-katı ayrımı sayesinde reaktör içerisinde tutunarak HRT (hidrolik bekleme süresi) ve SRT (çamur bekleme süresi)'nin birbirlerinden ayrılması sağlanır. Membranların dışarıda veya içeride olduğu farklı arıtma sistemleri bulunmaktadır [44].

Membran arıtma sistemleri sayesinde daha fazla biyogaz üretimi gerçekleşir ve daha az fermente olmuş çamur kalıntısı oluşur. Proses sonucunda N miktarı ve SS miktarı daha azdır [49].

1.5.3. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi Üzerine Bazı Çalışmalar

Putria, Saputro ve Budiyono [50] yaptıkları çalışmada; inek gübresi, ineğin işkembe sıvısını ve suyu farklı oranlarda karıştırarak biyometan potansiyeli testleri yapmışlardır. Deneyler mezofilik ortam koşullarında (30 °C) ve 30 gün süre ile gerçekleştirilmiştir. Aldıkları sonuçlara göre; gübre ve suyun 1:3 oranında karışmasıyla hacimsel olarak 3000 mL biyogaz üretimi, 1:2 oranında gübre ve işkembenin karıştırılmasıyla da 3500 mL olarak en yüksek biyogaz üretimi sonuçları elde edilmiştir.

Alçıçek ve Demiruluş [51] yaptıkları çalışmaya göre; biyogaz tesisi yer altına tam gömülü sistem olarak çalışılmıştır ve 9-13 kg arası dışkılayan sığırdan günlük 0.13 m³ biyogaz, 3-5 sığırı olan bir çiftlikten günlük 1,5-2 m³ biyogaz elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Omar vd. [52] yaptıkları çalışmada bir çiftlikten büyükbaş hayvan gübreleri toplanarak, 10 L anaerobik reaktör içerisinde, termofilik koşullarda (53 °C) 17 gün HRT’de çalışma yapmışlardır. Sonuçlara göre, en yüksek biyogaz üretimi 17. günde, metan oranı yaklaşık %77 olarak gözlenmiştir. Ortalama metan üretiminin %65 civarı olduğu raporda belirtilmiştir

Aktaş vd. [53] yaptıkları çalışmaya göre; Tekirdağ ilinde biyogazdan elektrik üretim potansiyeli için pilot bir çalışma yapmışlardır. Büyükbaş (sığır), küçükbaş, kanatlı (tavuk) ve bu üç gübrenin karışımı olan dördüncü bir numune hazırlanmıştır (%93 büyükbaş, %6 küçükbaş ve %1 kanatlı gübresi). Analiz sonuçlarına göre; en yüksek metan üretimi kanatlı numunesinden 436 LCH₄/kgUKM olarak elde edilmiştir. Bu veriyi küçükbaş, büyükbaş, ve karışım numuneleri izlemiş olup, elde edilen sonuçlar sırasıyla, 324 LCH₄/kgUKM, 316 LCH₄/kgUKM, 298 LCH₄/kg UKM takip etmiştir. Daha sonra numunelerden elde edilen biyogaz içerisinde metan içeriği incelenmiştir. Sonuçlara göre en yüksek metan içeriğinin %61 oranında küçükbaş numunesinden olduğu belirtilmiştir, diğer üç numunenin ise metan içeriği %58 olarak aynı çıkmıştır. Daha sonra bu oranlar Tekirdağ ilçesindeki hayvan sayılarına göre oranlanarak hesaplandığında toplam metan potansiyelinin en fazla büyükbaş hayvanlardan 23.633.106 m³ CH₄ olarak (büyükbaş hayvan sayısı en yüksek değerde olduğu için) hesaplanmıştır.

Tez önerisinin amacı ve hedefi aşağıda daha detaylı olarak sunulacak olmakla birlikte, esas olarak ülkemiz şartlarında kullanılabilecek, ekonomik, modern, karıştırma ve ısıtma içeren çiftlik tipi bir biyogaz reaktörü tasarlamak, maliyetini belirlemek ve kurarak kullanıma hazır hale getirmektir. Bu nedenle aşağıda, ticari olarak mevcut çiftlik tipi biyogaz reaktörleri tanıtılarak özellikle, avantaj ve dezavantajları verilerek, mevcut tez çalışması kapsamında tasarlanacak sistem ile kısa bir kıyaslaması da sunulmuştur.

1.6. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRLERİ

Bu tez çalışması kapsamında yurtdışında yapılmış ve kullanılmakta olan diğer küçük ölçekli reaktör tasarımları incelenmiştir. Ülkemizde çiftlik tipi biyogaz reaktör sistemleri yaygın olarak kullanılmadığı için yurtdışı muadilleri tanıtılmıştır.

1.6.1. Biogassa Hareketli Plug-Flow (Piston Akışlı) Digester

Özellikler:

- Yüzer tipte bir gaz kubbesi ile kaplanmış beton veya tuğla ve harçtan inşa edilmiş orta boy bir çürütücüdür. Ana çürütücü, sadece çok daha büyük bir ölçekte, bir giriş ve çıkış menholüne sahip dikdörtgen bir yapıdır. Kubbenin kenarı, yapının etrafında dolaşan ve aynı zamanda gaz tuzağı görevi gören bir su kanalına sabitlenmiştir. Bu tip yapı, boruların beton veya tuğla duvarlardan kolayca monte edilebildiği için hem ısıtma hem de karıştırma seçeneklerinin pratik kurulumuna izin verir.
- PVC membran malzemeden üretilmiştir, aleve ve patlamalara dayanıklıdır.
- 2-2000 m³ arası kapasiteye sahiptir.
- Hammadde olarak, hayvan atıkları, tarım atıkları gibi organik atıklar kullanılabilir [54].



Şekil1.9. Çin ve Johhanesburg'den çürütücü örnekleri ^[54]

Dezavantajları

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Teze konu olan sistemde ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma Hindistan'dadır. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [54].

1.6.2. Biotech Biyogaz Sistemleri



Şekil 1.10. Biotech Biyogaz Sistemi [55]

Özellikler:

- FRP (fiberclass reinforced plastic) malzemeden üretilmiştir.
- Hammadde olarak evsel atıklar, bitkisel ve hayvansal atıklar beslenir. Günlük beslemeyle çalışır.
- Üretilen biyogaz evlerin ocaklarını günlük 2 saatten fazla bir süre çalıştırabilir.
- 2 yıl içerisinde tüm yatırımların sonucu sıvı gübre ve biyogaz olarak alınabilir.
- Standart aksesuarlarıyla (borular, vanalar, bağlantılar biyogaz dönüştürücüsü) birlikte gelir [55].

Dezavantajları

Bir adet çürütücü maksimum 0,2 m³ tank hacmine sahiptir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem, çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³

arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir takım ile sağlanacaktır.

Firma Hindistan'dadır. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [55].

1.6.3. Sintex Yüzer Tip Biyogaz Sistemi

Özellikler:

- Yer üstünde veya yer altında yer kullanılabilir.
- Hammadde olarak hayvan atıkları, tarım atıkları, mutfak atıkları vb. organik atıklar kullanılabilir.
- Sızıntılara karşı dayanıklıdır.
- Standart aksesuarlarıyla (borular, vanalar, bağlantılar biyogaz dönüştürücüsü) birlikte gelir [56].

Dezavantajları

Bir adet çürütücü maksimum 0,2 m³ tank hacmine sahiptir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem, çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma Hindistan'dadır. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır[56].



Şekil 1.11. Sintex Biyogaz Çürütücüsü [56]

1.6.4. Fenghuo Biyogaz Sistemleri

Özellikler

- Malzeme olarak çelik kullanılmıştır.
- Organik atıkların çürütülmesinde kullanılır [56].



Şekil 1.12. Fenghuo Biyogaz Çürütücüsü [57]

Dezavantajları

Bir adet çürütücü maksimum 10 m³ kapasiteye sahiptir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

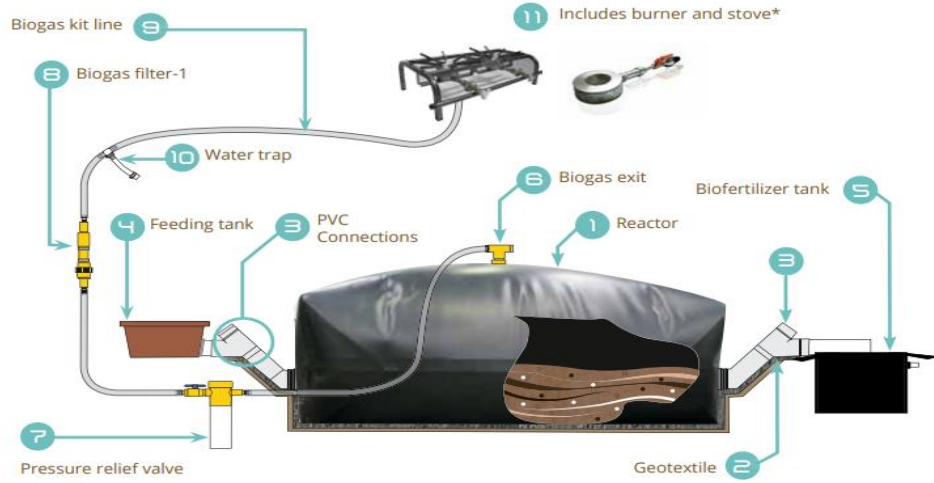
Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısıtma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma Çin'dedir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [57].

1.6.5. Sistema Hareketli Piston Akışlı (Floating Plug Flow) Biyogaz Sistemi

Özellikler:

- Hermetik, hibrit bir biyoreaktördür. Günlük beslemeyle çalışır. Su ile karıştırılmış gübre fermente edilmesiyle reaksiyon başlar.
- Hammadde kaynağı olarak çiftliklerden gelen atıklar ve tarımsal atıklar kullanılabilir.
- Geomembrandan üretilmiştir, UV ışıklarına dayanıklıdır.
- Borular PVC den üretilmiştir.
- Tank kapasitesi 6-200 m³ dür [58].



Şekil 1.13. Sistema Biyogaz Sistemi akış diyagramı ^[58]

Dezavantajlar

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistemde ısıtma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma dört farklı ülkededir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Ürünü Türkiye'ye getirmek ve kurulumunu yapmak zor ve maliyetli olacaktır [58].

1.6.6. Puxintech Küçük Çiftlikler için Mini Biyogaz Tankı

Özellikler:

- Güneş enerjisiyle çalışır.
- Ham madde olarak bütün organik atıklar kullanılabilir.
- 8-65 °C arası sıcaklıklarda çalışır.
- Üretilen biyogaz ısıtmada ve elektrik üretiminde kullanılır.
- 1.7-2 m³/gün biyogaz üretimi elde edilebilir.

- En düşük çürütücü hacmi 1,7 m³, gaz depolama alanının hacmi 1,3 m³ dür. Beslenen gübre miktarına göre tasarım verileri değişebilir [59].



Şekil 1.14. Puxintech Biyogaz Sistemi [59]

Dezavantajları

Bir adet çürütücü maksimum 2 m³ biyogaz üretmektedir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem, çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

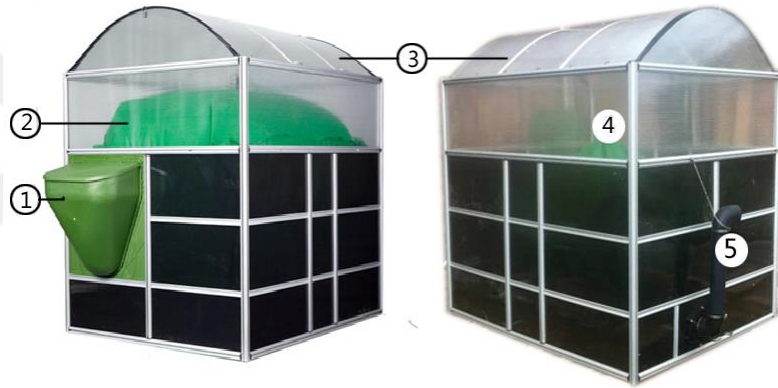
Firma Çin'dedir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [59].

1.6.7. Teenwin DIYBIOGAS Biyogaz Sistemi

Özellikler:

- Her türlü organik atık beslenebilir.
- Hacim 3-300 m³ arasında üretilebilir
- Küçük çiftliklerde, evlerin, restoranların bahçesinde kullanılabilir.

- Kurulumdan 3-5 gün sonra biyogaz üretimi başlar.
- PVC malzemeden yapılmıştır [59].



1. Feeding tank 2. Digester bag 3. Green house 4. Biogas pipe 5. Slurry outlet

Şekil 1.15. Teenwin DIY biyogaz çürütücüsü [59]

Dezavantajlar

Bir adet çürütücü maksimum 1,5 m³ biyogaz üretmektedir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem, çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma Çin'dedir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır.

1.6.2. Homebiogas Biyogaz Sistemi



Şekil 1.16. Homebiogas çürütücü sistemi [60]

Özellikler:

- Organik atıklar günlük olarak beslenir.
- 100 litre hayvan atığıyla besleme yapılarak çalışması başlatılır.
- Günlük 2 saatten fazla biyogaz ve gübre kullanılabilir.
- Günlük 6 litreden fazla atık beslenebilir.
- Max. Günlük hayvan gübresi miktarı 45 litre beslenebilir (15 litre gübre+30 litre su).
- Standart aksesuarlarıyla (borular, vanalar, bağlantılar biyogaz dönüştürücüsü) birlikte gelir.
- Gaz deposu hacmi 600 litre, çürütücü hacmi 1500 litredir [60].

Dezavantajları

Bir adet çürütücü maksimum 1,5 m³ hacme sahiptir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfıyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma İsrail'dedir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [60].

1.6.8. Foresight Mini Biyogaz Sistemi



Şekil 1.21. Foresight Biyogaz Sistemi [61]

Özellikler:

- Ham madde olarak her türlü organik atık kullanılabilir.
- 25-60 °C sıcaklıklarda bakteriler çalışabilir.
- 10 yıl kullanım süresi bulunmaktadır.

- PVC malzemeden üretilmiştir, çelik yapıyla desteklenmiştir.
- Hacim olarak 3-5 m³ kapasiteye sahiptir [61].

Dezavantajlar

Bir adet çürütücü maksimum 5 m³ hacme sahiptir. Tez kapsamında olan projemizde tasarlanan sistem, çiftlik kapasitesine göre değişecek olup, hacmi 6-15 m³ arasında olacak ve 6,9-17,2 m³ arasında biyogaz üretecek ve depolayacak kapasiteye sahip olacaktır.

Karıştırma ve ısıtma sistemi yoktur. Bu sistemleri ayrı olarak kurmak gereklidir. Ayrıca, karıştırma ve ısıtma sistemlerinin çalışması için de harici işletme maliyeti gerekmektedir. Tasarlanacak olan sistemde ısıtma güneş enerjisiyle, karıştırma manuel olarak çalıştırılan, enerji sarfiyatı gerektirmeyen mekanik bir ekipman ile sağlanacaktır.

Firma Çin'dedir. Ülkemizde bu marka herhangi satış yapmamakta ve herhangi bir servis ağı bulunmamaktadır. Bu nedenlerle, ürünün ithalatı ve düzenli servis desteğinin alınabilmesi zor ve maliyetli olacaktır [61].

1.7. ÖNERİLEN PROJENİN AMAÇ VE HEDEFLERİ

Anaerobik çürütme; hayvan gübresi, gıda atığı, evsel organik atıklar ve arıtma çamurları gibi organik içeriği yüksek atıkların hem bertarafı hem de bu atıklarından enerji üretimi anlamında son yıllarda ülkemizde yoğun bir şekilde uygulanmaya başlanan çevre dostu bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontrolsüz bir şekilde atıldığında, çevreye ciddi olumsuz etkileri olan büyükbaş hayvansal ve tarımsal atıklar gibi organik içeriği yüksek atıklar çevre dostu bir teknoloji olan anaerobik çürütme işlemi ile bertaraf edilerek ısı değeri yüksek olan metan gazı üretilip ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Ülkemizdeki işletme yapıları dikkate alındığında hayvancılık yapan işletmelerin bir kısmının açığa çıkan katı ve sıvı hayvansal atıkları, gübre olarak değerlendirebilecekleri bir araziye sahip olmadığı, olsa bile geliş güzel açıkta bıraktığı veya arazi yüzeyine kontrolsüz olarak uyguladığı bilinmektedir. Bu kontrolsüz uygulamalar; yer altı sularının nitrat (NO₃⁻) ve organik madde bakımından kirlenmesine, sera gazı oluşumlarına, patojen hastalıkların yayılması ve yabancı ot problemlerine neden olmaktadır.

Hayvansal ve tarımsal atıklardan biyogaz üretimi ve biyogazdan kombine ısı ve güç

üretimi için farklı ölçeklerde endüstriyel tesislerin varlığı bilinmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre Türkiye'de toplam 61 adet biyogaz santrali bulunmaktadır. Toplam 45 şehirde faaliyet gösteren bu santrallerin kurulu gücü 229,78 megawattı (MW) bulmaktadır. Ancak, organik madde içeriği yüksek bu atıkların hem bertarafı hem de bu atıklarından enerji üretimi anlamında ülkemizdeki uygulamaların sınırlı sayıda olduğu ve sektör endüstriyel anlamda gelişmeye açık bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'nin atıklarından (hayvansal, belediye, bitkisel) toplam enerji eşdeğeri 34 MTEP dir, bu da yaklaşık 395450 GWh a karşılık gelmektedir [1]. Ülkemizin mevcut kaynaklarının 39 MTEP olduğu ve yıllık 153,5 MTEP kullanıldığı düşünülürse [6] biyogazdan elde edilecek enerjinin katkısı azımsanmayacak derecede fazla olacaktır. Bu potansiyelin büyük bir kısmı hayvansal atık kaynaklı olup, diğer potansiyel kaynaklar endüstriyel atıklar, belediye atıkları (çöpler) ve tarım artıklarıdır. Yüksek enerji potansiyeli olan, organik madde içeriği yüksek bu atıkların çürütüldüğü çevre dostu biyogaz tesislerinin, enerji anlamında dışa bağımlı olan ülkemizde yaygınlaşması ve dışa bağımlılığın azalması tez çalışmasının hedefleri arasındadır.

Ülkemizde genel olarak küçük ölçekli çiftlikler bulunmakta olup, üretilen atığın dağınık olduğu anlamına gelmektedir. Küçük ölçekli biyogaz tesislerinin, Avrupa'daki ülkelerle kıyaslandığında, ülkemizde yaygınlaşmamasının ana nedenlerinden biri teknolojinin yerli olmaması ve buna bağlı olarak ilk yatırım maliyetlerinin küçük ve orta ölçekli hayvan çiftlikleri için çok yüksek olmasıdır. Merkezi biyogaz tesislerinde ise atıkların taşıma bedelleri işletmeye küçümsenmeyecek ilave bir yük getirmektedir.

Bu tez çalışmasında temel amaç; küçük ölçekli hayvan çiftlikleri için (10-100 baş) düşük maliyetli, işletmesi büyük ölçekli tesislere kıyasla çok daha kolay olan, yerli ve merkezi olmayan (münferit) biyogaz reaktörünün (çürütücüsünün) tasarlanması ve geliştirilmesidir. Merkezi olmayan biyogaz teknolojisinde, biyogazın sadece yemek pişirmek ve ısınmak için enerji kaynağı olarak kullanılmasının yanında, aynı zamanda hayvan gübresinin neden olduğu çevresel kaygıların azaltılmasına da yardımcı olacaktır. Geliştirilecek tez ile özellikle küçük ve orta boyutlu çiftliklerde elde edilecek biyogaz ile pişirme, aydınlatma, ısıtma ve fermente gübre gibi tesise ait ihtiyaçların karşılanması, bir yerde tesisin enerji ihtiyacı anlamında kendi kendine yetmesi sağlanacaktır. Önerilen projede tasarlanacak küçük ölçekli çiftlik tipi çürütücüler ile küçük ölçekli işletmelerin düşük maliyetlerle bu hizmete ulaşabilmesinin mümkün olduğu kanıtlanacaktır.

Eğer küçük tip biyogaz tesisleri kurulursa elde edilecek enerji miktarı büyük tesislerden elde edilecek enerji miktarını aşabilecek potansiyelde olabilecektir çünkü ülkemizdeki hayvancılık sektöründe çok fazla küçük tesis bulunmakta olup, bu küçük tesislerde üretilen atıklar maalesef değerlendirilememektedir. Dolayısıyla, üretilen hayvansal atıkların daha fazla değerlendirilmesi amacıyla küçük tesislerde kullanılabilecek ekonomik, işletimi kolay yenilikçi tasarıma sahip küçük biyogaz tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Projemiz kapsamında geliştirilecek olan küçük ölçekli biyogaz tesisi, benzerlerinden farklı olarak karıştırılabilen, farklı büyüklükteki çiftliklere hizmet edebilen bir yapıda olacaktır. Ayrıca, güneş enerjisi ile sistem ısıtılabilir olup, böylece daha yüksek performansta biyogaz üretimi söz konusu olacaktır. Proses neticesinde üretilen sıvı ve katı gübre de tarımda kullanılabilecektir. Böylece atıklar enerjiye ve gübreye dönüştürülebilecektir. Yerli imkânlarla tasarlanacak olan proses; çiftliklerin rahat bir şekilde satın alabileceği ekonomik, yüksek kaliteli, kullanımı kolay bir ürün olacaktır.

2. BULGULAR

2.1. HAYVANSAL ATIK MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

2.1.1. Türkiye'nin Hayvan Gübresi Potansiyeli

Ülkemizin 1992-2022 yılları arasında büyükbaş hayvan sayıları Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde, büyükbaş hayvanlardan enerji kapasitesinin çok yüksek olduğu, eğer enerji politikaları doğru bir şekilde yönlendirilir ve teşvikler artarsa, ülkemizin dışa bağımlılığının bir miktar azalacağı öngörülmektedir.

Tablo 2.1 TÜİK 2021 verilerine göre büyükbaş hayvan sayıları ^[62]

Yıl	Sığır - Kültür				Toplam
	Sığır - Kültür (baş)	melezi (baş)	Sığır - Yerli (baş)	Manda (baş)	
1991	1 253 865	4 033 375	6 685 683	366 150	12 339 073
1992	1 337 410	4 131 507	6 481 990	352 410	12 303 317
1993	1 442 000	4 342 000	6 126 000	316 000	12 226 000
1994	1 512 000	4 543 000	5 846 000	305 000	12 206 000
1995	1 702 000	4 776 000	5 311 000	255 000	12 044 000
1996	1 795 000	4 909 000	5 182 000	235 000	12 121 000
1997	1 715 000	4 690 000	4 780 000	194 000	11 379 000
1998	1 733 000	4 695 000	4 603 000	176 000	11 207 000
1999	1 782 000	4 826 000	4 446 000	165 000	11 219 000
2000	1 806 000	4 738 000	4 217 000	146 000	10 907 000
2001	1 854 000	4 620 000	4 074 000	138 000	10 686 000

2002	1 859 786	4 357 549	3 586 163	121 077	9 924 575
2003	1 940 506	4 284 890	3 562 706	113 356	9 901 458
2004	2 109 393	4 395 090	3 564 863	103 900	10 173 246
2005	2 354 957	4 537 998	3 633 485	104 965	10 631 405
2006	2 771 818	4 694 197	3 405 349	100 516	10 971 880
2007	3 295 678	4 465 350	3 275 725	84 705	11 121 458
2008	3 554 585	4 454 647	2 850 710	86 297	10 946 239
2009	3 723 583	4 406 041	2 594 334	87 207	10 811 165
2010	4 197 890	4 707 188	2 464 722	84 726	11 454 526
2011	4 836 547	5 120 621	2 429 169	97 632	12 483 969
2012	5 679 484	5 776 028	2 459 400	107 435	14 022 347
2013	5 954 333	6 112 437	2 348 487	117 591	14 532 848
2014	6 178 757	6 060 937	1 983 415	122 114	14 345 223
2015	6 385 343	5 733 803	1 874 925	133 766	14 127 837
2016	6 588 527	5 758 336	1 733 292	142 073	14 222 228
2017	7 804 588	6 536 073	1 602 925	161 439	16 105 025
2018	8 419 204	7 030 297	1 593 005	178 397	17 220 903
2019	8 559 855	7 554 625	1 573 659	184 192	17 872 331
2020	8 838 498	7 594 127	1 532 857	192 489	18 157 971
2021	8 824 784	7 641 100	1 384 659	185 574	18 036 117

Tablo 2.2. Büyükbaş hayvan sayılarına göre üretilebilecek enerji ve biyogaz miktarları

Yıllar	Hayvan Sayısı (adet)^[61]	Üretilebilecek Enerji (kwh/gün)	Üretilebilecek biyogaz toplam (m³/gün)
1991	12. 339.073	55.279.047,04	8.504.468,775

1992	12.303.317	55.118.860,16	8.479.824,64
1993	122.26.000	54.772.480	8.426.535,385
1994	12.206.000	54.682.880	8.412.750,769
1995	12.044.000	53.957.120	8.301.095,385
1996	12.121.000	54.302.080	8.354.166,154
1997	11.379.000	50.977.920	7.842.756,923
1998	11.207.000	50.207.360	7.724.209,231
1999	11.219.000	50.261.120	7.732.480
2000	10.907.000	48.863.360	7.517.440
2001	10.686.000	47.873.280	7.365.120
2002	99.24.575	44.462.096	6.840.322,462
2003	9.901.458	44.358.531,84	6.824.389,514
2004	10.173.246	45.576.142,08	7.011.714,166
2005	10.631.405	47.628.694,4	7.327.491,446
2006	10.971.880	49.154.022,4	7.562.157,292
2007	11.121.458	49.824.131,84	7.665.251,052
2008	10.946.239	49.039.150,72	7.544.484,726
2009	10.811.165	48.434.019,2	7.451.387,569
2010	11.454.526	51.316.276,48	7.894.811,766
2011	12.483.969	55.928.181,12	8.604.335,557
2012	14.022.347	62.820.114,56	9.664.633,009
2013	14.532.848	65.107.159,04	10.016.486,01
2014	14.345.223	64.266.599,04	9.887.169,083
2015	14.127.837	63.292.709,76	9.737.339,963
2016	14.222.228	63.715.581,44	9.802.397,145
2017	16.105.025	72.150.512	11.100.078,77

2018	17.220.903	77.149.645,44	11.869.176,22
2019	17.872.331	80.068.042,88	12.318.160,44
2020	18.157.971	81.347.710,08	12.515.032,32
2021	18.036.117	80.801.804,16	12.431.046,79

TÜİK 1991-2021 büyükbaş hayvan sayısı ve gübre verilerine göre; Türkiye genelinde büyükbaş hayvan sayısı en çok 2021 yılında olduğu görülmektedir. Tez kapsamında yaptığımız hesaplara göre; 2019, 2020 ve 2021 yıllarında günlük üretilen enerji potansiyeli ortalama 80 milyon kWh/gün, biyogaz miktarı ise ortalama 12 milyon metreküp/gün olacaktır.

Bu hesaplara dair detaylar aşağıda sunulmuştur.

Günlük fermente olacak substrat miktarı

Bir hayvandan çıkabilecek günlük atık (dışkı) miktarı 20 kg olarak hesaba katılmıştır.

$$\text{Günlük fermente olacak atık miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) : \text{Hayvan sayısı(adet)} \times \text{Dışkı üretim miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) \quad (2.1)$$

Buna göre örneğin 2021 yılındaki hayvan sayısı için hayvan için $\rightarrow 18.036.117 \times 20$ (kg/gün) = 360.722.340 kg/gün lük fermente olacak atık hesaplanır.

Katı madde yükü ve organik madde yükü

Katı madde oranı %14 ve VSS (Organik katı madde)/TSS(Toplam katı madde) oranı 0,8 alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$\text{Katı madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) : \text{Günlük fermente olacak substrat miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) \times \text{Katı madde oranı}(\%) \quad (2.2)$$

$$\text{Organik madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) : \text{Katı madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) \times \frac{VSS}{TSS} \quad (2.3)$$

Örneğin 2021 yılındaki hayvan için $\rightarrow 360.722.340 \text{ kg/gün} \times \%14 = 50.501.127,6 \text{ kg/gün}$ katı madde miktarı hesaplanır.

$50.501.127,6 \times 0,8 = 40.400.902,08$ kg UAKM/gün organik madde yükü hesaplanır.

Metan Miktarı

1 kg VSS atıktan üretilebilecek metan miktarı ise $0,2 \text{ m}^3$ olarak kabul edilmiştir [62]. Aşağıda da bu ifade edilmiştir.

$$\text{Metan üretim miktarı} = 0,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgVSS}} \right)$$

$$\text{Metan miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) = \text{Organik madde yükü} \left(\frac{\text{kgVSS}}{\text{gün}} \right) \times \text{metan üretim miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgVSS}} \right) \quad (2.8)$$

Örneğin 2021 yılındaki büyükbaş için →

$40.400.902,08 \text{ (kg/gün)} \times 0,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgVSS}} \right) = 8.080.180,416 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right)$ teorik metan üretimi gerçekleşecektir.

Üretilecek Enerji Hesabı

Üretilecek teorik enerji miktarı hesaplanırken 1 m^3 metanın 10 kWh enerjiye eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Buna göre üretilebilecek enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır [63].

$$\text{Enerji} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{gün}} \right) = \text{Metan üretim miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) \times 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad (2.9)$$

Örneğin 2021 yılındaki hayvan için → $8.080.180 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 80.801.804 \frac{\text{kWh}}{\text{gün}}$ lük enerji üretilmektedir.

Biyogaz Üretim Miktarı

Biyogazdaki metan oranı %65 olarak kabul edilerek üretilebilecek toplam biyogaz miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Üretilen toplam biyogaz miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) = \text{Metan miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) / \%65 \quad (2.10)$$

Örneğin 2021 yılındaki hayvan için →

$$8.080.180 \left(\frac{m^3}{gün} \right) / 0,65 = 12.431.046 \text{ metrekip/gün olarak biyogaz üretilir.}$$

Tabi burada hesaplanan biyogazın toplam enerji içeriği olup, biyogazdan elektrik üretilmesi durumunda bu enerjinin %40-45'i elektrik enerjisine dönüştürülebilecektir.

2.1. ÜLKEMİZDEKİ ÇİFTLİKLERİN BÜYÜKLÜKLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

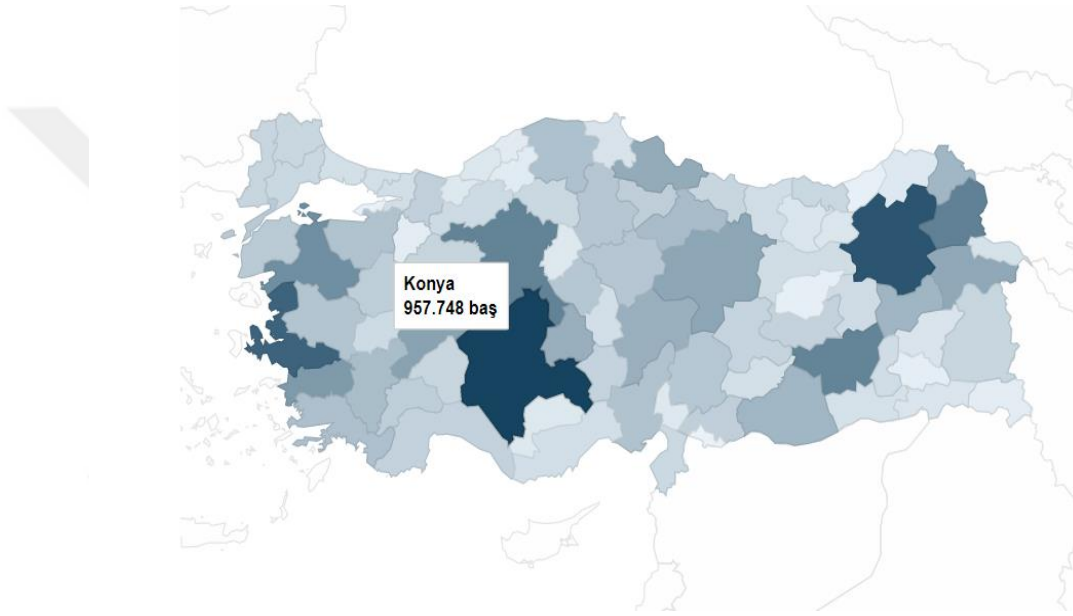
TÜİK analiz raporuna göre, Türkiye'deki büyükbaş hayvan çiftlik verileri besicilik veya sütçülük faaliyetlerinin daha çok küçük ölçekli ve hayvan sayısının az olduğu işletmelerde yapıldığını görülmektedir. TÜİK verilerine göre (Şekil 2.1); büyükbaş hayvanı (sığır ve manda) olan tarımsal işletmelerin, büyükbaş hayvan sayısına göre işletme büyüklüğü grubu incelendiğinde, işletmelerin %17'si 10-19 büyük baş hayvana sahip işletme grubunda olmakla beraber, %11,8'i 20-49 baş hayvana sahip olan işletme grubunda yoğunlaşmaktadır [65].



Şekil 2.1 Türkiye'de büyükbaş hayvan sayısına göre işletme büyüklüğü % dağılımı [65]

Ülkemizde Türkvat sistemine kayıtlı büyükbaş hayvancılık işletme sayısı 1.289.067 adet olarak belirtilmiştir. Küçükbaş hayvan işletmelerinin sayısı ise 444.747 adettir. Bu verilere göre Büyükbaş hayvan işletme sayısının daha fazla olduğu görülmektedir [66].

Türkiye’de 2021 yılı itibariyle en fazla büyükbaş hayvan sayıları ve çiftlikleri Konya’da 957.748 baş olarak bulunmaktadır. Sırasıyla, Erzurum’da: 860.404 baş; İzmir’ de 781.070 baş; Kars’ta: 620.723 baş; Ankara’da 612.939 baş; Diyarbakır’da 608.214 baş olarak veriler ilerlemektedir [67].



Şekil 2.2. Türkiye’de yer alan büyükbaş hayvan sayıları [67]

2.3. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRÜNÜN TASARIMI

2.3.1. Reaktör Boyutlandırılması

Hesaplamalar 5 ile 100 hayvan sayısına göre yapılmıştır. Buna göre aşağıda hesaplamalara ait detaylar verilmiştir.

Günlük fermente olacak substrat miktarı

Bir hayvandan çıkabilecek günlük atık (dışkı) miktarı olarak 20 kg [17] olarak hesaba katılmıştır.

$$\text{Günlük fermente olacak atık miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) : \text{Hayvan sayısı(adet)} \times \text{Dışkı üretim miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) \quad (2.1)$$

Buna göre örneğin 5 hayvan için $\rightarrow 5 \times 20 \text{ (kg/gün)} = 100 \text{ kg/gün}$ lük fermente olacak atık hesaplanır.

Katı madde yükü ve organik madde yükü

Katı madde oranı %14 ve VSS (Organik katı madde)/TSS(Toplam katı madde) oranı 0,8 alınarak hesaplamalar yapılmıştır [20].

$$\text{Katı madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) = \text{Günlük fermente olacak substrat miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) \times \text{Katı madde oranı}(\%) \quad (2.2)$$

$$\text{Organik madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) = \text{Katı madde yükü} \left(\frac{kg}{gün} \right) \times \frac{VSS}{TSS} \quad (2.3)$$

Örneğin 5 hayvan için $\rightarrow 100 \text{ kg/gün} \times \%14 = 14 \text{ kg/gün}$ katı madde miktarı hesaplanır.
 $14 \times 0,8 = 11,2 \text{ kg/gün}$ organik madde yükü hesaplanır.

Çürütücü Reaktör Hacim Hesabı

Hidrolik bekletme süresi (HRT) 25 gün [32] ve %20 boşluk hacmi olacak şekilde;

$$\text{Toplam reaktör hacmi}(m^3) = HRT \times \text{Atık miktarı} \left(\frac{kg}{gün} \right) \times 1 \text{ L/kg} \times 1,2 / 1000 \left(\frac{L}{m^3} \right) \quad (2.4)$$

Burada basitlik olması açısından atığın yoğunluğu 1 kg/L olarak kabul edilmiştir.

Örneğin 5 hayvan için $\rightarrow 25 \times 100 \times 1,2 / 1000 = 3 \text{ m}^3$ reaktör hacmi elde edilir.

Reaktör yükseklikleri seçilerek, silindir bir şekle sahip olacak reaktörün çapı aşağıdaki formüle göre hesaplatılmıştır.

$$\text{Taban alanı} = \text{Reaktör hacmi}(m^3) / \text{Yükseklik}(m) \quad (2.5)$$

$$\text{Taban alanı}(m^2): \pi \times \frac{(\text{Reaktör çapı})^2}{4} \quad (2.6)$$

Tablo 2.3. Hayvan sayısına göre reaktör hacimleri ve boyutlandırmaları

Hayvan Sayısı (adet)	Reaktör Hacmi (m ³)	Toplam Reaktör Hacmi (m ³)	Yükseklik(m)	Taban Alanı(m ²)	Çap(m)
1	0,5	0,6	1,5	0,4	0,71
5	2,5	3	2,5	1,2	1,23
10	5	6	4	1,5	1,38
25	12,5	15	4	3,75	2,18
50	25	30	5	6	2,76
100	50	60	6	10	3,57

2.3.2. Üretilcek Biyogaz ve Enerji Miktarları

Metan Miktarı

$$\text{Organik Yükleme hızı} \left(\frac{\text{kg}^{\text{VS}}}{\text{m}^3 \cdot \text{gün}} \right) = \frac{\text{Organik madde yükü} \left(\frac{\text{kg}}{\text{gün}} \right)}{\text{Reaktör hacmi}(\text{m}^3)} \quad (2.7)$$

1 kg VSS atıktan üretilbilecek metan miktarı ise 0,2 m³ olarak kabul edilmiştir [62]. Aşağıda da bu ifade edilmiştir.

$$\text{Metan üretim miktarı} = 0,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgVSS}} \right)$$

$$\text{Metan miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) = \text{Organik madde yükü} \left(\frac{\text{kgVSS}}{\text{gün}} \right) \times \text{metan üretim miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kgVSS}} \right) \quad (2.8)$$

Örneğin 5 hayvan için $\rightarrow 11,2 \text{ (kg/gün)} / 2,5 \text{ (m}^3\text{)} = 4,48 \left(\frac{\text{kg VS}}{\text{m}^3 \text{ gün}} \right)$ organik yükleme hızı;

$$11,2 \text{ (kg/gün)} \times 0,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg VS}} \right) = 2,24 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) \text{ teorik metan üretimi}$$

gerçekleşecektir.

Farklı hayvan sayılarına göre üretim miktarları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo2.4. Hayvan miktarına göre metan üretim miktarları

Hayvan Sayısı(adet)	Organik yükleme hızı (kg VS/m ³ /gün)	Metan miktarı (m ³ /gün)
1	4,48	0,49
5	4,48	2,24
10	4,48	4,48
25	4,48	11,2
50	4,48	22,4
100	4,48	44,8

Üretilecek Enerji Hesabı

Üretilecek teorik enerji miktarı hesaplanırken 1 m³ metanın 10 kWh enerjiye eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Buna göre üretilebilecek enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır [63].

$$\text{Enerji} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{gün}} \right) = \text{Metan üretim miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \right) \times 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad (2.9)$$

$$\text{Örneğin 5 hayvan için} \rightarrow 2,24 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times 10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 22,4 \frac{\text{kWh}}{\text{gün}} \text{ lük}$$

enerji üretilmektedir. Farklı hayvan sayıları için hesaplanan teorik enerji miktarları da aşağıda sunulmuştur.

Tablo2.5. Hayvan sayısına göre günlük enerji üretim miktarları

Hayvan Sayısı(adet)	Enerji (kWh/gün)
1	4,48
5	22,4
10	44,8
25	112
50	224
100	448

Biyogaz Üretim Miktarı

Biyogazdaki metan oranı %65 [20] olarak kabul edilerek üretilebilecek toplam biyogaz miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Üretilen toplam biyogaz miktarı} \left(\frac{m^3}{gün} \right) = \text{Metan miktarı} \left(\frac{m^3}{gün} \right) / \%65 \quad (2.10)$$

Örneğin 5 hayvan için $\rightarrow 2,24 \left(\frac{m^3}{gün} \right) / 0,65 = 3,45 \frac{m^3}{gün}$ olarak biyogaz üretilir.

Tablo 2.6. Hayvan sayısına göre günlük biyogaz üretim miktarları

Hayvan Sayısı(adet)	Üretilen biyogaz toplam ($m^3/gün$)	Biyogaz üretim miktarı ($m^3/kg\text{-VSS}$)
1	0,7	0,31
5	3,47	0,31
10	6,9	0,31
25	17,2	0,31
50	34,5	0,31
100	69,0	0,31

2.3.2. Karıştırıcı ve Karıştırıcı Motoru Tasarımı İçin Hesaplamalar

Reaktörde çürütmenin verimli bir şekilde gerçekleşmesi için bir karıştırıcı sistem tasarlanmıştır. Ayrıca karıştırıcıyı çalıştıracak motor için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Hız gradyanı (G) = 100 (1/s) olarak alınmıştır.

Tank hacmi: 5 m³ olarak seçilmiştir.

Sıcaklık: 35 °C olarak mezofilik şartlar düşünülmüştür.

Karıştırıcı kanat uzunluğu: 1 m

Karıştırıcı kanat genişliği: 0,1 m

Kanat sayısı: 1

Sıcaklığa göre kinematik viskozite değeri: 0,00114 N.s/m²

Öz kütle: 994,03 kg/m³

Yukarıdaki verilenler göz önüne alınarak aşağıdaki formüller uygulanmıştır [68];

$$P = \text{Tank hacmi} \times \text{viskozite} \times G^2 \quad (2.11)$$

$$P = Fd \times Vp = Cdx Ax \frac{p \times V^3}{2} \quad (2.12)$$

$$V_{blade tip} = V_{paddle tip} \times 0.6 \sim 0.75 \frac{m}{s} \quad (2.13)$$

Tablo 2.7. Cd katsayıları [68]

L/W oranı	CD
5	1,2
20	1,5
∞	1,9

Fd: Sürüklenme kuvveti, N

Cd: Sıvıya dik olarak hareket eden kanadın katsayısı

A: Kanatların yüzey alanı, m²

p: sıvının özkütlesi, kg/m³

Vp: Kanat bağlı hızı, (m/s)

P: Güç (kg.m²/s³)

Yukarıdaki formüllere göre 5 m³ lük tank için hesaplamalar aşağıdaki gibidir;

Kanat hızı hesabı

$$P = 5 \times 0,00114 \times 100^2 = 56,95 \text{ W}$$

$$V = \frac{\left(\frac{100 \times 2}{1,2} \frac{1 \times 0,2}{994,0358} \right)^{\frac{1}{3}}}{0,75} : 0,7 \text{ m/s}$$

Karıştırıcı motoru hesapları

$$\text{Motor için rpm} = \frac{V}{\pi \times L} \times 60 = \text{rpm} \quad (2.14)$$

$$\text{Motor için rpm} = \frac{0,7}{\pi \times 1} \times 60 : 13,8 \text{ rpm}$$

$$\text{Motor için Nm} = \frac{9550 \times 56,95 \text{ W}}{1000} = 5,2 \text{ Nm}$$

Motora bağlanacak akü için kapasite hesaplamaları

Hesaplanan motor gücü: 56,95 W

Karıştırma süresi: 1 dakika/gün

$$P \left(\frac{\text{Wsaat}}{\text{gün}} \right) = 56,95 \times \frac{1 \left(\frac{\text{dakika}}{\text{gün}} \right)}{60} = 0,95 \text{ Wsaat/gün}$$

$$P \left(\frac{\text{kwh}}{\text{gün}} \right) = \frac{0,949}{1000} = 0,00095 \frac{\text{kwh}}{\text{gün}}$$

$$P \left(\frac{\text{kwh}}{\text{yıl}} \right) = 0,00095 \times 365 \times 1,2 = 0,41 \frac{\text{kwh}}{\text{yıl}}$$

$$12 \text{ V luk akü için} \rightarrow \frac{0,4157 \times 1000}{12} = 34,64 \text{ ampersaat}$$

$$24 \text{ V luk akü için} \rightarrow \frac{0,4157 \times 1000}{24} = 17,32 \text{ ampersaat akü seçilecektir.}$$

Isı Değiştirici ve Isı Transfer Hesaplamaları

Vakum tüplü güneş enerjisinden elde edilen sıcak su çürütücü içine yerleştirilmiş serpantinden geçirilerek reaktörde mezofilik şartlar sağlanacaktır. Bunun için gerekli hesaplamalar sırasıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Hortum PVC malzemeden seçilmiştir.

Tablo 2.8. Hesaplama için seçilen hortumun özellikleri

Değiştiricinin Isıl İletkenlik Katsayısı (kcal/h.m°C)	0,163 ^[69]
Sıcak su derecesi (°C)	50
Hortum Uzunluğu (m)	50
Borular arası mesafe (cm)	29,06
Hortum çapı (m)	0,025
Hortum adeti	1
Hortumun duvar kalınlığı (mm)	2

Tablo 2.9. Çürütücü tankı hesaplama için kriterler

Çürütücü tankı materyal cinsi	Polietilen
Çürütücünün ısı iletkenlik katsayısı (kcal/h.m°C)	0,344 ^[70]
Çürütücü sıcaklığı (°C)	30
Çürütücü hacmi (m ³)	5
Çürütücü Yüzey alanı (m ²)	15
Toprağa gömülen oran	0,5
HRT (gün)	20
Günlük beslenecek gübre miktarı (kg/gün)	250
Gübre/atmosferik sıcaklık (°C)	15

Çürütücü duvar kalınlığı (mm)	12
-------------------------------	----

Yukarıdaki verilere göre hesaplamalar şu şekildedir [71,72];

$$\text{Toplam hortum alanı}(m^2) = \pi \times 1 \times 50 \times 0,025 = 3,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Transfer edilen ısı miktarı} \left(\frac{kcal}{h} \right) = \text{İletkenlik katsayısı} \times \text{Alan} \times \frac{(\text{Sıcak su derecesi} - \text{Çürütücü sıcaklık derecesi})}{\text{Duvar} \times \frac{\text{kalınlığı}}{1000}} \quad (2.15)$$

$$\text{Transfer edilen ısı miktarı} \left(\frac{kcal}{h} \right) = 0,163 \times 3,99 \times \frac{(50 - 30)}{\frac{2}{1000}} = 651820 \text{ kcal/saat}$$

$$\text{Suyun hızı} = 1,2 \text{ m/s} = 4320 \text{ m/saat}$$

$$\text{İşlem süresi} = 50 \times \frac{m}{4320 \frac{m}{saat}} = 0,012 \text{ saat}$$

$$\text{Verilen enerji} \left(\left(\frac{kcal}{gün} \right) \right) = 651820 \times 24 = 15.6436.686 \text{ kcal/gün}$$

$$\text{Sıcak su miktarı} \left(\frac{m^3}{gün} \right) = 4320 \times 0,025^2 \times \frac{\pi \times 24}{4} = 52,54 \frac{m^3}{gün}$$

$$\begin{aligned} \text{Sıcak su tarafından verilen enerji} \left(\frac{kcal}{gün} \right) &= 52,54 \times 1000 \times 1 \times (50 - 30) \\ &= 1.050.800,00 \text{ kcal/gün} \end{aligned}$$

$$\text{Gübre için gerekli olacak enerji} \left(\frac{kcal}{gün} \right) = \text{Gübre miktarı} \times \text{çürütücü sayısının} (\text{Çürütücü sıcaklığı} - \frac{\text{Gübre}}{\text{atmosferik}} \text{ sıcaklık})$$

$$\text{Gübre için gerekli olacak enerji} \left(\frac{kcal}{gün} \right) = 250 \times 1 \times (30 - 15) = 3750 \text{ kcal/gün}$$

$$\text{Çürütücüde oluşan ısı kaybı} \left(\frac{kcal}{gün} \right) = \frac{\text{İletkenlik katsayısı} \times \text{yüzey alanı} \times \text{sıcaklık farkı}}{\text{duvar} \times \frac{\text{kalınlığı}}{1000} \times 24 \times (1 - \text{gömülme oranı})}$$

(2.16)

$$\text{Çürütücüde oluşan ısı kaybı} \left(\frac{kcal}{gün} \right) = \frac{0,344 \times 15 \times (30 - 15)}{\frac{12}{1000} \times 24 \times (1 - 0,5)} = 77386,05 \text{ kcal/gün}$$

$$\text{Toplam enerji ihtiyacı} = 3750 \frac{kcal}{gün} + 77386,05 \frac{kcal}{gün} = 81136,5 \frac{kcal}{gün}$$

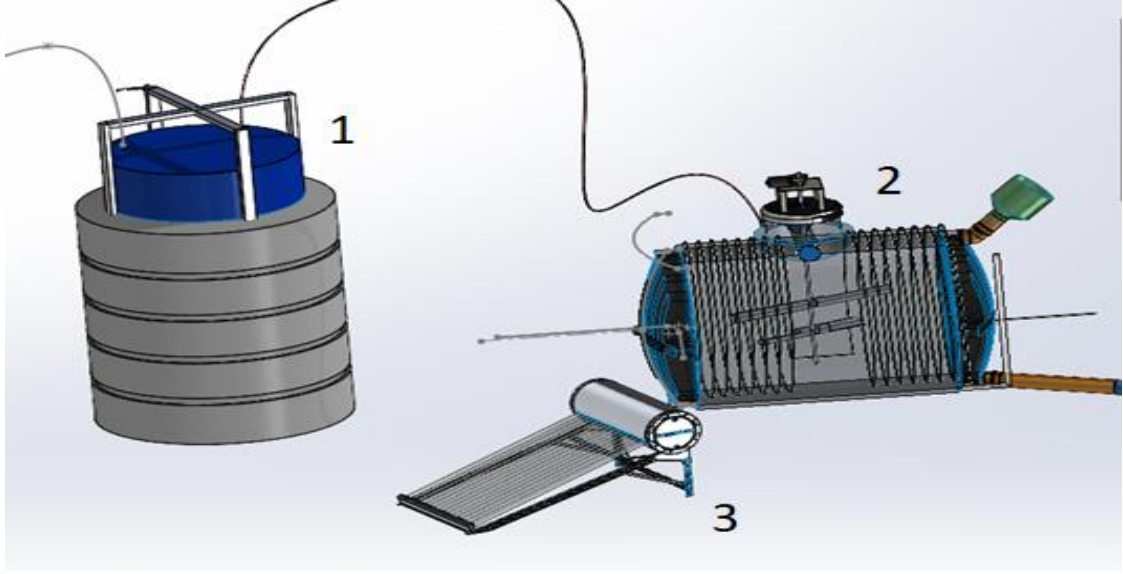
Isı değıştiricisi tarafından verilen enerji miktarı çürütücü için gerekli enerji miktarından yüksek olduğu için kullanılması planlanan serpantin uzunluğu yeterlidir.

Sıcak su tarafından verilen enerji miktarı çürütücü için gerekli enerji miktarından yüksek olduğu için hesaplanan su hızı yeterlidir. Ayrıca, sürekli sirkülasyonun gerekmediği ve sıcaklık poplarıyla kontrol edilerek sadece sıcaklığın belli limitlerin altına düşmesi durumunda sirkülasyon pompası çalıştırılacaktır. Burada yapılan hesaplar kolaylık olması bakımından birçok kabul içermekte olup, sistemin arazide kurulup denemesi neticesinde tasarımlar netleştirilebilir. Bununla birlikte, sistemin arazide işletilerek optimizasyonu bu tez kapsamı dışındadır.

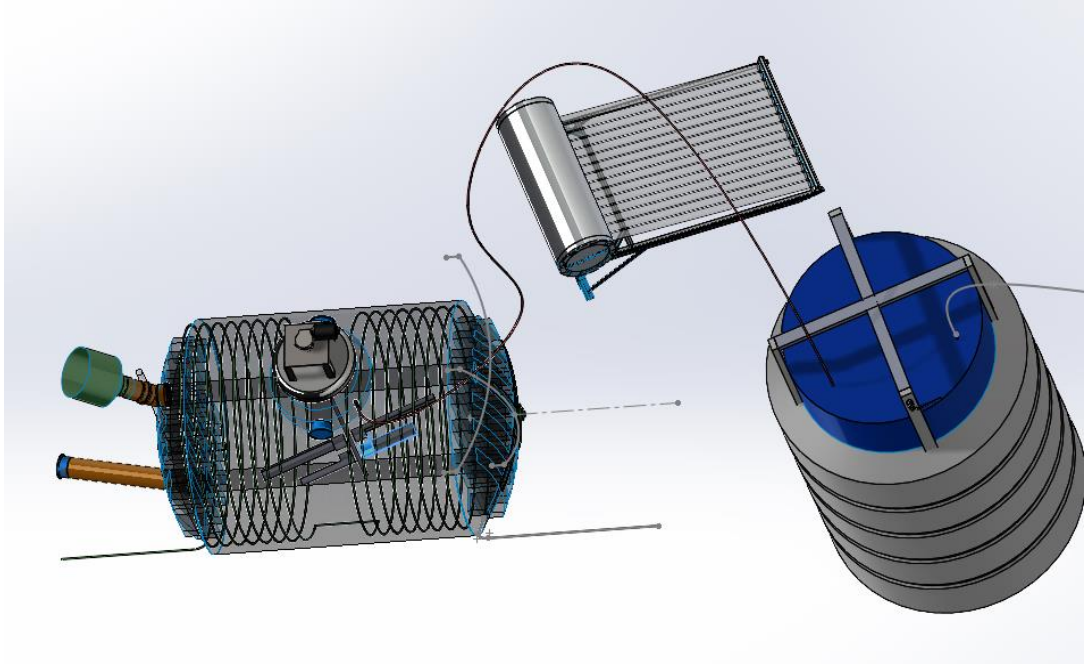
2.4. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİYOGAZ REAKTÖRÜ İMALATI VE MONTAJI

2.4.1. Tasarım Aşamaları

Tez kapsamında kapsamda 5-100 hayvan sayısı temel alınarak günlük fermente edilecek gübre miktarları sonucunda çürütücü hacmi ve boyutlandırılmaları yapılmıştır. Aşağıda belirtilen çizimde görüldüğü gibi çürütücünün besleme noktası sol üstten, biyogaz çıkışı sağ üstten ve çürütülmüş gübre çıkışı ise alttan olacak şekilde tasarlanmıştır. Anaerobik çürütücü olarak kullanmak üzere 5 ton kapasiteli su deposu ile sistemin kurulumu yapılacaktır. Atık olarak hayvan gübresi ile beslenecek olan çürütücüye, ek olarak saman, çim vb. gibi bahçe atıkları da atık olarak beslenebilecektir. Fermantasyon reaksiyonları sonucunda biyogaz üretilecek ve üretilen biyogaz ayrı bir biyogaz toplama balonunda depolanacaktır. Tasarlanan biyoreaktöre ait çizim detayları aşağıda sunulmuştur (Şekil 2.3 ve 2.4).



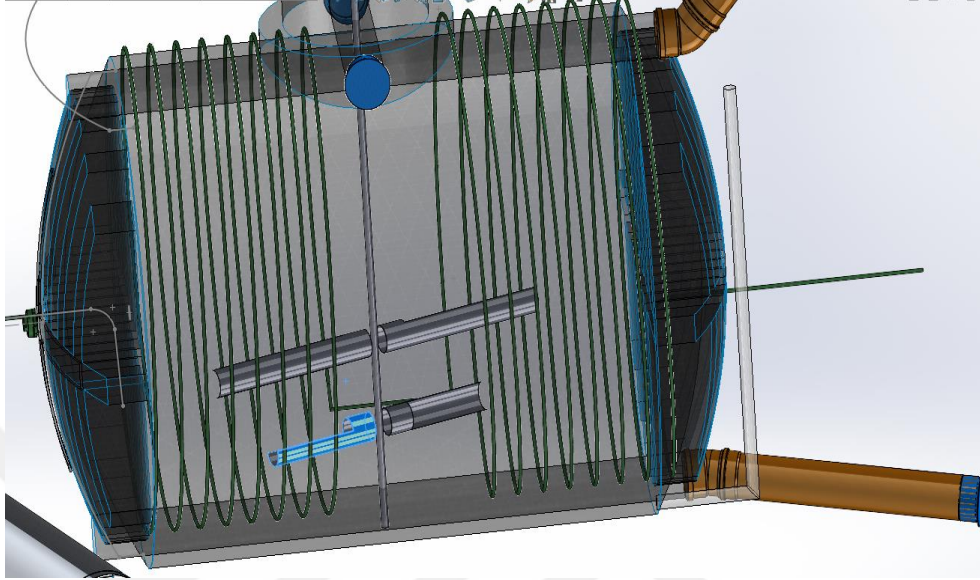
Şekil 2.3. Anaerobik çürütücü sistemi genel görünümü (Reaktör (2), biyogaz deposu (1) ve güneş enerji sistemi (3))



Şekil 2.4. Biyogaz reaktör sistemi üstten görünümü

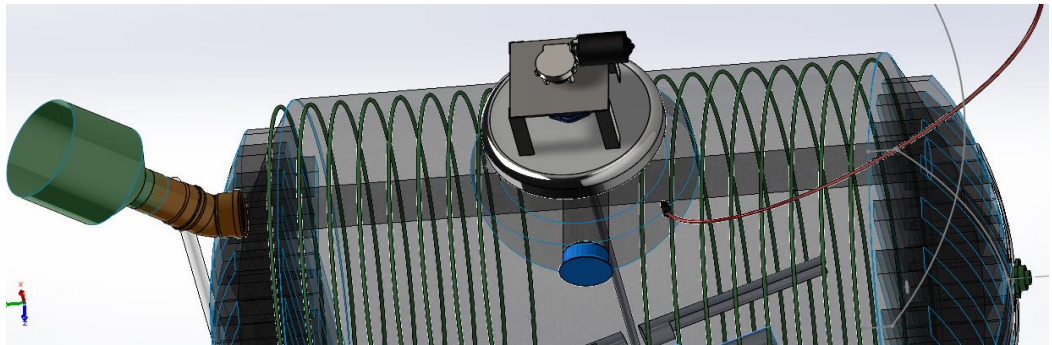
Çürütücüde, mikroorganizma ve atıkların homojen olarak dağılması ve anaerobik çürütme işleminin verimli olarak gerçekleşmesi için bir şaft üzerine konumlanmış özel olarak tasarlanmış pedallardan oluşan bir karıştırıcı yerleştirilecektir. Karıştırıcı günde

minimum 1 dakika ve iki kere olacak şekilde optimum hız gradyanı oluşturarak karıştırma yapacaktır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Depo içerisindeki karıştırıcı sistemi

Çürütücünün ısıtılması çürütücü içine yerleştirilecek serpantin ile sağlanacaktır (Şekil 2.6). Serpantin içinden vakum tüplü güneş kolektöründen alınan sıcak su geçirilerek çürütücü için mezofilik sıcaklık koşulları sağlanacaktır.

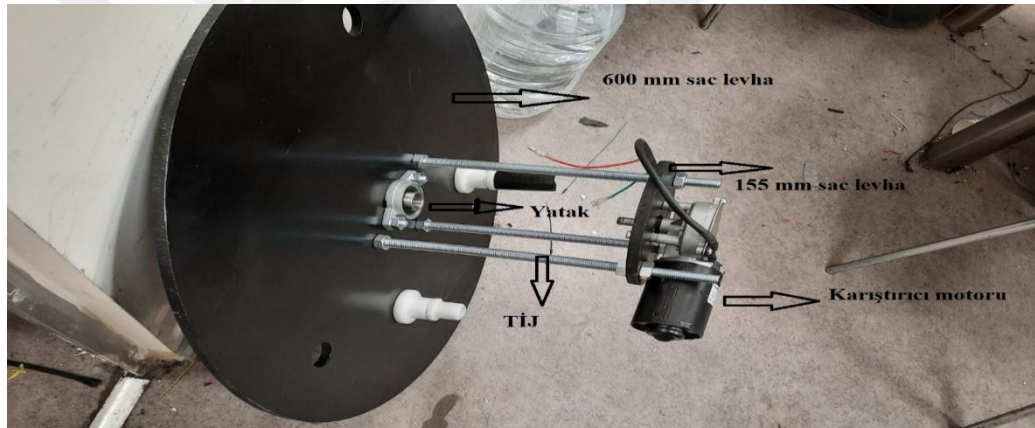


Şekil 2.6. Depo içerisindeki hortum serpantin sistemi görünümü

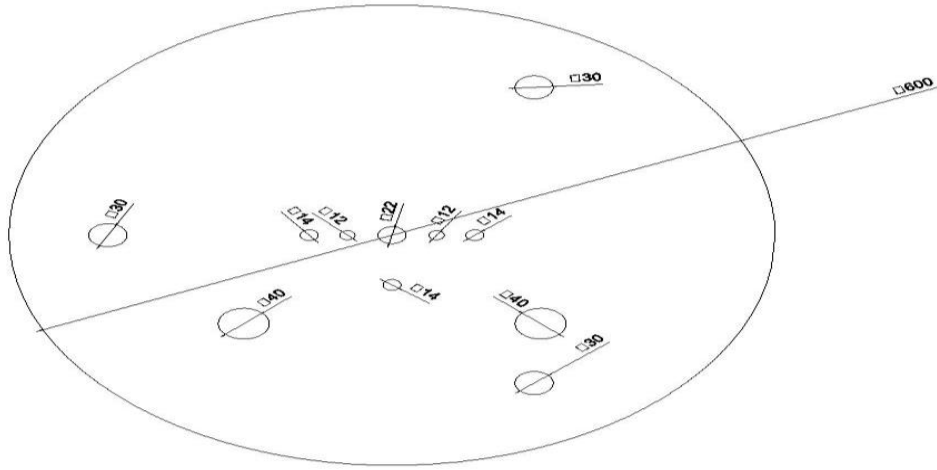
2.4.2. İmalat Aşamaları

Reaktör montajı için tedarik edilen parçalar aşağıda listelenmiştir;

- **20 mm lik 180 cm boyutunda mil:** Karıştırıcının ana elemanlarından biridir. Tasarlanan karıştırıcıya monte edilmiştir. Şekil 2.7’de gösterilmiştir.
- **12 mm lik 50 cm boyutunda 3 adet tij:** Kesilen sac levhaları sabitlemek ve hareketlerini kolaylaştırmak için monte edilmiştir. Şekil 2.7’de gösterilmiştir.
- **20 mm lik sızdırmaz yatak:** Mili sabitlemek ve yataklamak için kullanılmıştır. Şekil 2.7’de gösterilmiştir.
- **Demir levhalar (plakalar):** Reaktör deposunun üzerine 600 mm çaplı demir levha, karıştırıcı motorunu sabitlemek için ise 155 mm çaplı demir levha ve karıştırıcı borusu için 900 mm çaplı flanş demir levhası, tasarlanarak AutoCAD ortamında Şekil 2.8-2.9 deki gibi çizilmiştir. Daha sonra lazer kesimleri yaptırılmıştır.

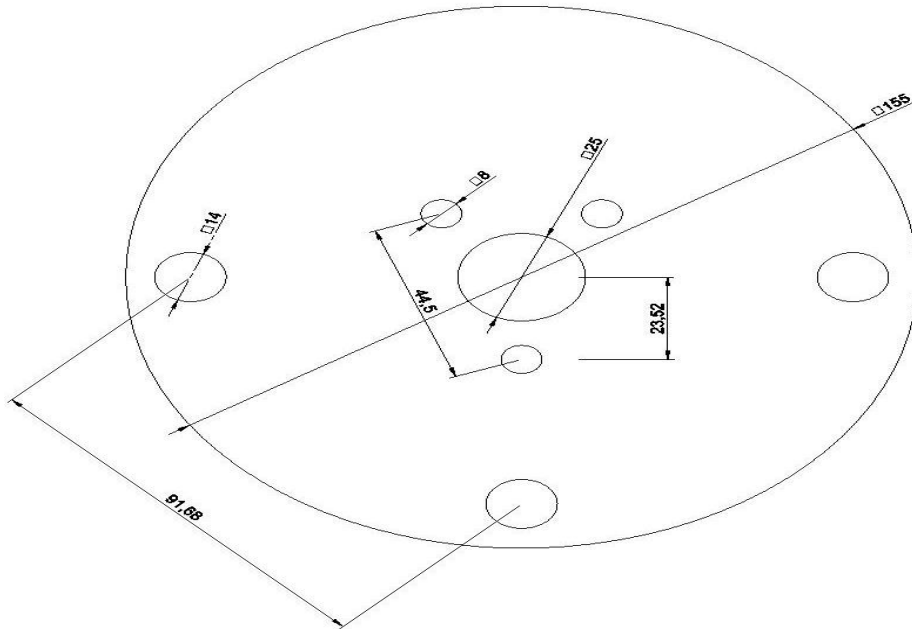


Şekil 2.7. Sac levha, tij ve motorun sistematik gösterimi



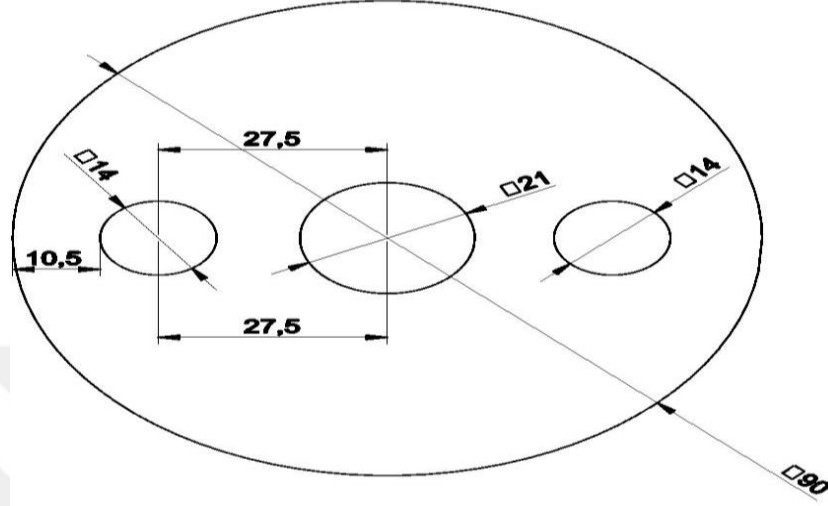
Şekil 2.8. 600 mm demir levhanın çizimi

- 22 mm lik açıklıktan mil geçecektir (Şekil 2.8),
- 30 mm lik açıklıklardan tijler geçecektir (Şekil 2.8),
- 40 mm lik açıklıklar hortum girişlerini temsil etmektedir (Şekil 2.8),
- 30 mm lik açıklıklar çürütücü kapağının montesi için gerekli olan açıklıklardır (Şekil 2.8),



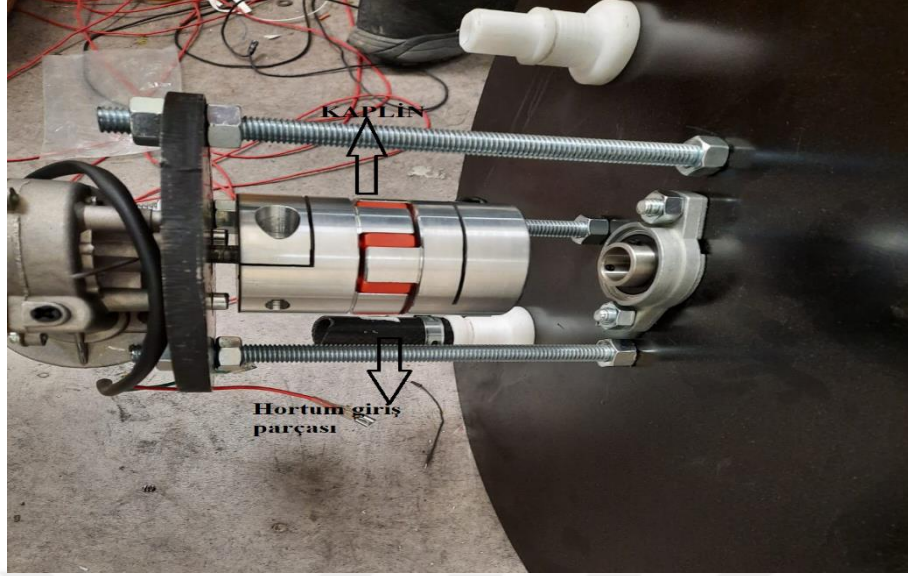
Şekil 2.9. 155 mm demir levhanın çizimi

- 25 mm lik açıklıktan mil geçecektir (Şekil 2.9),
- 8 mm lik açıklıklara karıştırıcı motoru somunlarla sabitlenecektir (Şekil 2.9),
- 14 mm lik açıklıklardan tijler geçecektir (Şekil 2.9),



Şekil 2.10. Flanş çizimi

- 21 mm lik açıklıktan mil geçecektir (Şekil 2.10).
- 14 mm lik açıklıklar ile boru iç içe geçecek şekilde monte edilecektir (Şekil 2.10).
- **Kaplin:** Karıştırıcı motoru ve mili birbirine bağlamak için kullanılmıştır. Şekil 2.11’de gösterilmiştir.
- **Hortum giriş-çıkış parçaları:** Reaktör içerisindeki sıcak suyun iletimi için kullanılacak olan 25 mm lik bahçe hortumlarının bağlantısını sağlayan parçalardır. Torna atölyesinde 2 adet olarak yaptırılmıştır. Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Kaplin ve hortum bağlantı parçaları



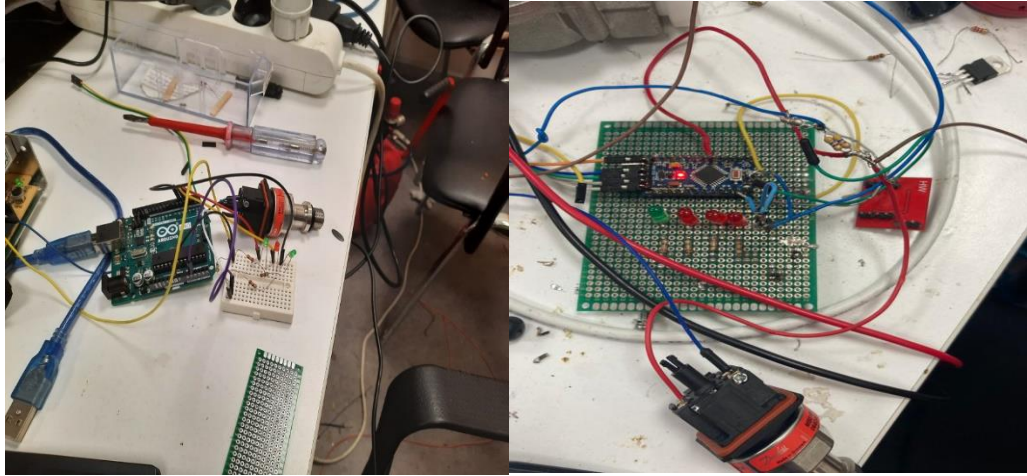
Şekil 2.12. Hortum girişi ve çıkışı için yaptırılan parçalar

- **Tork Selenoid Vana:** Hayvan gübresinin ekleneceği girişe vana monte edilecektir. Reaktör içerisinde gazın basıncı arttığı zaman vana otomatik olarak

kapanacaktır. Vana tekrar elle açılabilir. Sistem elektronik olarak kodlanmıştır (Şekil 2.13) Sistem için özel olarak elektronik kart sistemi tasarlanmıştır. Şekil 2.13’ de detaylı gösterimleri mevcuttur.



Şekil 2.13 Seloneid vana (sol) ve gübrenin reaktöre ekleneceği plastik parça.



Şekil 2.14 Vana ve sensörün programlanması ve elektronik kart hazırlanması

- **Koruyucu Kapak:** Anaerobik çürütme reaksiyonu gerçekleşirken, karıştırıcıya bağlı olan milin geçtiği kısımdan, her ne kadar sızdırmaz yatak kullanılsa da, biyogaz kaçma olasılığı vardır. Bu sebeple 3 boyutlu olarak kapak tasarlanmıştır ve 3D yazıcıda çıkartılarak sisteme monte edilmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Koruyucu kapağın resimleri

- **Reaktör giriş parçası:** Hayvan gübresinin ekleneceği kısımdır. Su deposunun sol üstüne eklenecektir. Ayrıca burada selenoid vana da bulunacaktır. Torna atölyesinde kestirilmiştir (Şekil 2.16).
- **Reaktör çıkış parçası:** Fermente olmuş gübre buradan alınacaktır. Ayrıca reaktör içerisindeki sıcaklık, sıcaklık sensörü yardımıyla buradan kontrol edilecektir. Torna atölyesinde kestirilmiştir (Şekil 2.17).



Şekil 2.16. Reaktör giriş parçası



Şekil 2.17. Reaktör çıkış parçası (Sıcaklık sensörü kablosuyla birlikte yaptırılmıştır.)

- **Biyogaz Pnömatik Hortum Bağlantısı:** Reaktör deposunun üstünde bulunan ve üretilen biyogazın pnömatik hortum vasıtasıyla alınacağı kısımdır. Torna atölyesinde ürettirilmiştir. (Şekil 2.18)



Şekil 2.18. Pnömatik hortum bağlantısı

- **Biyogaz Depo Çıkış Bağlantısı:** Üretilen biyogazın depolanacağı şişme gaz deposunun çıkış hattına monte edilecektir. Buradan yine pnömatik hortumlarla

gazın verileceği hatta ulaştırılacaktır. Torna atölyesinde ürettirilmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Biyogaz depo bağlantısı

- **H₂S (Hidrojen Sülfür) gazı absorpsiyon ünitesi:** Biyogazın içerisinde bulunan ve insan sağlığı için zararlı olan H₂S gazının tutulması için ünite tasarlanmıştır. Tasarlanan borunun içerisi demir yünüyle doldurularak, H₂S gazının metal tellere reaksiyona girerek arıtılması sağlanacaktır. Torna atölyesinde özel olarak ürettirilmiştir (Şekil 2.20).

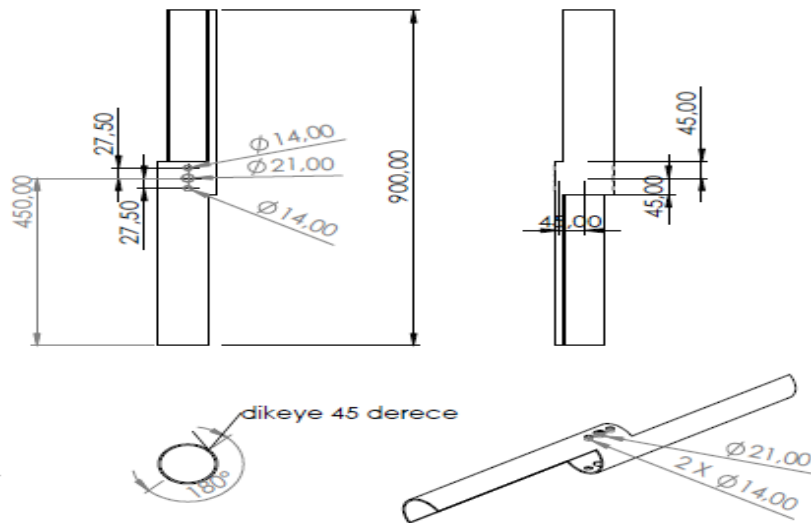


Şekil 2.20 Hidrojen sülfür absorpsiyon sistemi

- **Reaktör Karıştırma Sistemi (Panel):** Hayvan gübrelerinin homojen olarak dağılmasını sağlamak ve fermantasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için karıştırıcı sistemi özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.22). Panelin üzerine Şekil 2.21’de görülen açıklıklara (14-21-14 mm) flanş eklenerek sistemin kurulumu tamamlanmıştır. Teknik çizimleri yapıldıktan sonra torna atölyesinde özel olarak ürettirilmiştir.



Şekil. 2.21.Karıştırıcı paneli



Şekil 2.22. Karıştırıcı panelinin teknik resim çizimi

2.4.3. Montaj Aşamaları

Tez kapsamında tasarlanan reaktör sistemi kurulumu İstanbul Medeniyet Üniversitesi BİLTAM laboratuvarında ve İzmir Urla'da küçükbaş hayvan çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. Bütün imalat ve çalışmalar desteklen 02.01.01 numaralı KOSGEB projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Anaerobik reaktör olarak 5000 L (5 ton) polietilen su tankı kullanılmıştır (Şekil 2.22). Üretilen biyogazın depolanması için şişme su deposu kullanılmıştır. Hayvan gübrelerinin ekleneceği ve fermente olmuş gübrenin çıkacağı bağlantılar depoya monte edilmiştir. Biyogaz deponun üst kısmından alınacak şekilde pnömatik hortum bağlantısı açılmıştır. Deponun içerisinde sıcak suyun devir daimini sağlayacak ve serpantin görevini görecektir. Su hortumu sıcak su enerjisini güneş kolektöründen alacak şekilde bağlantılar yapılmıştır.



Şekil 2.23. Reaktör için 5 tonluk depo

Şekil 2.24'de reaktörün kapak kısmından tasarlanana karıştırıcı sisteminin eklenmiş hali görülmektedir. Aynı bölümde pompa ve güneş kolektörü bağlantıları da bulunmaktadır.



Şekil 2.24. Karıştırıcı sisteminin reaktöre eklenmesi, pompa ve güneş kolektörü bağlantıları



Şekil 2.25. Hayvan gübresinin besleneceği bölüm

Şekil 2.26’da fermente olmuş gübrenin alınacağı ve ayrıca sıcaklık ölçümünün de yapılacağı kısım gösterilmiştir.

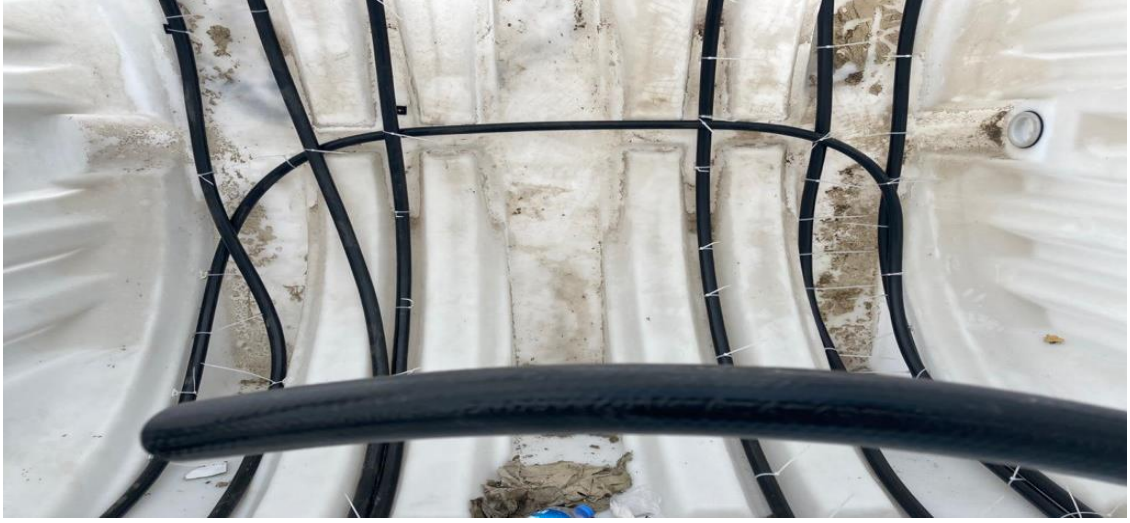


Şekil 2.26. Fermente olmuş hayvan gübresinin alınacağı bölüm



Şekil 2.27. Biyogaz bünyesinde yer alan hidrojen sülfür temizleme ünitesi

Şekil 2.27’de biyogazın içerisinde yer alan hidrojen sülfür gazı için tasarlanmış temizleme ünitesi bulunmaktadır. Demir borunun içi demir yünüyle ile doldurulmuştur.



Şekil 2.28. Reaktör içerisinde sıcak su devir daiminin yapılacak olduğu serpantin

Şekil 2.28’de güneş kolektöründen sağlanacak olan sıcak suyun devir daimi için satın alınan bahçe hortumunun reaktöre sabitlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Güneş kolektörü

Şekil 2.30 ve 2.31’de görüldüğü üzere, reaktör İzmir Urla’da büyükbaş hayvan çiftliğine götürülmüş ve burada toprağa yarı gömülü hale getirilmiştir.



Şekil 2.30. Reaktörün yarı toprağa gömülü vaziyete getirilmesi



Şekil 2.31. Reaktörün yarı toprağa gömülü vaziyete getirilmesi

2.4.4. Tasarlanan Reaktörün Maliyet Hesaplamaları ve Faydası

Tez kapsamında kurulan biyogaz reaktörünün satın alma maliyetleri ve reaktörün faydası aşağıda verilmiştir.

Satın alma Maliyetleri

- Fermantasyon (çürütme) reaksiyonunun gerçekleştirileceği reaktör için 5 ton polietilen yatay su deposu satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat 3450 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle): 20,000 TL
- Üretilen biyogazın depolanabilmesi için 250 litre kapasiteli şişme su deposu satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 684,4 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle): 1650 TL
- Fermantasyon işleminin gerçekleşmesi için reaktör içerisine verilen hayvansal atığın karıştırılmasını sağlayacak motor satın alınmıştır. Bunun için cam silecek motoru uygun maliyetli olduğu ve bu işlemi kolaylıkla sağlayabileceği için seçilmiştir. 12 V 55 rpm gücüne sahip cam silecek motoru alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 408,64 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 848,11 TL
- Reaktör içerisinde ısı transferini sağlaması için 50 metre uzunluğunda 1 inç çapında bahçe hortumu satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 266 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 736 TL
- Karıştırıcı motorunun bağlanacağı 12 V 50 ampersaat lik araba aküsü satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 275 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle): 700 TL
- Akü kapasitesini 12 V' dan 24 V a çıkarmak için, 1200 W gücünde inverter satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 180 TL
2022 yılı fiyatı(güncel dolar kuru sebebiyle) : 840 TL

- Reaktör sisteminin ısıtılabilmesi için 170 litre kapasiteli vakum tüplü güneş enerji sistemi satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 2500 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 8520 TL
- 350 W gücünde kirli su dalgıç pompası satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 270 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 700 TL
- Reaktör sıcaklığının görülmesi için 12V kapasiteli dijital termostat röle satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 38,56 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 77,4 TL
- Karıştırıcı motorun zamanını ayarlayabilmek için 12V kapasiteli zaman rölesi satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 75 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 170 TL
- Üretilen biyogazın içerisinde yer alan sülfürün adsorplanarak giderilmesi için metal talaş işlevini görecek 1000 gr bulaşık teli satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 22 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 55 TL
- Reaktör içerisinde sıcaklığın korunması ve ısı yalıtımının sağlanabilmesi için 6 mm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi satın alınmıştır.
2021 yılında satın alınan fiyat: 70 TL
2022 yılı fiyatı (güncel dolar kuru sebebiyle) : 88,64 TL

Yukarıda verilen satın alma kalemlerine göre, reaktör sisteminin kurulumu için 2021 yılında satın alma maliyetimiz **8.239,28 TL** tutmuştur. 2022 yılında güncel dolar kuru hesap edildiğinde bu tutar **33.505,15 TL** olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.18’de maliyetler verilmiştir.

Tablo 2.10. Satın Alma Maliyetleri

Satın Alınan Malzeme Maliyetleri (10 hayvan için)	2021 yılı TL	2022 yılı TL
5 ton Polietilen su deposu	3450	20000
Şişme su deposu	684,4	1650
Motor	408,64	848,11
Hortum	266	736
Akü	275	700
İnverter	180	840
Güneş enerji sistemi	2500	8520
Dalgıç pompa	270	700
Termostat röle	38,56	77,4
Zaman rölesi	75	170
Metal talaş	22	55
Yalıtım malzemesi	70	88,64
İlk Yatırım Maliyeti	8239,6	34385,15

Kar ve Amorti Süresi Hesabı

Üretilecek gazın yemek pişirmede kullanılacağı düşünüldüğünde, tez projesi kapsamında tasarlanan biyogaz sistemi ile bir çiftlikte ne kadar mutfak tüpü masrafından kar edileceği ve çiftliğin ne kadar sürede amorti edeceği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.-

Bir tüpün ısı değeri = 12 kg/tüp x 11000 kcal/kg = 132.000 kcal/tüp [75]

1 kWh/860 kcal x 132.000 kcal/tüp = 153,5 kWh/tüp

Bir aile ayda iki tüp kullanıyorsa toplam enerji ihtiyacı 307 kWh/ay olacaktır.

12 kg eşdeğer mutfak tüpünün güncel fiyatının 322 TL olarak [76] olarak hesaba katıldığında yaklaşık 7800 TL yıllık tüp masrafından çiftçi kar edecektir.

10 hayvan kapasiteli çiftlik tipi bir çürütücünden 44,8 kWh/gün enerji üretileceği daha önce hesaplanmıştır. Dolayısıyla aylık enerji üretimi $44,8 \times 30 = 1344 \text{ kWh/m}^3$ olacaktır. Dolayısıyla, ihtiyaçtan çok daha fazla enerji üretilecektir. Çiftçinin ne kadar süre içerisinde amorti edeceği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$\text{Amorti Süresi} = \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yıllık tasarruf edilen mutfak tüpü gideri}} \quad [77] \quad (2.17)$$

$34385 \text{ TL} / (7800 \text{ TL/yıl}) = 4,4 \text{ yıl}$ olarak hesaplanır.

Tabi yukarıda da bahsedildiği gibi 10 hayvan kapasiteli bir çürütücünden bir ayda 9 büyük mutfak tüpü kadar enerji üretilebilmektedir. Performans %50 ile dahi çalışsa çürütücü ile bir ayda 4 büyük mutfak tüpünden elde edilecek enerji üretilebilecektir. Eğer çiftlik ayda 4 büyük mutfak tüpü kullanıyorsa yatırım geri dönüş süresi 2,2 yıla düşecektir. Tabi ayrıca atığın çevreye zararsız olarak verilmesi, koku oluşmaması, çok daha sağlıklı gübre üretimi, yeraltı sularının korunması gibi faydalarda dikkate alınmalıdır. Bu hesaba fermente gübrenin kısmen kurutulup satılmasıyla elde edilecek gelirin de hesaba katılması durumunda amortisman süresi düşecektir.

Dolayısıyla, bu sonuç yatırımın makul bir sürede kendini amorti edeceğini göstermektedir.

3. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Anaerobik çürütme (diğer adıyla havasız arıtma) işlemiyle hayvan gübresi, gıda atığı, evsel organik atıklar ve arıtma çamurları gibi ayrışabilir organik maddelerin, anaerobik biyokimyasal süreçler boyunca parçalanarak metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve mikroorganizma biyokütlesi içeren son ürünlere dönüştürülme işlemleri olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik çürütme işleminin sonucunda biyogaz elde edilmekte ve metan gazı ısı ve elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir.

Ülkemizde hayvancılık yapan işletmelerin çoğunluğu, işletmelerinden çıkan katı ve sıvı hayvansal atıkları açıkta bırakmakta veya toprak yüzeyine kontrolsüz olarak uygulamaktadır. Bu uygulamalar sonucunda yeraltı suları nitrat ve organik madde yüküne maruz kalmakta, gübrelerden gelen patojenik hastalıkların salınmasına, sera gazı oluşumuna ve yabancı ot problemlerine sebep olmaktadır.

Ülkemizde nüfusun hızlı bir şekilde artması, teknolojik ilerlemeler ve sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte enerji kaynakları hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Mevcutta yer alan enerji kaynakları ihtiyacı karşılayamamakta, ülkemiz yurtdışından enerji ithal etmek zorunda kalmaktadır.

Tez çalışmasının hedefi; büyükbaş hayvan çiftliklerinde kullanılmak üzere küçük ölçekli, düşük maliyetli, çiftçi tarafından kolay işletilebilir, merkezi olmayan mobil bir biyogaz sisteminin tasarlanmasıdır. Bu proje kapsamında geliştirilen biyogaz sisteminde reaktörün ısıtılması vakum tipli güneş enerji sistemi ile olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece dışarıdan herhangi bir enerji kaynağı gereksinimi olmadan sistem ısıtılabilir.

Tez çalışmasında, ilk olarak yurtdışında yer alan küçük ölçekli biyogaz sistemleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda hazırda olan biyogaz sistemlerinin karıştırma ve ısıtma sistemlerinin kurulması ve çalıştırılması için harici bir maliyet ve enerji ihtiyacına gereksinimi olduğu tespit edilmiştir. Tez kapsamında olan projemizde

tasarlanan sistem ısınma güneş enerjisiyle, karıştırma ekonomik bir motor ile sağlanacaktır.

Tez çalışmasının diğer aşamasında, büyükbaş hayvan çiftliklerine kurmak için küçük ölçekli biyogaz reaktörü tasarlanması ve fizibilite çalışması hedeflenmiştir. İlk olarak ülkemizde yer alan büyükbaş hayvan sayısı tespit edilerek ne kadar enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır. Buna göre 2021 yılında 18 milyon büyükbaş hayvan sayısına karşılık elde edilebilecek enerji miktarı günlük 80 milyon kWh olarak hesaplanmıştır. Biyogaz miktarı ise günlük olarak 12 milyon metreküp olarak hesaplanmıştır. Bu verilerle ülkemizin enerji ithalatı ihtiyacını kısmi bir ölçüde azalabileceğini göstermektedir. Tabi ki burada yapılan hesaplar potansiyel enerji miktarına yönelik olup, bütün atıkların toplanması ve mükemmel şekilde metana dönüştürülerek enerji elde edilmesi mümkün değildir. Burada yapılan hesaplarda amaç sadece potansiyelin ortaya konulmasını amaçlamakta olup, uygulanabilirlik ise ayrı bir konudur.

Tez kapsamında 10-100 hayvan için günlük üretilebilecek biyogaz miktarları, reaktör boyutlandırmaları ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre 10 büyükbaş hayvanın atığını alabilecek kapasiteye sahip biyogaz reaktöründe günlük 4,48 m³ metan üretimi 44,8 kWh enerji üretimi; 100 hayvan için günlük 44,8 metreküp metan üretimi, 448 kWh enerji üretimi hesaplanmıştır. Daha sonra 5 tonluk polietilen tank ve diğer tüm ekipmanlar satın alınarak reaktör sistemi kurulmuş ve işletmeye alınmıştır. Bununla birlikte, sistemin optimizasyonu ve çalıştırılıp verilerin toplanması ise mevcut tez kapsamı dışındadır.

Tezin en son aşaması olarak çiftçinin ne kadar kâr edebileceği ve reaktörün amorti süresi hesaplanmıştır. Eğer sistem doğru bir şekilde kurulup işletilebilirse çiftçinin aylık 2 tüp kullanması durumunda yatırımın 4,4 yılda, 4 tüp kullanması durumunda 2,2 yılda amorti edileceği hesaplanmıştır. Bu hesaba fermente gübrenin kısmen kurutulup satılmasıyla elde edilecek gelirin de hesaba katılması durumunda amortisman süresi düşecektir.

4. KAYNAKÇA

1. <https://bepa.enerji.gov.tr> adresinden 15.04.2020 tarihinde erişilmiştir.
2. International Energy Agency .*World Energy Outlook Report*. IEA, 2021.
3. Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2), 33-54.
4. British Petrol. *Statistical Review of World Energy*. BP, 2020.
5. Yesevi, Ç.G. (2021). Türkiye'nin Enerji Stratejisi ve Enerji Görünümü. *21. Yüzyıl Türkiye Enstitüsü*. 25.02.2021.
6. Ulku, H., Yalpir, Ş. (2021). Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği, *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci.* 10(1), 188- 201.
7. Yılankıran, N., Dogan, H. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt 10(2).
8. Emeksiz, C., Fındık, M.M. (2021). Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 155-164.
9. Kadioğlu, S., Tellioglu, Z. (1996). Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri. *TMMOB 1. ENERJİ SEMPOZYUMU*, Ankara.
10. <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr> adresinden 18.04.2022 tarihinde erişilmiştir.
11. SEKA. Enerji sektör görünümü. SEKA, 2021.
12. <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/ruzgar-enerjisi.html> adresinden 12.03.2022 tarihinde erişilmiştir.
13. Topal, A., Ozoğlu B., Eksioğlu D. (2021) The evaluation of factors in utilizing the potential of solar energy: the case of Turkey. *Environ Res Tech* 2021,4(3),266–276.
14. <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari.html> adresinden 12.03.2022 tarihinde erişilmiştir.
15. <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/gunes-enerjisi> adresinden 12.03.2022 tarihinde erişilmiştir.

16. Varınca, K., Gönüllü, T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *1.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
17. Öz, E.S., Özbaş, E., DüNDAR, R., (2006). Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sistemi ile Standart Düz Kollektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans ve Verimlerinin DeneySEL Olarak Karşılaştırılması. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.
18. <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/jeotermal-enerji.html> adresinden 12.03.2022 tarihinde erişilmiştir.
19. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal> adresinden 14.05.2022 tarihinde erişilmiştir.
20. Kaya, D., Öztürk, H. (2012). *Biyogaz Teknolojisi Üretim-Kullanım-Projeleme*, (1. Baskı) Kocaeli: Umuttepe Yayınları.
21. House, H. (2007). Alternative Energy Sources—Biogas Production— Today’s Challenges: Tomorrow’s Opportunities, *London Swine Conference* ,London.
22. Martins das Neves, L.C., Converti, A., Vessoni Penna, T.C.(2009) Biogas production: New trends for alternative energy sources in rural and urban zones. *Chem. Eng. Technol.* 32, 1147–1153.
23. Dede, O.H., Dede, G., Dede, C., Özdemir, S. (2018). Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Küçük Ölçekli Reaktör Modeli Geliştirilmesi, Development of a Small Scale Reactor Model for Biogas Production from Animal Wastes . *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.* 8(1),138-146.
24. <https://biyogazder.org/biyogaz-tesisleri/> adresinden 14.04.2022 tarihinde erişilmiştir.
25. Dindar, E. (2018). Hayvansal Atıkların Çevresel Etkileri, Alternatif Kullanım Alanları ve Yöntemleri, *Organomineral Gübre Çalıştayı Bildirim Kitabı*, İstanbul.
26. Kaya, D., Eyidogan, M. Coban ,V., Cagman, S, Aydoner, C., Tırıs, M., Avcioglu, U. T. (2009). Türkiye’nin Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi. *ICCI 2009s* 2009,59–62.
27. Ozdemir, E., Anacak, S. (2018). Biyogaz Tesisi Çıktısı Sıvı Fermente Gübre Yönetimi, *Organomineral Gübre Çalıştayı Bildirim Kitabı*, İstanbul
28. Zupančič, D., Grilc, V. (2011). Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste, *Management of Organic Waste* DOI: 10.5772/32756.

29. Oztürk, M. (2017). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*
http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf
adresinden temin edilmiştir.
30. Toprakçioğlu, Görkem.(2016).*Siirt ve Batman İlllerinin Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyellerinin İncelenmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. Deublein, D., A. Steinhauser (2008). *Biogas from waste and renewable resources*. Wiley-VCH,(2. Baskı) Weinheim, 89-290.
32. Dobre, P, Nicoale, F. (2014). Main Factors Affecting Biogas Production- An Overwiev. *Romanian Biotechnological Letters* 19(3),9283-9296.
33. Tufaner,F.,(2014) Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Organik İçeriği Yüksek Atıklardan Biyogaz Üretim Teknolojisi , *Adıyaman Üniversitesi Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu*, Adıyaman,2014.
34. Kaya, D., Eyidogan, M., Coban, V., Cagman, S., Aydoner C, Tırıs, M. A., Avcioglu, U.T. (2009). Türkiye'nin Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli ve Ekonomisi. *ICCI 2009s* 2009,59–62.
35. A.K. Meyer, A.K.P, Ehimen, E.A., Holm-Nielsen, J.B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*,111, 154-164.
36. Shell International. *Shell Energy Scenarios to 2050*. Shell, 2011.
37. Nayal, F.Ş., Mammadov, A., Cılız, N., (2016). Environmental Assessment of Energy Generation from Agricultural and Farm Waste through Anaerobic Digestion, *Journal of Environmental Management*, 184, 389-399.
38. Oner C, Sugoza I.(2006) Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Uretimi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları* 4(2), 17 – 20.
39. A. Onurbas, Avcioglu, U. Türker.(2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1557-1561.
40. <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> adresinden 20.03.2020 tarihinde erişilmiştir.
41. Kaygusuz, K. (2009). Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions for sustainable development in Turkey, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13 (253e270), Elsevier, vol. 13(1), 253-270.

42. Kaygusuz,K., Sekerci,S. (2016). Biomass for efficiency and sustainability energy utilization in Turkey, *J. Eng. Res. Appl. Sci.* 5 (1), 332e341.
43. Toklu, E., (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey, *Renewable Energy, Elsevier*, vol. 107(C), 235-244.
44. Türker, M. (2008). Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, *Çevkor*, İzmit 2008
45. Pampillón-González,L. , Ortiz-Cornejo N.L. , Luna-Guido M. , Dendooven,L. ,Yendi, Navarro-Noya,E., (2017). Archaeal and Bacterial Community Structure in an Anaerobic Digestion Reactor (Lagoon Type) Used for Biogas Production at a Pig Farm, *J Mol Microbiol Biotechnol*,27,306–317.
46. Maoa, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45,540–555
47. Carlos Augusto De Lemos Chernicharo (2007). *Anaerobic Reactors*, IWA Publishing.
48. Gülşen, H. (2016). Anaerobik biyofilm proseslerde organik yüklemeye bağlı mikrobiyal büyüme ve gelişim, *DUFED*, 5(1), 41-46.
49. Busato, C.J., Da Ros, C., Pelay R., Barbierato P., Pavan, P. (2012). Anaerobic membrane reactor: Biomethane from chicken manure and high-quality effluent, *Renewable Energy*, 145, 1647-1657.
50. D.A. Putria, R.R. Saputro, Budiyono.(2012).Biogas Production from Cow Manure, *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 1 (2) , 61-64.
51. Alçiçek A, Demiruluş H. (1994). Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, *Ekoloji ve Çevre Dergisi*,113.
52. Omar, R., Harun, R. M., Mohd Ghazi, T. I., Wan Azlina, W. A. K. G., Idris, A.,Yunus, R. (2008). Anaerobic treatment of cattle manure for biogas production. *Annual meeting of American Institute of Chemical Engineers*, 1-10.
53. Aktaş, T., Ozer. B.,, Soyak, G., Ertürk, M.C. (2015). Tekirdağ İli’nde Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 11 (1), 69-74.
54. <http://www.biogassa.co.za/index.php/sa-biogas-projects/farm-size-digesters> adresinden 30.01.2020 tarihinde erişilmiştir.
55. https://www.biotech-india.org/Domestic_Biogas.aspx adresinden 30.01.2020 tarihinde erişilmiştir.

56. <https://www.sintexplastics.com/products/biogas-plant/floating-type-biogas-plants-ftgb/> adresinden 31.01.2020 tarihinde erişilmiştir.
57. <https://fenghuobiogas.weebly.com/products.html> adresinden 31.01.2020 tarihinde erişilmiştir.
58. https://sistema.bio/wp-content/uploads/2.1903_KENYA_CATALOG_LQ.pdf adresinden 01.02.2020 tarihinde erişilmiştir.
59. <http://en.puxintech.com/domesticbiogasplant> adresinden 03.02.2020 tarihinde erişilmiştir.
60. <https://www.homebiogas.com/Products/HomeBiogas2> adresinden 03.02.2020 tarihinde erişilmiştir.
61. https://cdforesight.en.alibaba.com/product/60754497519806586957/Mini_size_high_efficient_portable_biogas_digester_plant_for_waste_water_treatment.html?spm=a2700.icb_uShop.41413.9.57b1362amKv2NR adresinden 04.2.2020 tarihinde erişilmiştir.
62. <https://data.tuik.gov.tr/img/excel.png> adresinden 12.05.2020 tarihinde erişilmiştir.
63. Kaya, D., Öztürk, H. (2012). *Biyogaz Teknolojisi Üretim-Kullanım-Projeleme*, Kocaeli: Umuttepe Yayınları.
64. Yağlı, H., Koç Y. (2019). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 35-48.
65. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Animal-Production-Statistics-June-2020-33874> adresinden 07.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
66. <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/GKGM.pdf> adresinden 26.04.2022 tarihinde erişilmiştir.
67. <https://www.drdatastats.com/illere-gore-turkiyede-hayvancilik-canli-hayvan-sayilari/> adresinden 26.04.2022 tarihinde erişilmiştir.
68. https://mimoza.marmara.edu.tr/~bilge.alpaslan/enve301/Lectures/Chp_6.pdf adresinden 24.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
69. https://www.researchgate.net/figure/Thermal-Conductivity-of-used-material_tbl2_267871341) adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
70. https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-plastics-d_1786.html adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.

71. Isı Tekniği Ders Notları. Prof Dr Ahmet Çolak, Prof Dr Musa Ayık ;
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59521/mod_resource/content/1/10.%20HAFTA.pdf) adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
72. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/72277/mod_resource/content/0/HAFTA_2.pdf adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
73. <https://www.tesisat.org/su-debisi-ve-boru-capi-hesabi.html> adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
74. <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/termodinamiktablo.pdf> adresinden 30.07.2020 tarihinde erişilmiştir.
75. <http://www.izgaz.com.tr/tr/evsel/yakit-karsilastirma> adresinden 07.05.2022 tarihinde erişilmiştir.
76. <https://www.aygaz.com.tr/tupgaz/fiyatlar> adresinden 07.05.2022 tarihinde erişilmiştir.
77. ref: <https://tr.mcfairbanks.com/772-payback-period> adresinden 07.05.2022 tarihinde erişilmiştir.